Владимир Сурдин

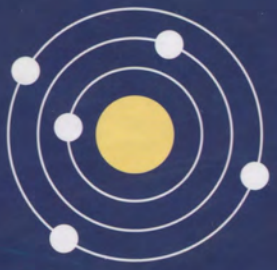
Большая энциклопедия астрономии

Самое полное современное издание

БОЛЕЕ

2500

АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ



БЭА

ОБНОВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Владимир Сурдин

Большая энциклопедия астрономии

Самое полное современное издание

Более
2500
астрономических терминов



Эксмо
Москва

УДК 52(031)
ББК 22.6
С 90

Автор-составитель — *Владимир Сурдин*

Сурдин В. Г.

С 90 Большая энциклопедия астрономии / Владимир Сурдин. — М. : Эксмо, 2012. — 480 с. : ил. — (Большая современная энциклопедия).

ISBN 978-5-699-57087-4

Эта энциклопедия будет полезна всем, кто интересуется строением Вселенной и космической физикой, кто по роду своей деятельности связан с исследованиями космоса. В ней приведены подробные толкования более чем 2500 терминов из широкого диапазона космических наук — от астробиологии до ядерной астрофизики, от изучения черных дыр до поиска темной материи и темной энергии. Приложения с картами звездного неба и последними данными о крупнейших телескопах, планетах и их спутниках, солнечных затмениях, метеорных потоках, звездах и галактиках делают её удобным справочником.

Книга в основном рассчитана на школьников, студентов, учителей, журналистов и переводчиков. Однако многие её статьи привлекут внимание продвинутых любителей астрономии и даже профессиональных астрономов и физиков, поскольку большинство данных приведено для середины 2012 г.

УДК 52(031)
ББК 22.6

Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения ООО «Издательство «Эксмо».

ISBN 978-5-699-57087-4

© Сурдин В.Г., 2012
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2012

Предисловие

Астрономия — наука древняя, поэтому её язык архаичен. Хотя сегодня уже очевидно, что разбиение неба на созвездия, сохранение собственных имен звёзд, использование астрологических знаков для обозначения планет и зодиакальных созвездий — всё это анахронизмы, но, к сожалению, до сих пор не было серьёзных попыток модернизировать язык астрономии. «Исторический хвост» этой науки, делающий её романтической в глазах неспециалистов, в действительности весьма заметно затрудняет контакты астрономии с другими, более молодыми естественными дисциплинами: физикой, химией, биологией — терминология которых приведена в более систематический вид.

«Зоопарк» астрономических объектов велик, и он постоянно расширяется: квазары, пульсары, магнитары, блазары... метеориты, метеоры, метеороиды... новые, сверхновые, гиперновые... мириды, цефеиды, персеиды, леониды... В астрономии много специфических слов. Одни из них обозначают типы объектов, другие — типы явлений. К сожалению, классификация астрономических объектов и явлений разработана слабо. Обилие специфических терминов затрудняет изучение астрономии. Нелегко бывает пробиться «через термины к звёздам». Многие учителя средней школы, чувствуя себя дилетантами в астрономии и не владея свободно её терминологией, предпочитают вообще не преподавать эту дисциплину школьникам, лишая их тем самым фундаментальных знаний об окружающем мире.

Разумеется, очень нелегко менять или модернизировать язык. Но через это проходили многие науки, и результат оправдывал временные трудности. Богатая история — это ещё и тяжёлый груз: астрономия ждёт своего Карла Линнея. Приблизив астрономическую систему классификации объектов к биологической, унифицировав терминологию с физической, введя более рациональные знаки, вероятно, можно было бы значительно упростить изучение астрономии и взаимный обмен информацией среди профессионалов. Возможно, при этом у астрономии исчезнет некоторый налёт романтизма. Но этот этап неизбежен в процессе эволюции любой науки. В конце концов, истинная романтика космоса не в мифических именах планет и не в их загадочных «алхимических» знаках, а в сказочном разнообразии космических объектов и в гармонии законов, по которым они живут.

Модернизации языка науки происходит по мере необходимости. Не избежит этого и астрономия. А пока этого не произошло, всем, кто интересуется «наукой о звёздах», будет полезна данная Энциклопедия. Ведь любая научная дискуссия, а особенно дискуссия, в которой участвуют специалисты разных наук, начинается с фразы: «Давайте определим понятия!», то есть договоримся о значении слов. Учёные понимают, что для конструктивного диалога важно, чтобы его участники в одни и те же слова вкладывали одни и тот же смысл. Однако далеко не всегда это понимают специалисты других профессий, особенно сегодня, когда некоторые научные термины и обороты речи стали брендами и в быту потеряли свой исходный смысл («формула», «теория», «катастрофа», «учёные доказали, что...» и т. п.). Более того, даже вполне чёткие астрономические понятия теперь часто претерпевают «аберрацию» и «обмениваются смыслом»: многие не видят различия между астрономией и астрологией, звездой и планетой, метеором и метеоритом. Особенно печально, когда это наблюдается в профессиональной работе журналистов и переводчиков, тиражируясь в средствах массовой информации.

Эта книга в основном рассчитана на школьников, студентов, учителей и журналистов. Однако многие её статьи привлекут внимание продвинутых любителей астрономии и даже профессиональных астрономов и физиков, поскольку большинство данных приведено для 2012 г. Отметим некоторые особенности.

1. Энциклопедия содержит более 2500 словарных статей, достаточно полно представляющих терминологию современной астрономии. Тем не менее в некоторых узких разделах астрономии, таких как телескопостроение, астрохимия, астробиология, планетология и др., часто используются термины других дисциплин, которые не вошли в наше издание. Их следует искать в соответствующих справочниках и на специализированных сайтах Интернета, обращая особое внимание на уровень квалификации их авторов.

2. Биографические статьи в основном содержат данные о работе известных учёных в области астрономии, оставляя «за скобками» многие стороны их деятельности в других областях. Полное представление о жизни и творчестве этих людей даст лишь дополнительная информация из других надёжных источников.

3. Расположение статей в Энциклопедии алфавитное. В большинстве составных терминов принят естественный порядок слов, т. е. такой, как в речи и текстах книг, учебников и статей. Исключения сделаны в тех редких случаях, когда желательно для взаимного сравнения располагать статьи рядом. Например: *год, аномалистический*; *год, бесселев*; *год, драконический*; *год, звёздный*; *год, тропический*...

4. Точное значение терминов обычно содержится в учебниках и специализированных справочниках, однако часто эти книги «отстают от жизни». Развитие науки регулярно приводит к рождению новых терминов, которые входят в международную практику обычно на английском языке. Их адекватный перевод на русский иногда появляется не сразу. Например, термину «brown dwarf» уже около 40 лет, а до сих пор нет его однозначного эквивалента на русском: обычно говорят «коричневый карлик», но встречается и «бурый карлик». Совершенно уникальный пример даёт термин «multiverse»: сейчас в ходу более дюжины (!) его русских переводов, из которых в качестве основного мы выбрали «сверхвселенная». Подобную неоднозначность всегда следует иметь в виду.

5. В тексте Энциклопедии используются некоторые астрономические знаки: $M_\odot$ — масса Солнца ($1{,}989\cdot10^{30}$ кг), $L_\odot$ — светимость Солнца ($3{,}85\cdot10^{26}$ Вт), $R_\odot$ — радиус Солнца ($6{,}96\cdot10^{8}$ м). Запись типа $00^h00^m00^s$ означает время в часах, минутах и секундах (либо угол прямого восхождения в соответствующей часовой мере). Запись типа $00°00'00''$ означает угол в градусах, минутах и секундах дуги. Запись типа 00^m означает блеск небесного светила в звёздных величинах. Буквенные сокращения объясняются в разделе *Аббревиатуры*.

6. В каждой профессии, в том числе и в каждой науке, есть свой сленг. Астрономия — не исключение. Профессионалы часто используют слова, имеющие для постороннего человека неоднозначный смысл: «слабая звезда» вместо «тусклая звезда», «стеклянная библиотека» вместо «архив фотопластинок», «щель башни» вместо «окно купола» и т. п. В этой книге я старался избегать профессионального сленга либо разъяснять его в подходящих случаях.

7. Мы не указываем литературу, рекомендованную для дальнейшего изучения по темам конкретных статей, поскольку считаем, что в эпоху развитой сети Интернет это неактуально. Мы не указываем также всех использованных источников информации, поскольку это физически невозможно. Отметим лишь, что в работе над текстом мы опирались на наиболее качественные книги и сайты, а также пользовались консультациями коллег-астрономов. Фактически эта книга — результат коллективного труда лучших астрономов нашей страны и их зарубежных коллег, а роль автора в основном свелась к отбору и обновлению материала. Моя благодарность коллегам выражается в надежде, что эта книга и для них окажется полезной.

Поскольку маловероятно, что при обзоре столь обширного материала удалось избежать неточностей, все сообщения о недостатках и поправки будут с благодарностью приняты по адресу surdin@sai.msu.ru и, как обычно, размещены на сайте http://lnfm1.sai.msu.ru/~surdin/.

В. Г. Сурдин, ГАИШ МГУ, август 2012 г.

Аббревиатуры

Русские

ААО — аномальный аэрокосмический объект

ААЯ — аномальное атмосферное явление

а. е. м. — атомная единица массы

АЗТ — астрономический зеркальный телескоп

АМС — автоматическая межпланетная станция

АН — Академия наук

АЧХ — амплитудно-частотная характеристика

БПФ — быстрое преобразование Фурье

ГАИШ — Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (МГУ)

ГАО — Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория (РАН)

ГР-диаграмма, или диаграмма ГР, или диаграмма Г—Р — диаграмма Герцшпрунга—Рассела

ЕКА — Европейское космическое агентство

ИКИ — Институт космических исследований РАН

ИНАСАН — Институт астрономии Академии наук РАН

ИСЗ — искусственный спутник Земли

К — кельвин (единица измерения температуры)

кпк — килопарсек (англ. kpc)

КТХ — космический телескоп «Хаббл»

кэВ — килоэлектронвольт

ЛОМО — Ленинградское оптико-механическое объединение

М — каталог Мессье

МАС — Международный астрономический союз

МГУ — Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

ММЭ — метод максимальной энтропии

Мпк — мегапарсек; *см. Парсек*

МэВ — мегаэлектронвольт

НАСА — см. NASA

НАЯ — неотождествлённое аэрокосмическое явление

НЛО — неопознанный летающий объект

ОКПЗ — Общий каталог переменных звёзд

ОСЗ — объекты, сближающиеся с Землёй

ПЗС — прибор с зарядовой связью

пк — парсек (англ. pc)

ПОО — потенциально опасные объекты

РАН — Российская академия наук

РСДБ — радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой

САО РАН — Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

св. год — световой год

ФИАН — Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук

ФРТ — функции рассеяния точки (аппаратная функция)

ФЭУ — фотоэлектронный умножитель

эВ — электронвольт

ЭМШ — эквивалентная мощность шума

ЭОП — электронно-оптический преобразователь

Английские

AAS — American Astronomical Society, Американское астрономическое общество

AAO — Australian Astronomical Observatory, Австралийская астрономическая обсерватория (в прошлом — Англо-Австралийская обсерватория, Anglo-Australian observatory)

AAVSO — American Association of Variable Star Observers, Американская ассоциация наблюдателей переменных звёзд

ADC — Astronomical Data Center, Центр астрономических данных

AGS — Artificial Guide Star, искусственная опорная звезда

ALMA — Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array, Большая миллиметровая антенная решётка в Атакаме

ASA — American Standards Association, Американская ассоциация стандартов; *см. Светочувствительность фотоэмульсии*

ASP — Astronomical Society of the Pacific, Тихоокеанское астрономическое общество

ASPCS — Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Серия трудов конференций Тихоокеанского астрономического общества

ATCA — Australia Telescope Compact Array, Австралийская компактная сеть радиотелескопов

AURA — Association of Universities for Research in Astronomy, Ассоциация университетов для астрономических исследований

B1950 — *см. Эпоха; Год, бесселев*

BD — Bonner Durchmusterung, Боннское обозрение

C-band — рентгеновский диапазон спектра с длинами волн от 5 до 10 нм

CBAT — Central Bureau for Astronomical Telegrams, Центральное бюро астрономических телеграмм

CDS — Centre de Données astronomiques de Strasbourg, Центр астрономических данных в Страсбуре (Франция)

CFHT — Canada-France-Hawaii telescope, Канадо-франко-гавайский телескоп

CHARA — Center for High Angular Resolution Astronomy, Центр астрономии высокого углового разрешения

CNES — Centre National d'Etudes Spatiales, Национальный центр космических исследований Франции

COAST — Cambridge optical aperture synthesis array, Система оптического апертурного синтеза Кембриджа

CSA — Canadian Space Agency, Канадское космическое агентство

CTIO — Cerro Tololo Inter-American Observatory, Межамериканская обсерватория Серро-Тололо

Dec — Declination, склонение

DIN — Deutsches Institut für Normung, Немецкий институт стандартов; *см. Светочувствительность фотоэмульсии*

ESA — European Space Agency, Европейское космическое агентство

FITS — Flexible Image Transport System; *см. Формат электронных изображений*

FK5 — ФК5; *см. Фундаментальный каталог*

GIF — Graphics Interchange Format; *см. Формат электронных изображений*

GMT — Greenwich Mean Time, среднее гринвичское время (Всемирное время)

GSC — Guide Star Catalog, Каталог гидирочных звезд

GSD — Greenwich Siderial Date, Гринвичская звёздная дата

HD — HD catalog, каталог HD, каталог Генри Дрэпера

HET — Hobby-Eberly Telescope, телескоп Хобби-Эберли

HIPPARCOS — High Precision Pararallax Collecting Satellite; *см. Каталог ГИППАРКОС*

HJD — Heliocentric Julian Date, гелиоцентрическая юлианская дата

HST — Hubble Space Telescope (NASA), Космический телескоп «Хаббл»

HWHM — Half-Width at Half-Maximum, Полуширина на уровне половины от максимума; *см. Полная ширина на половине от максимума*

IAC — Instituto de Astrofisica de Canarias (испанск.), Институт астрофизики на Канарских островах

IBVS — Information Bulletin on Variable Stars, Информационный бюллетень переменных звёзд

IC — Index catalog, Индекс каталог

IDA — International Dark sky Association, Международная ассоциация тёмного неба

IRAF — Image Reduction and Analysis Facility, Средство редукции и анализа изображений

ISO — International Organization for Standartization, Международная организация стандартизации; *см. Светочувствительность фотоэмульсии*

J2000 — *см. Эпоха*

JD — Julian Day, юлианский день; Julian Date, юлианская дата

JPEG — Joint Photographic Experts Group; *см. Формат электронных изображений*

JPL — Jet Propulsion Laboratory, Лаборатория реактивного движения

LBT — Large binocular telescope, Большой бинокулярный телескоп

LEDA — Lyon-Meudon extragalactic database, База данных внегалактических объектов Лион—Медон

LGS — Laser Guide Star, лазерная опорная звезда; *см. Искусственная опорная звезда*

LIGO — Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, Лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория

LMC — Large Magellanic Cloud, Большое Магелланово Облако; см. Магеллановы Облака

LZT – Large Zenith Telescope, Большой зенитный телескоп
MACHO – Massive Compact Halo Objects, массивные компактные объекты гало
MERLIN – Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network, Многоэлементная сеть интерферометров с радиосвязью
NASA – National Aeronautic and Space Administration, Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства
NED – NASA extragalactic database, База данных внегалактических объектов NASA
NG – N-galaxy, см. N-галактики
NGC – New General Catalog, Новый общий каталог
NGST – Next Generation Space Telescope, Космический телескоп следующего поколения
NOAO – National Optical Astronomy Observatories, Национальные обсерватории оптической астрономии
NSSDC – National Space Science Data Center, Национальный центр космических данных
NTT – New Technology Telescope, Телескоп новой технологии
PASP – Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Публикации Тихоокеанского астрономического общества
RA – Right Ascension, Прямое восхождение.
RAS – Royal Astronomical Society, Королевское астрономическое общество
RGO – Royal Greenwich observatory, Королевская Гринвичская обсерватория
ROE – Royal observatory, Edinburgh, Королевская обсерватория в Эдинбурге
SALT – South African large telescope, Большой южно-африканский телескоп
SAO – Smithsonian Astrophysical Observatory, Смитсонианская астрофизическая обсерватория
SAR – Synthetic Aperture Radar, радар с синтезируемой апертурой
S-band – радиодиапазон спектра в области длины волны 13 см
SBIG – Santa Barbara Instrument Group; компания, производящая оборудование для телескопов, в частности недорогие ПЗС-камеры ST, популярные у любителей астрономии
SCT – Schmidt-Cassegrain telescope, телескоп Шмидта–Кассегрена
SIMBAD – Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data, База обозначений, измерений и библиография астрономических данных. Постоянно пополняемая база данных в Центре астрономических данных в Страсбуре (Франция), включающая информацию о более чем 3 миллионах астрономических объектов
SMC – Small Magellanic Cloud, Малое Магелланово Облако; см. Магеллановы Облака
TAA – Track and Accumulate, Сопровождение с накоплением. Название системы автоматического гидирования ПЗС-камер фирмы SBIG (см. Автогид)
TAI – Temps Atomique International (франц.), международное атомное время
TDI – Time Delay Integration, накопление с временной задержкой; см. *Ведение*
TIFF – Tagged Image File Format; см. *Формат электронных изображений*
UFO – Unidentified Flying Object, неопознанный летающий объект
UKIRT – UK InfraRed Telescope, Британский инфракрасный телескоп
UKST – UK Schmidt telescope, Британский телескоп системы Шмидта (Британская камера Шмидта)
ULE – Ultra-Low Expansion Glass, стекло со сверхнизким коэффициентом расширения; см. *Стекло ULE*
USNO – United States Naval observatory, Морская обсерватория США
UT – Universal time, всемирное время
UTC – Universal coordinated time, всемирное координированное время
VLA – Very Large Array, Очень большая (антенная) решётка
VLBA – Very-Long-Baseline Array, Антенная решётка со сверхдлинными базами
VLBI – Very-Long-Baseline Interferometry, радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой
VLT – Very Large Telescope, Очень большой телескоп
WHT – William Herschel Telescope, телескоп «Вильям Гершель»
WIMP – Weakly Interacting Massive Particles, слабовзаимодействующие массивные частицы
X-band – радиодиапазон спектра в области длины волны 3,5 см

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка			Множитель	Приставка			Множитель
Наименование	Обозначение			Наименование	Обозначение		
	русское	международное			русское	международное	
экса	Э	E	10^{18}	деци	д	d	10^{-1}
пета	П	P	10^{15}	санти	с	c	10^{-2}
тера	Т	T	10^{12}	милли	м	m	10^{-3}
гига	Г	G	10^{9}	микро	мк	μ	10^{-6}
мега	М	M	10^{6}	нано	н	n	10^{-9}
кило	к	k	10^{3}	пико	п	p	10^{-12}
гекто	г	h	10^{2}	фемто	ф	f	10^{-15}
дека	да	da	10	атто	а	a	10^{-18}

Астрономические величины

Величина	Обозначение	Значение
Радиус Солнца	$R_\odot$	$6{,}96 \cdot 10^8$ м ≈ 109 радиусов Земли
Масса Солнца	$M_\odot$	$1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг ≈ 333 000 масс Земли
Светимость Солнца	$L_\odot$	$3{,}85 \cdot 10^{26}$ Вт = $3{,}85 \cdot 10^{33}$ эрг/с
Парсек	1 пк	$3{,}0857 \cdot 10^{16}$ м ≈ 206 265 а. е. ≈ 3,262 св. года
Астрономическая единица	1 а. е.	149 597 870 км ≈ 499 св. с ≈ 8,32 св. мин
Световой год	1 св. год	1 св. год = $9{,}46 \cdot 10^{15}$ м ≈ 0,3066 пк

А

АБАСТУМАНСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — *см. Грузинская национальная астрофизическая обсерватория.*

АББЕ, Эрнст Карл (Abbe, Ernst Karl) (23.01.1840, Айзенах, Германия, — 14.01.1905, Йена, Германия) — немецкий физик-оптик и астроном, профессор Йенского университета, основатель и директор Йенской обсерватории, один из основателей оптико-механической фирмы «Карл Цейс». Разработал теорию и конструкцию ряда оптических инструментов: микроскопа, конденсора Аббе, рефрактометра Аббе, ахроматического объектива и др.

АББОТ, Чарлз Грили (Abbot, Charles Greeley) (31.05.1872, Уилтон, шт. Нью-Гэмпшир, США, — 17.12.1973, Ривердейл, шт. Мэриленд, США) — американский астрофизик. В 1894 г. окончил Массачусетский технологический институт. С 1895 г. — сотрудник, а в 1907–1944 гг. — директор Смитсоновской астрофизической обсерватории; в 1928–1944 гг. секретарь Смитсоновского института. В 1910 г. награждён медалью им. Г. Дрэпера Национальной АН США. С 1915 г. — член Национальной АН США.

Научные работы Аббота посвящены измерению излучения Солнца и звёзд. Особенно детально изучил распределение энергии в спектре Солнца, поглощение солнечной радиации в земной атмосфере, его зависимость от высоты. Он значительно усовершенствовал необходимые для этого приборы: пиргелиометры, измеряющие поток прямой солнечной радиации, и пиранометры, измеряющие суммарную (от всего дневного неба) и рассеянную в воздухе солнечную радиацию. С их помощью с высокой точностью определил солнечную постоянную — среднюю мощность солнечного излучения, достигающего верхней границы земной атмосферы (1369 Вт/м^2, современное значение). Он также определил болометрические светимости многих ярких звёзд.

Аббот был инициатором создания высокогорных астрономических станций в Калифорнии, Чили, Египте для систематического измерения солнечной постоянной. Изобрёл множество приборов, в том числе бытовых, для использования тепловой энергии Солнца; у некоторых из них КПД достигал 15%.

АБЕРРАЦИЯ ОПТИЧЕСКАЯ, точнее — аберрация оптической системы (от лат. *aberratio* — уклонение) — искажение изображения, построенного оптическим прибором, заключающееся в том, что оптические изображения неточно соответствуют предмету, оказываются размыты (монохроматические геометрические аберрации) или окрашены (хроматические аберрации). В большинстве случаев аберрации обоих типов проявляются одновременно.

В приосевой, так называемой параксиальной, области оптическая система близка к идеальной, т. е. точка изображается точкой, прямая линия — прямой и плоскость — плоскостью. Но при конечной ширине пучков и конечном удалении точки-источника от оптической оси нарушаются правила параксиальной оптики: лучи, испускаемые точкой предмета, не пересекаются в одной точке плоскости изображений, а образуют кружок рассеяния, т. е. изображение искажается — возникают аберрации.

В зависимости от причины и характера искажения различают пять геометрических аберраций и две хроматические. Геометрические аберрации, искажающие подобие между объектом и его изображением, — это кривизна поля, кома, дисторсия, астигматизм и сферическая аберрация. В отличие от геометрических, хроматические аберрации возникают и в параксиальной области. Дисперсия света порождает два вида хроматических аберраций: хроматизм положения фокусов и хроматизм увеличения (их ещё называют «продольная» и «поперечная»). Первая характеризуется смещением плоскости изображения для разных длин волн, вторая — изменением поперечного увеличения.

Полностью устранить все аберрации в одном инструменте практически невозможно, поэтому в зависимости от задачи, стоящей перед ним, исправляются в большей или меньшей степени одни или другие аберрации (*см. Ахромат, Апохромат, Анастигмат, Апланат*).

АБЕРРАЦИЯ СВЕТА (англ. *aberration of light*) — изменение направления распространения света (и вообще излучения) при переходе от одной системы отсчёта к другой. В астрономии этот эффект проявляется как смещение направления на светило, вызванное движением наблюдателя, например, вместе с движущейся Землёй. Нередко вместо термина «аберрация света» астрономы используют термин «звёздная аберрация» (англ. *stellar aberration*).

Хотя аберрация света — явление релятивистское, для его наглядного представления вполне годится модель классического сложения скоростей, представленная в Энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона (1890–1907 гг.): «Поясним это примером: быстро плывёт корабль по направлению с запада на восток; мы стоим на южном берегу реки, стреляем в борт корабля прямо с юга на север, и ядро летит с такою силою, что пробивает оба борта. При таких условиях отверстия, пробитые в бортах, не будут приходиться одно против другого, потому что, пока ядро летело от одного борта до другого, корабль уже успел переместиться по направлению с запада на восток. Если бы мы не знали, что корабль находился в движении, то при осмотре пробитых отверстий, конечно, должны были бы сделать предположение, что выстрел был направлен вкось к борту корабля. Теперь представим вместо корабля быстро движущуюся Землю, а вместо летящего ядра — луч света, идущий от отдалённой звезды: явление произойдёт подобное же. Если звезда приходится прямо на юг, то при нашем движении на восток придётся зрительную трубу отклонить также к востоку — по тому же направлению, по которому пролетело ядро сквозь борта корабля; если бы движение земного шара происходило на запад, то и наклонение трубы пришлось бы произвести к западу».

Современное физическое объяснение опирается на постулат о неизменности скорости света. Пусть система отсчёта K′ движется со скоростью v относительно системы отсчёта K. Углы, образуемые направлением распространения света с направлением движения K′ относительно K, в K и K′ обозначим соответственно θ и θ'. Тогда, согласно частной теории относительности, справедливо следующее соотношение между θ и θ':

$$\frac{\sin\theta'}{\sin\theta} = \frac{1+\frac{v}{c}\cos\theta'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}.$$

Эта формула — следствие общей формулы преобразования скорости движения частицы при переходе от одной системы отсчёта к другой для частного случая, когда скорость частицы равна c (скорости света). Угол $\alpha = \theta' - \theta$ называется углом аберрации. Если $v \ll c$, то в радианах $\alpha \approx (v/c)\sin\theta'$. Из-за аберрации света наблюдатель, движущийся вместе с системой K′, видит источник света смещённым (по сравнению с направлением на источник в системе K) к апексу движения на угол α. Иными словами, изображение светила всегда смещается в направлении движения.

В астрономии аберрация света приводит к тому, что положение звёзд на небе меняется из-за движения наблюдателя вместе с Землёй. Например, обращение Земли вокруг Солнца вызывает «годичную аберрацию» (англ. *annual aberration*), вследствие которой в течение года все объекты описывают на небесной сфере небольшие эллипсы с большой полуосью 20,5″. Форма эллипса зависит от эклиптической широты звезды. Так, звезда, находящаяся точно в полюсе эклиптики, лучи которой постоянно перпендикулярны к плоскости земной орбиты, будет в течение всего года казаться отстоящей от своего истинного положения на 20,5″. То есть наблюдатель на Земле будет видеть, что в течение года эта звезда описывает маленький круг, диаметр которого равен 41″. Для прочих звёзд этот кажущийся путь

уже будет представлять не окружность, а эллипс, большая ось которого параллельна большой оси эклиптики, наблюдаемой от этих звёзд, а малая ось тем меньше, чем ближе звезда к эклиптике. Если звезда лежит на самой эклиптике, то её годовое движение вследствие аберрации представится в виде прямой линии, параллельной эклиптике, и по этой прямой звезда идёт то в одну сторону, то в другую.

Аберрация света была открыта в 1727 г. английским астрономом Дж. Брадлеем, который, безуспешно пытаясь определить годичные параллаксы звёзд, заметил их аберрационное перемещение. Открытие аберрации света послужило ещё одним подтверждением движения Земли вокруг Солнца и правильности вычисления датским астрономом Оле Рёмером (1644–1710) скорости света.

Кроме годичной аберрации, в астрономии принимаются в учёт и другие явления, связанные с аберрацией света.

В результате вращения Земли наблюдается «суточная аберрация» (англ. *diurnal aberration*). С периодом в одни звёздные сутки скорость наблюдателя меняется, но не более чем на 463 м/с (если наблюдатель находится на экваторе), что приводит к суточной аберрации с амплитудой не более 0,32″.

В принципе существует и «вековая аберрация» (англ. *secular aberration*), вызванная движением Земли вместе с Солнечной системой вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с. Это приводит к существенному смещению видимых положений далёких звёзд и внегалактических объектов. Но направление движения изменяется так медленно, что это постоянное смещение обычно не учитывают.

В понятие «планетная аберрация» входит видимое смещение источника света, вызванное не только его движением относительно наблюдателя, но также изменением его положения в пространстве за время распространения света от него до наблюдателя. Это связано с тем, что расстояние между Землёй и объектами Солнечной системы изменяется быстро и относительно сильно, тогда как для далёких объектов относительные изменения расстояний малы, отчего и изменение направлений на них, связанные с временем распространения света, практически незаметны.

Отдельным понятием считается «годичная аберрация Солнца», направление которой в некотором смысле не меняется: смещение на угол 20,5″ (если считать земную орбиту круговой) всегда направлено на запад. В зависимости от выбранной системы отсчёта это явление можно интерпретировать и по-другому: это смещение (отставание изображения Солнца от его реального положения) возникает из-за времени распространения света от Солнца до Земли (8,32 мин). Действительно, за это время, учитывая орбитальную скорость Земли (30 км/с), её положение относительно Солнца изменяется на 8,32 мин × 30 км/с = 15 тыс. км. Это приводит к угловому смещению изображения Солнца на 15 тыс./150 млн = 10^{-4} рад = 20,5″, т. е. как раз на угол годичной аберрации. Похожая ситуация возникает и с годичным параллаксом Солнца: формально он равен 360°, что иначе называется «движением Солнца по эклиптике».

АБИОГЕНЕЗ (греч. *a* – не, без, *bios* – жизнь и *genesis* – происхождение) – возникновение живого из неживого или образование органических соединений, из которых состоят живые организмы, вне их. Лабораторный синтез белков и других органических веществ в условиях, характерных для первобытной Земли, является подтверждением возможности абиогенного образования жизни на нашей планете. Разнообразие условий на экзопланетах открывает широкие возможности для абиогенного зарождения на них жизни.

АБЛЯЦИЯ (от лат. *ablatio* – отнятие) – унос вещества и разрушение поверхности твёрдого тела (обычно метеорита) потоком горячего газа в результате эрозии, оплавления, сублимации. Поскольку на разрушение, плавление, возгонку, ионизацию вещества расходуется много тепла, на явлении абляции часто основывается тепловая защита космических аппаратов при их входе в атмосферу, а также охлаждение камер сгорания ракетных двигателей.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА – мера истинной мощности излучения небесного объекта. Определяется как видимая звёздная величина светила (обычно звезды или галактики), которую оно имело бы при его наблюдении с расстояния в 10 пк при отсутствии межзвёздного поглощения (см. *Звёздная величина*). В формулах обычно обозначается латинской буквой *M*, часто с указанием спектрального диапазона в виде индекса, например M_V, M_B и т. п. (см. *Фотометрическая система*).

Абсолютная звёздная величина некоторых типичных объектов

Объект	M_V
Сверхновая типа Ia	–19,4
Бетельгейзе (α Ori)	–5,0
Сириус A	+1,5
Солнце	+4,82
Тусклые белые карлики	+16
Юпитер в полной фазе	+26

Если m – видимая звёздная величина, M – абсолютная звёздная величина, r – расстояние в парсеках, $A(r)$ – межзвёздное поглощение света, выраженное в звёздных величинах и в среднем зависящее от расстояния до объекта, но также и от направления на него (поскольку распределение пыли в межзвёздном пространстве весьма неоднородно), то

$$M = m + 5 - 5\lg r - A(r).$$

Отношение светимостей L_1 и L_2 двух объектов, имеющих абсолютные звёздные величины M_1 и M_2, можно вычислить по формуле

$$\lg(L_1/L_2) = 0{,}4(M_2 - M_1),$$

не забывая, что эти величины должны относиться к одному и тому же спектральному диапазону. Например, светимость звезды в фильтре V по отношению к Солнцу вычисляется по её абсолютной величине в этом фильтре:

$$\lg(L_V/L_{V\odot}) = 0{,}4(4{,}82 - M_V) = 1{,}93 - 0{,}4M_V,$$

где светимость Солнца в фильтре V составляет $L_{V\odot} = 3{,}58 \cdot 10^{26}$ Вт.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА АСТЕРОИДА (M) – звёздная величина астероида, какой бы она была при его расстоянии от Земли и от Солнца в 1 а. е. Освещённость от астероида на Земле можно представить как

$$F = F_0/(r^2\Delta^2),$$

где r – расстояние от Солнца, Δ – расстояние от Земли, F_0 – значение F при $r = \Delta = 1$ а. е. При этом его видимая звёздная величина составит

$$m = M + 5\lg r + 5\lg\Delta.$$

Для известных астероидов $M \geqslant 3^m$.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА КОМЕТЫ (H_0) – звёздная величина головы кометы, которую она имела бы, находясь от Земли и от Солнца на расстояниях в 1 а. е. Для вычисления абсолютной величины кометы недостаточно, как, например, для астероида, знать видимый блеск (m) и расстояния от Земли (Δ) и от Солнца (r): требуется ещё сделать предположение о том, как зависит «светимость» кометы от её расстояния до Солнца. Для твёрдого тела с неизменными свойствами поверхности (астероид) эта зависимость чисто геометрическая: мощность рассеянного им солнечного света пропорциональна r^{-2}. Но свойства кометы – размер и плотность её головы – меняются сложным образом. В общем случае «светимость» кометы можно представить как $\sim r^{-n}$, причём из наблюдения за различными кометами получают $2 < n < 6$. Среднее по многим наблюдениям значение $n = 4$; его и принимают для вычисления абсолютных звёздных величин комет по формуле

$$H_0 = m - 2{,}5n\lg r - 5\lg\Delta \approx m - 10\lg r - 5\lg\Delta.$$

Для разных комет она варьирует от -3^m (комета 1729 г.) через $4{,}6^m$ (комета Галлея

1910 II) до +15^m (самые слабые из открываемых комет).

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА МЕТЕОРА (M) — блеск метеора, каким бы он был виден с расстояния 100 км, будучи расположен в зените:

$$M = m - 5\lg(R/100\text{ км}) - K,$$

где R — истинное расстояние до метеора, K — поправка за экстинкцию (редукция к зениту).

АБСОЛЮТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА — одно из основных понятий термодинамики, введённое У. Томсоном (лордом Кельвином; W. Thomson) в 1848 г.; обозначается буквой T. Согласно второму началу термодинамики, $1/T$ — интегрирующий множитель для количества теплоты ΔQ, полученного системой при любом обратимом процессе, поэтому $\Delta Q/T = dS$ — дифференциал функции состояния S (энтропии). Это позволяет ввести абсолютную термодинамическую шкалу Кельвина с помощью обратимых термодинамических циклов, например цикла Карно. Абсолютная температура связана с энтропией, внутренней энергией U и объёмом V соотношением $1/T = (\partial S/\partial U)_V$.

Абсолютная температура выражается в кельвинах (К), отсчитывается от абсолютного нуля температуры и измеряется по Международной практической температурной шкале.

В статистической физике абсолютная температура входит в каноническое распределение Гиббса $f = Z^{-1}\exp(-H/kT)$, где H — функция Гамильтона системы, Z — статистический интеграл. В статистической теории неравновесных процессов абсолютная температура вводится с помощью локально-равновесного распределения, подобного распределению Гиббса, но с абсолютной температурой, зависящей от пространственных координат и времени.

АБСОЛЮТНО ЧЁРНОЕ ТЕЛО — воображаемая идеальная поверхность, способная полностью поглощать падающее на неё электромагнитное излучение. Такая поверхность одновременно является идеальным источником теплового излучения, полная мощность и спектральный состав которого зависят только от температуры поверхности и описываются законом Планка. Понятие абсолютно чёрного тела ввёл в 1859 г. Густав Кирхгоф (G. R. Kirchhoff), установивший связь между испускательной и поглощательной способностями тела, находящегося в равновесии с излучением при определённой температуре.

Абсолютно чёрных тел в природе не существует. При фиксированной температуре (в состоянии термодинамического равновесия) любое реальное тело излучает с единицы поверхности меньше, чем абсолютно чёрное тело. Однако хорошим приближением к абсолютно чёрному телу служит устройство, состоящее из замкнутой полости, внутренняя поверхность которой нагрета до температуры T, с отверстием, малым по сравнению с размерами полости. Внутри полости устанавливается практически полное равновесие излучения с веществом, и плотность энергии выходящего из отверстия излучения очень мало отличается от равновесной. Подобные устройства, с высокой точностью моделирующие абсолютно чёрное тело, применяют в качестве световых эталонов, используют при измерениях высоких температур, в частности температуры Солнца и звёзд.

АБСОРБЦИЯ (*лат. absorptio*, от *absorbeo* — поглощаю) — поглощение веществ из газовой смеси жидкостями или (реже) твёрдыми телами (абсорбентами); один из видов сорбции. При абсорбции поглощение происходит во всём объёме абсорбента (в отличие от адсорбции — поглощения вещества поверхностью). Ранее к абсорбции относили извлечение какого-либо компонента жидким растворителем, которое называется экстракцией. Абсорбция газов металлами называется окклюзией. Если при абсорбции происходит химическое взаимодействие поглощаемого вещества с абсорбентом, то процесс относят к хемосорбции. Абсорбция определяется процессами адсорбции, растворимостью абсорбируемого вещества в абсорбенте и диффузией в нём. Скорость абсорбции тем выше, чем выше парциальное давление поглощаемого вещества в газовой смеси и чем ниже температура абсорбента. При повышении температуры поглощённые вещества выделяются из раствора — происходит десорбция. Процессы абсорбции и десорбции широко используются в химическом производстве.

АБСОЛЮТНЫЙ НОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ — начало отсчёта абсолютной температуры по термодинамической шкале (например, шкале Кельвина). Температура 0 кельвинов (0 К) — самая низкая из возможных температур. В 1954 г. X Генеральная конференция по мерам и весам установила термодинамическую температурную шкалу с одной реперной точкой — тройной точкой воды, температура которой принята 273,16 К (точно), что соответствует 0,01 °С. Таким образом, по шкале Цельсия абсолютному нулю соответствует температура −273,15 °С.

В рамках классической физики абсолютный ноль температуры соответствует полному прекращению теплового (хаотического) движения частиц. Согласно третьему началу термодинамики (теореме Нернста), при стремлении температуры системы к абсолютному нулю температуры, к нулю стремятся и её энтропия, теплоёмкость, коэффициент теплового расширения. При абсолютном нуле температуры прекращаются хаотические движения атомов, молекул, электронов, определяющие температуру системы, но, с точки зрения квантовой физики, остаются их регулярные движения, например нулевые колебания атомов в решётке, с которыми связана квантовомеханическая нулевая энергия.

АВГУСТ — шестой месяц староримского года, начинавшегося до реформы Цезаря с месяца марта, первоначально назывался поэтому *Sextilis*. Настоящее своё название он получил в честь императора Августа, именем которого сенат назвал месяц, особенно счастливый в жизни императора. Подобного рода честь была ещё раньше оказана сенатом Юлию Цезарю, по имени которого месяц *Quintilis* переименован в *Julius*.

Первоначально *Sextilis* имел лишь 29 дней, но Юлий Цезарь прибавил к нему, так же как к январю и декабрю, ещё 2 дня, так что в настоящее время месяц август имеет 31 день. У немцев август называется месяцем жатвы *(Erntemonat)*. Старославянское его название — Серпень. Этот месяц представляет страдную пору для крестьянина, которому приходится косить, пахать и сеять под озимые.

АВРОРАЛЬНАЯ ЗОНА — область атмосферы шириной в несколько градусов, в которой наиболее часто наблюдаются ночные полярные сияния. Эта область располагается вдоль геомагнитной параллели 67° на высоте около 100 км. В древнеримской мифологии Аврора (лат. *Aurora*) — богиня утренней зари. В английском и французском языках существует прилагательное *auroral* — напоминающий полярное сияние, вызванный полярным сиянием.

АВРОРАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТРУЯ — электрический ток в области аврорального овала, направленный на запад в ночные и утренние часы, на восток — в вечерние.

АВРОРАЛЬНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — излучение атмосферы Земли, вызываемое вторжением энергичных электронов в области полярных сияний.

АВРОРАЛЬНЫЕ РАДИООТРАЖЕНИЯ — явление, наблюдаемое при КВ- и УКВ-радиолокации ионосферы; обусловлено рассеянием радиоволн на неоднородностях ионосферной плазмы в зоне полярных сияний во время геомагнитных возмущений на высотах 100–130 км. Это явление называют также «полярными радиоотражениями», или «радиолокационными отражениями от полярных сияний»,

хотя последний термин является физически необоснованным.

С помощью авроральных радиоотражений можно регистрировать слабые диффузные полярные сияния, не наблюдаемые оптическими методами. Причина возникновения этого явления (как и полярных сияний) — вторжение заряженных частиц из магнитосферы Земли в ионосферу вблизи полюсов. Однако для появления авроральных радиоотражений необходимо ещё и наличие ионосферного электрического поля > 20 мВ/м. При более низкой величине электрического поля неоднородности ионосферы, ответственные за рассеяние радиоволн метрового диапазона, не генерируются и авроральные радиоотражения не наблюдаются. Следует отметить, что на высотах около 100 км наблюдаются и метеорные радиоотражения, но по характеру отражённых сигналов они резко отличаются от авроральных радиоотражений.

АВРОРАЛЬНЫЙ ОВАЛ — область ионосферы, где наиболее часто наблюдаются полярные сияния.

АВСТРАЛИЙСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (Australian Astronomical Observatory, AAO) — отделение Управления инноваций, промышленности, науки и исследований Австралии, в распоряжении которого находятся крупнейшие австралийские оптические и инфракрасные телескопы. До июля 2010 г. эта организация носила название «Англо-австралийская обсерватория» (Anglo-Australian observatory). AAO управляет 3,9-метровым Англо-австралийским телескопом и 1,2/1,8-метровым Британским телескопом Шмидта, установленным на обсерватории Сайдинг-Спринг, на высоте 1165 м, близ города Кунабарабран (*Coonabarabran*). Сотрудники AAO активно проводят наблюдения и на других крупнейших телескопах мира.

АВСТРАЛИЙСКАЯ КОМПАКТНАЯ СЕТЬ РАДИОТЕЛЕСКОПОВ (Australia Telescope Compact Array, ATCA) — радиоастрономическая система апертурного синтеза размером 6 км, состоящая из шести подвижных радиотелескопов с полноповоротными параболическими антеннами диаметром 22 м. Расположена в обсерватории «Пол Вайлд», в 25 км к западу от г. Наррабрай (Австралия). Система имеет возможность совместной работы с параболическими антеннами, расположенными в Сайдинг-Спринге и Парксе, что обеспечивает максимальную базу для интерферометрии в 300 км.

АВТОГИД — оптико-электронная система, позволяющая автоматически удерживать телескоп точно наведённым на наблюдаемый объект. Автогид помогает получать качественные астрономические изображения с длинными экспозициями. Многие современные ПЗС-камеры способны выполнять автоматическое гидирование, используя изображение самого фотографируемого объекта для получения сигналов, управляющих двигателями коррекции. Альтернативный вариант автогида — это отдельное устройство, устанавливаемое на дополнительный телескоп-гид или использующее свет, собранный основным телескопом, и имеющее в качестве приёмника фотодиод или фотоумножитель. Работа такого автогида основана на оценке дисбаланса потоков расщеплённого света от гидировочной звезды при появлении ошибки ведения, которая позволяет определить направление сдвига изображения и выработать корректирующий сигнал для приводов телескопа.

АВТОИОНИЗАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ АТОМОВ (или ионов) — состояния, в которых возбуждены два электрона или более, так что суммарная энергия возбуждения больше энергии однократной ионизации атома. Автоионизационные состояния являются неустойчивыми и могут распадаться с испусканием электронов и фотонов в непрерывном спектре (оже-эффект). Автоионизационные состояния возникают в газах и плазме при образовании вакансий во внутренних оболочках атомов под действием фотонов и столкновений с электронами (и/или ионами) либо при одновременном возбуждении нескольких электронов.

АВТОКОЛЛИМАЦИЯ (от греч. *autos* — сам и *collimo*, искаженного лат. *collineo* — направляю по прямой линии) — ход световых лучей, при котором они, выйдя параллельным пучком из коллиматора, входящего в состав оптической системы, отражаются от плоского зеркала и проходят систему в обратном направлении. Если зеркало перпендикулярно оптической оси системы, то излучающая точка, лежащая в фокальной плоскости на этой оси, совмещается с её изображением в отражённых лучах; поворот зеркала приводит к смещению изображения. Автоколлимацией пользуются в оптических приборах (например, в спектральных) для точных угловых измерений, для выверки параллельности оптических деталей (например, зеркал в лазерах), контроля параллельности перемещений и т. д.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТЕЛЕСКОП — то же, что роботизированный телескоп или телескоп-робот.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ — беспилотные устройства, запускаемые в космическое пространство и способные выполнять операции как подчиняясь радиокомандам, передаваемым с Земли, так и по программам, заложенным в память их бортовых компьютеров. Такие аппараты используются для нужд народного хозяйства, в интересах научных космических исследований и в военных целях.

В состав любого автоматического космического аппарата входят так называемые служебные компоненты: системы управления, ориентации, энергопитания; двигательные установки; приёмно-передающая радиоаппаратура; телеметрическая система и т. д. В зависимости от решаемой задачи на таком космическом аппарате дополнительно устанавливаются ретрансляторы — для спутников связи; оптические инструменты — фото- и телекамеры — для спутников, исследующих земную поверхность и атмосферу, и т. п. Научные задачи решаются с помощью специально разработанной для каждого космического проекта аппаратуры и чаще всего практически заново сконструированного космического аппарата.

Для изучения околоземного пространства — магнитного поля, ионосферы, радиационных поясов Земли, а также влияния Солнца на Землю — часто используются космические аппараты, запускаемые на очень вытянутую околоземную орбиту, для того чтобы аппарат пронизывал возможно большую толщу ионосферы и радиационных поясов. Для исследования астрофизических объектов используются космические аппараты, также запускаемые на вытянутую околоземную орбиту. Это вызвано необходимостью точного наведения космических телескопов на исследуемые объекты, что значительно проще сделать на удалённых от Земли участках орбиты. С той же целью предпринимаются специальные меры по стабилизации ориентации аппарата относительно звёзд.

Для изучения планет и малых тел Солнечной системы используются направляемые к ним специальные аппараты — автоматические межпланетные станции. Часто в этом случае их конструкция бывает совершенно особой. Например, в случае исследования внешних планет вместо солнечных батарей, неэффективных из-за большого расстояния от Солнца, используют радиоизотопные источники электроэнергии. В связи с большой дистанцией между Землёй и межпланетной станцией и конечностью скорости света оперативный радиообмен с ней бывает затруднён. Время между запросом и ответом может достигать десятков минут и даже часов. Это требует установки на межпланетных станциях интеллектуальных электронных процессорных систем, которые могут принимать оперативные решения самостоятельно.

АВТОНОЕ (J XXVIII, Autonoe) — естественный спутник Юпитера. Автор откры-

тия – Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 24 264 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 772,2 сут. Эксцентриситет орбиты 0,37. Наклонение орбиты к эклиптике 151°. Диаметр 4 км. Альбедо около 4%. Блеск m_R = 22,0^m и максимальное угловое расстояние от планеты 3° 01′ 33″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ (от лат. *aggrego* – присоединяю) – состояния одного и того же вещества в различных интервалах температур и давлений. Традиционно агрегатными считают газообразное, жидкое и твёрдое состояния, переходы между которыми сопровождаются скачкообразными изменениями свободной энергии вещества, энтропии, плотности и других физических характеристик. С увеличением температуры газов при фиксированном давлении они переходят в состояние частично, а затем полностью ионизированной плазмы, которую также принято считать агрегатным состоянием. С увеличением давления (в звёздах) вещество переходит в состояние вырожденной плазмы, нейтронной жидкости и т. д. Понятие агрегатного состояния не является точно определённым. Более точным является понятие фазы.

АДАМС, Джон Кауч (Adams John Couch) (5.06.1819, Ланист, Корнуолл, Англия, – 21.01.1892, Кембридж) – английский астроном и математик. Учился в колледже Сент-Джонс Кембриджского университета. Теоретически исследовал отклонения в движении Урана и пытался предсказать (1845) существование неизвестной возмущающей планеты, находящейся дальше Урана. Независимо от Адамса это сделал француз Урбен Леверье. В 1846 г. планета Нептун была открыта вблизи места, указанного Леверье. В 1859 г. Адамс стал Лоундинским профессором астрономии и геометрии Кембриджского университета, а в 1861 г. – директором Кембриджской обсерватории. Он исследовал вековое ускорение движения Луны и возмущения метеорного потока Леониды.

АДАМС, Уолтер Сидни (Adams, Walter Sydney) (20.12.1876, Антиохия, Сирия, ныне Антакья, Турция, – 10.05.1956, Пасадена, Калифорния) – американский астроном. Получил образование в Дартмутском колледже, а также в Чикагском, Мюнхенском и Колумбийском университетах. Преподавал астрономию в Чикагском университете; в 1901–1904 гг. на Йеркской обсерватории занимался изучением скоростей звёзд. В 1904–1909 гг. был помощником астронома в обсерватории Маунт Вилсон, а в 1923–1946 гг. её директором. Главным направлением его работы была спектроскопия звёзд. Вместе с Арнольдом Кольшюттером он обосновал спектральные критерии абсолютных величин (т. е. истинной светимости) звёзд и методы определения их спектральных параллаксов. В ходе спектрального исследования планет Адамс обнаружил углекислый газ в атмосфере Венеры и изучил содержание кислорода и паров воды на Марсе. Спектральными методами он изучил дифференциальное вращение Солнца, содержание химических элементов в межзвёздном газе и движение звёзд вдоль луча зрения. Его измерения гравитационного красного смещения спектральных линий у белых карликов подтвердили общую теорию относительности Эйнштейна.

АДАПТАЦИЯ ЗРЕНИЯ К ТЕМНОТЕ – физиологическое явление (известное также как ночное зрение), благодаря которому чувствительность зрения увеличивается в десятки раз после пребывания в темноте в течение нескольких минут. Наиболее известным механизмом адаптации к темноте является увеличение размера зрачка глаза. Средний диаметр зрачка при ярком освещении составляет 2–3 мм; в темноте зрачок за несколько секунд расширяется, и его диаметр возрастает у людей среднего возраста до 6–7 мм (у молодых людей немного больше, у пожилых – меньше), что увеличивает количество пропускаемого света в 7–8 раз. Однако основной механизм адаптации более сложен и связан с физиологическими процессами в сетчатке глаза.

Как известно, сетчатка устлана мельчайшими светочувствительными клетками – палочками и колбочками; количество палочек приблизительно в 20 раз больше, чем колбочек. Палочки распределены по всей сетчатке (за исключением центральной ямки), в то время как колбочки сконцентрированы в области жёлтого пятна сетчатки. Палочки и колбочки по-разному реагируют на свет: палочки чувствительнее колбочек и обеспечивают монохроматическое (чёрно-белое) зрение, а колбочки, хотя и имеют невысокую чувствительность, позволяют различать цвета. Имеется три типа колбочек, отвечающих за восприятие синего, зелёного и жёлто-красного участков спектра. При поглощении света в палочках происходит расщепление молекул родопсина, которым богаты палочки. При ярком освещении родопсин быстро расходуется, и поэтому в основном работает колбочковое (цветное) зрение. В полной темноте родопсин восстанавливается в течение примерно 20 минут. После полного восстановления родопсина чувствительность палочек приблизительно в 100 раз превышает чувствительность колбочек. Таким образом, после адаптации к темноте глаз способен воспринимать сравнительно малые световые потоки, но теряет возможность различать цвета.

Если зрение адаптировалось к темноте, то даже кратковременное яркое освещение приводит к быстрому израсходованию родопсина. Поэтому для сохранения адаптации к темноте наблюдатели предпочитают работать при очень слабой подсветке или даже совсем без неё. Известно, что граничная длина волны, до которой палочки ещё воспринимают свет, составляет приблизительно 600 нм, в то время как колбочки, воспринимающие жёлто-красные лучи, реагируют на излучение с длиной волны до 700 нм. Поэтому при наблюдениях можно использовать тёмно-красную подсветку без нарушения адаптации к темноте. Для этой цели хорошо подходит красный фонарь для фотопечати с лампой накаливания низкой мощности (ещё лучше, если он включён через трансформатор, понижающий напряжение). Следует учитывать, что большинство современных красных осветителей, используемых с этой целью, включая красные светодиоды, дают заметный поток в оранжевой части спектра и не позволяют сохранять адаптацию к темноте должным образом.

АДАПТИВНАЯ АНТЕННА (от лат. *adapto* – приспособляю, прилаживаю) – разновидность антенны с обработкой сигналов, предназначенная для максимизации отношения сигнал/шум. Максимизация осуществляется автоматической регулировкой весовых коэффициентов, с которыми суммируются сигналы, поступающие от отдельных приёмных каналов. Чаще всего адаптивной антенной служит антенная решётка.

Обычно обработка сигналов помех, обеспечивающая подавление суммарного сигнала помех на выходе адаптивной антенны, производится до приёма полезного сигнала. Аппаратура системы обработки основана на использовании устройств для регулировки амплитуд и/или фаз весовых коэффициентов. Регулировка весовых коэффициентов производится автоматически с помощью обратных связей между выходом системы обработки сигналов и приёмными каналами адаптивной антенны.

Процедура адаптации эквивалентна вычитанию из исходной диаграммы направленности (ДН) решётки компенсационной ДН, формируемой в процессе выработки оптимальных весовых коэффициентов, вследствие чего результирующая ДН приобретает провалы в направлениях на источники помех. Глубина подавления помех, необходимый объём аппаратуры обработки сигналов зависят от используемого метода адаптации и его конкретной реализации.

Один из вариантов адаптивной антенны – самофокусирующаяся антенная ре-

шётка. В режиме приёма она обрабатывает принимаемую волну с любым фазовым фронтом так, что сигналы от всех элементов суммируются синфазно. Благодаря этому при изотропно приходящих внешних шумах обеспечивается максимум отношения сигнал/шум на выходе адаптивной антенны. Самофокусирующаяся адаптивная антенна может работать и в приёмно-передающем режиме; при этом излучение сигнала осуществляется в направлении источника принимаемой волны. И в режиме приёма, и в режиме передачи принимаемый сигнал используется для управления фазами токов в отдельных элементах адаптивной антенны. Приёмно-передающая самофокусирующаяся адаптивная антенна в известном смысле сходна с системами обращения волнового фронта, используемыми, в частности, в оптике. Адаптивные антенны применяют в системах связи, в радиолокации и радиоастрономии.

АДАПТИВНАЯ ОПТИКА — методика исправления атмосферных искажений изображения при астрономических наблюдениях, позволяющая повысить угловое разрешение крупного наземного телескопа вплоть до теоретически возможного предела (см. *Рэлеевский предел разрешения*).

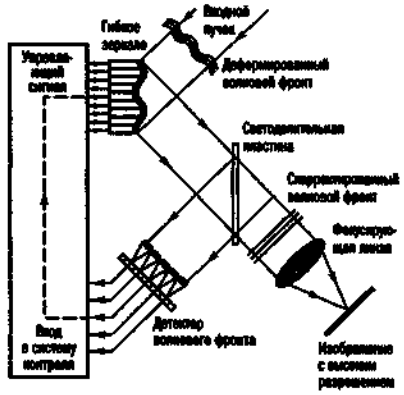
Проходя сквозь неоднородную турбулентную атмосферу, плоский волновой фронт света теряет свою форму, при этом изображение даже в идеальном телескопе теряет резкость и дрожит. Для восстановления плоской формы волнового фронта обычно используется небольшое вторичное «мягкое» зеркало, управляемое компьютером и с высокой частотой (до 1 кГц) изменяющее свою форму. Необходимым условием для работы системы адаптивной оптики является наличие по соседству с изучаемым объектом достаточно яркого точечного источника — опорной звезды. Управляющая программа с помощью детектора волнового фронта анализирует изображение одиночной звезды и, регулируя форму мягкого зеркала, добивается того, чтобы её изображение приняло идеальный, точечный вид. Если это удаётся, то становятся более чёткими изображения и всех других объектов, наблюдаемых вблизи этой опорной звезды в пределах области изопланатизма. Эффективность системы адаптивной оптики определяется числом Штреля.

В качестве детектора искажений, вносимых атмосферой в волновой фронт излучения опорной звезды, обычно используют датчик Гартмана, содержащий матрицу из микролинз, расположенную в выходном зрачке телескопа. Например, у 8,2-метровых телескопов VLT это матрица 30×30. Каждая микролинза строит отдельное изображение звезды на ПЗС-приёмнике. Смещения мгновенного фотоцентра каждого изображения указывают наклон волнового фронта в данном месте входной апертуры.

Для быстрого анализа изображения опорной звезды она должна быть весьма яркой, ведь свет от неё делится датчиком Гартмана на много частей, и положение каждого созданного им изображения определяется сотни и даже тысячи раз в секунду. Поскольку в поле зрения телескопа редко встречаются яркие звёзды, во многих системах адаптивной оптики имеется возможность «зажигать искусственную звезду». При этом используется тот факт, что верхние слои земной атмосферы на высоте около 90 км обогащены атомами натрия. С помощью специального мощного лазера в поле зрения телескопа на этой высоте возбуждается свечение натрия, т. е. создаётся маленькое яркое пятно, играющее роль «искусственной опорной звезды».

Адаптивная оптика начала интенсивно развиваться в 1950-е гг. Практические эксперименты с системами астрономической адаптивной оптики начались в конце 1980-х гг., а с 2000 г. почти на всех крупных телескопах используются такие системы, позволяющие довести угловую разрешающую способность телескопа до его физического (дифракционного) предела. Система активной оптики жизненно необходима для работы наземного оптического интерферометра, поскольку длина когерентности света после его прохождения через атмосферу составляет всего около 10 см.

Адаптивные оптические системы используются не только в астрономии. Они требуются при наблюдении Земли из космоса, для концентрации лазерного излучения на удалённой мишени, для создания мощных лазерных излучателей, подверженных особым видам помех, и т. п. В широком смысле адаптивная оптика — это раздел оптики, занимающийся разработкой оптических систем с динамическим управлением формой волнового фронта для компенсации случайных возмущений и повышения предела разрешения наблюдательных приборов, степени концентрации излучения на приёмнике или мишени и т. п. Адаптивные оптические системы классифицируются по порядку волновых аберраций, которые они способны компенсировать (т. е. по степени полинома, в виде которого представляется распределение фазовой поправки по сечению пучка). Простейшие системы, 1-го и 2-го порядков, изменяют общий наклон волнового фронта и его кривизну простым перемещением отдельных оптических элементов фиксированной формы. Для систем более высокого порядка в качестве корректирующих элементов вначале чаще всего использовались зеркала, разбитые на некоторое число самостоятельно перемещаемых сегментов. Постепенно они вытесняются гибкими, «мем-



Принципиальная схема адаптивной оптической системы телескопа

бранными» зеркалами, формой поверхности которых управляют либо созданием изгибающих моментов внутри самого зеркала, либо действием сил со стороны несущей конструкции. Часто используются небольшие деформируемые зеркала с пьезоэлектрическими приводами, устанавливаемые на участках оптической системы с умеренными размерами сечения светового пучка (в астрономии — вблизи фокальной плоскости объектива телескопа).

Информацию о необходимом воздействии на волновой фронт получают методом пробных возмущений либо непосредственным измерением формы фронта. Оба эти способа применяются при создании как приёмных, так и излучающих систем. Метод пробных возмущений, или апертурного зондирования, заключается в измерении реакции на преднамеренно вносимые небольшие фазовые искажения. Контролируемым параметром при этом обычно является интенсивность излучения в сфокусированном пятне либо интенсивность света, рассеянного мишенью. Эффекты, за которые ответственны разные виды фазовых искажений, разделяют либо по частоте (так называемый многовибраторный метод), либо по времени (так называемый многоступенчатый или последовательный метод). В первом случае возбуждаются малые гармонические колебания различных участков зеркала (либо колебательные моды зеркала в целом) с различными частотами; спектральный анализ результирующего сигнала позволяет установить величину и направление необходимых для оптимизации системы изменений формы фронта. Во втором случае возбуждение колебаний отдельных участков или мод зеркала осуществляется последовательно во времени.

Для пробных возбуждений и итоговой корректировки фазового распределения обычно используются разные зеркала: одно обеспечивает малые изменения фазы с высокими временными частотами,

второе имеет значительно больший диапазон изменения формы и может быть более инерционным. Связанное с этим усложнение основного оптического тракта в определённой степени компенсируется применением лишь одного некогерентного приёмника излучения.

Для прямого измерения формы волнового фронта разработаны самые разнообразные и порой весьма оригинальные способы (главным образом интерферометрические), обычно применяемые в сочетании с методом компенсации волнового фронта (для приёмных систем) и методом фазового сопряжения (для излучателей). Метод компенсации заключается в восстановлении у волнового фронта излучения, пришедшего от находящегося в поле зрения точечного объекта идеальной сферической формы, утраченной им вследствие влияния турбулентности атмосферы и аберраций объектива телескопа. Именно этот метод применяется в астрономии. Его практическая реализация была описана выше.

В методе фазового сопряжения волновому фронту излучения, испускаемого мощным источником, придаётся форма, сопряжённая по фазе с фронтом опорного излучения, рассеянного мишенью и пришедшего к источнику. Для предварительного освещения мишени с целью получения опорного излучения может использоваться как основной, так и вспомогательный источник. Таким образом, на излучаемую волну заранее накладываются такие искажения, что последующие искажения на пути её распространения оказываются скомпенсированными; этим достигается максимальная концентрация излучения на мишени.

Нередко к адаптивной оптике относят также область лазерной техники, связанную с применением фазово-сопряжённых волн для автокомпенсации искажений волнового фронта в мощных лазерных усилителях. В некоторых случаях удаётся непосредственное преобразование опорной волны в сопряжённую с помощью методов нелинейной оптики и голографии.

АДАПТИВНОЕ ЗЕРКАЛО — небольшое тонкое или сегментированное зеркало, имеющее систему актюаторов, с помощью которых его форма изменяется под управлением компьютера для компенсации искажений изображения, внесённых атмосферой. Простейшим примером адаптивного зеркала служит качающееся плоское зеркало. Более сложный вариант — многоэлементное зеркало, каждый сегмент которого управляется независимо. Другой вариант — тонкое сплошное зеркало, деформируемое системой актюаторов.

АДИАБАТА (от греч. *adiabatos* — непереходимый) — линия на термодинамической диаграмме состояний, изображающая обратимый адиабатический процесс. В таких процессах постоянна энтропия, поэтому адиабата называется также изоэнтропой. Для построения адиабат нужно знать любой из термодинамических потенциалов, определяющих уравнение состояния. Для идеального газа адиабата описывается уравнением Пуассона $PV^{\gamma}=\text{const}$ (а также уравнениями $TV^{\gamma-1}=\text{const}$, $T^{\gamma}P^{1-\gamma}=\text{const}$), где P — давление, V — объём, T — температура, $\gamma=C_P/C_V$ — отношение теплоёмкости при постоянном давлении к теплоёмкости при постоянном объёме. Для одноатомного газа при обычных температурах $\gamma=1{,}67$; для двухатомного газа $\gamma=1{,}4$. Уравнения адиабаты показывают, что при адиабатическом сжатии газ нагревается, что используется для воспламенения смеси в двигателях внутреннего сгорания. Охлаждение при адиабатическом расширении — один из способов получения низких температур и ожижения газов. Для газов, подчиняющихся уравнению состояния Ван-дер-Ваальса, адиабата описывается уравнением $(P+a/v^2)(v-b)^{\gamma}=\text{const}$, где v — удельный объём, a и b — постоянные. Для ультрарелятивистского ферми-газа и фотонного газа адиабата описывается уравнением Пуассона, где $\gamma=4/3$.

АДИАБАТИЧЕСКИЕ ИНВАРИАНТЫ — физические величины, остающиеся практически неизменными при медленном (адиабатическом), но не обязательно малом изменении внешних условий, в которых находится система, либо самих характеристик системы (внутреннее состояние, масса, электрический заряд и пр.). Отмеченное изменение должно происходить за времена τ, значительно превышающие характерные периоды движения системы (T).

В классической механике адиабатическими инвариантами являются переменные действия

$$I_k=\oint p_k dq_k,$$

где p_k — обобщённый импульс, q_k — обобщённая координата, интегрирование производится по периоду (или квазипериоду). Для гармонического осциллятора адиабатическим инвариантом является отношение его энергии к частоте. Характерно, что при адиабатическом изменении условий становятся связанными между собой физические величины, которые, вообще говоря, независимы, как, например, амплитуда колебаний маятника и его длина.

Физически важным примером адиабатического инварианта служит магнитный момент, создаваемый током заряженной частицы при её движении в медленно меняющемся (в пространстве или во времени) магнитном поле: $p_{\perp}^2/H=\text{const}$, где $p_{\perp}$ — проекции импульса заряженной частицы на плоскость, перпендикулярную направлению магнитного поля (H) в данной точке пространства.

На сохранении адиабатических инвариантов основано так называемое дрейфовое приближение, широко используемое в физике плазмы, а также действие «магнитных пробок» и основанных на них адиабатических ловушек — пробкотронов, применяемых в исследованиях по удержанию горячей плазмы для целей управляемого термоядерного синтеза и осуществляющихся, например, в магнитном поле Земли (в радиационных поясах).

Количество адиабатических инвариантов не превышает числа степеней свободы, по которым движение системы финитно (ограничено в пространстве). Так, в магнитных ловушках, кроме магнитного момента, может сохраняться продольный адиабатический инвариант, соответствующий движению вдоль магнитных силовых линий:

$$\int_a^b p_l dl,$$

где p_l — проекция импульса частицы на направление H, а интеграл берётся вдоль траектории между точками поворота частицы.

Расчёты, проводимые в небесной механике, а также исследования длительности удержания заряженных частиц в адиабатических ловушках вызвали вопрос о точности, с которой сохраняются адиабатические инварианты. Строго говоря, адиабатический инвариант может изменяться в значительных пределах, если во временной зависимости внешних условий присутствуют частоты, кратные частотам самой системы (параметрический резонанс). Если не рассматривать такие ситуации, то адиабатический инвариант сохраняется с большей точностью, чем любая степень малого параметра T/τ.

Интерес к адиабатическим инвариантам сильно возрос в годы установления понятий квантовой механики. В квантовой механике адиабатическими инвариантами являются те из квантовых чисел (n), для которых частоты $\omega=(E_{n+1}-E_n)/\hbar$ (где E — энергия) удовлетворяют условию адиабатичности ($\omega\tau\gg 1$). Иными словами, квантовая система, находящаяся под адиабатическим воздействием, остаётся в одном и том же состоянии (хотя само состояние меняется, адиабатически следуя за изменением внешнего воздействия). Все переходы такой системы из одного состояния в другое называются неадиабатическими переходами и связаны с пересечением соответствующих уровней энергии ($\omega=0$).

АДИАБАТИЧЕСКИЕ ФЛУКТУАЦИИ (в космологии) — один из возможных типов малых нарушений однородности Вселенной, привлекаемых для объяснения происхождения её наблюдаемой структуры: га-

лактик, а также групп, скоплений и сверхскоплений галактик. Адиабатические флуктуации присутствуют, вероятно, уже на самых ранних стадиях эволюции Вселенной — вблизи космологической сингулярности. Они представляют собой неоднородности плотности и потенциальные возмущения скорости вещества, которые нарушают однородное и изотропное расширение Вселенной и, нарастая под действием сил тяготения, приводят к образованию гравитационно обособленных космических тел.

Адиабатические флуктуации сохраняют удельную энтропию строго неизменной по пространству — отсюда их название. Постоянство удельной энтропии является, согласно современным теориям, одним из важнейших свойств ранней Вселенной. В ходе эволюции Вселенной мелкомасштабные адиабатические флуктуации испытывают сильное затухание. В космологических моделях, в которых предполагается, что в настоящее время основной вклад в плотность вещества дают барионы, это затухание происходит на стадии ионизованного водорода и вызвано диссипативным взаимодействием водородно-гелиевой плазмы с фотонами, заполняющими Вселенную.

Граничный масштаб адиабатических флуктуаций, испытывающий затухание, если определять его массой вовлечённых во флуктуацию барионов M_d (d от «damping»), зависит от атомных констант и параметров рассматриваемой космологической модели (постоянной Хаббла H_0 и безразмерной средней плотности Вселенной Ω_0). Значение M_d оценивается по аппроксимационной формуле $M_d = (4\pi/3)\rho_b \lambda_d^3$, где $k_d = 2\pi/\lambda_d$ — волновое число, соответствующее масштабу затухания в спектре адиабатических флуктуаций, ρ_b — средняя плотность барионов. Формула приближённо справедлива при $0{,}01 < \Omega_0 h^2 < 1$, где $h = H_0/[100$ км/(с·Мпк)] — безразмерный параметр.

В моделях Вселенной, где по своему вкладу в массу доминируют слабовзаимодействующие частицы, обладающие массой покоя (например, электронное нейтрино с предполагаемой массой $m_\nu \sim 10$–100 эВ и, возможно, нестабильное), затухание мелкомасштабных адиабатических флуктуаций вызвано эффектом перемешивания — аналогом затухания Ландау — на стадии, когда слабовзаимодействующие частицы были релятивистскими. Граничный масштаб затухания $M_\nu \sim m_{Pl}(m_{Pl}/m_\nu)^2$, где $m_{Pl} \sim (ch/G)^{1/2}$ — планковская масса. В случае электронных нейтрино $M_\nu \sim 10^{15}\, M_\odot$.

Информация об адиабатических флуктуациях, существовавших в эпоху рекомбинации водорода (при красном смещении $z \sim 10^3$), сохраняется в угловых флуктуациях температуры микроволнового фонового излучения $\Delta T/T$. Поэтому данные наблюдений величины $\Delta T/T$ позволяют оценить верхние пределы амплитуды адиабатических флуктуаций разных масштабов в эпоху рекомбинации.

К моменту рекомбинации затухают мелкомасштабные адиабатические флуктуации и остаются флуктуации с массой $> M_d$ (или M_ν). После рекомбинации сохранившиеся крупномасштабные неоднородности плотности растут под действием гравитации, не испытывая противодействия со стороны сил упругости (давления), так как M_d и M_ν существенно превышают критическую джинсовскую массу в эту эпоху. Поэтому образование структуры на нелинейной стадии роста адиабатических флуктуаций начинается с концентрации слабовзаимодействующих частиц и барионов в сильно сплюснутые облака — так называемые блины, обладающие массами $\approx M_d$ (или M_ν) и являющиеся предшественниками современных сверхскоплений галактик.

В этой модели галактики образуются внутри «блинов» путём фрагментации их на части, которая вызвана сложными газодинамическими, тепловыми и гравитационными процессами. Наряду с образованием «блинов» теория предсказывает рождение на более поздней стадии эволюции волокнистых и компактных сгущений массы примерно того же масштаба, которые вместе с «блинами» образуют единую ячеисто-сетчатую крупномасштабную структуру Вселенной. Если основная масса Вселенной заключена в гипотетических слабовзаимодействующих частицах типа аксонов, фотино, гравитино, то теория предсказывает более сложную картину происхождения структуры Вселенной из адиабатических флуктуаций, в которой скопления и сверхскопления галактик образуются несколько позже самих галактик.

АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС — термодинамический процесс, происходящий в системе без теплообмена с окружающей средой. Иными словами, это процесс, при котором макроскопическая система не получает теплоты извне и не отдаёт её ($\Delta Q = 0$). Процесс можно считать адиабатическим (иногда говорят «адиабатным»), если по каким-либо причинам оказывается несущественным теплообмен между системой и окружающей средой, т. е. можно пренебречь теплопроводностью, лучистым теплообменом, поглощением и испусканием быстрых частиц. Понятие адиабатической изоляции является идеализацией теплоизолирующих оболочек или сосудов Дьюара (адиабатные оболочки). Изменение температуры внешних тел не оказывает влияния на адиабатически изолированную систему, а её энергия может изменяться только за счёт работы, совершаемой системой (или над ней).

Простым примером адиабатического процесса служит сжатие или расширение газа в теплоизолированном цилиндре с теплоизолированным поршнем: при сжатии температура газа возрастает, при расширении — убывает. Если масса системы, участвующей в адиабатическом процессе, сохраняется, то изменение её внутренней энергии происходит только за счёт работы внешних сил (первый закон термодинамики). Поэтому адиабатическое сжатие (расширение) газа сопровождается повышением (понижением) его температуры.

Очень быстрые процессы, при которых не успевает произойти теплообмен с окружающей средой, например при распространении звука, можно рассматривать как адиабатические процессы.

В условиях, когда не только отсутствует теплообмен с окружающей средой, но и в самой системе нет необратимого рассеяния энергии (т. е. процессы протекают равновесно, обратимо), адиабатический процесс называется изоэнтропическим (или изоэнтропийным), поскольку в нём сохраняется энтропия системы.

Для классического идеального газа связь между давлением P и температурой T в изоэнтропическом процессе выражается формулой $TP^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{const}$, где γ — показатель, равный отношению C_P/C_V — теплоёмкостей газа при постоянном давлении и постоянном объёме. Кривую на диаграммах состояния, характеризующую изменение параметров системы в таком обратимом адиабатическом процессе, называют адиабатой (или изоэнтропой), а число γ — показателем адиабаты. Формулу для идеального газа можно записать также в виде $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ и $PV^\gamma = \text{const}$ (уравнение Пуассона).

Для нерелятивистского невырожденного одноатомного идеального газа $C_P = 5n\Re T/2$, $C_V = 3n\Re T/2$ (где n — число молей, $\Re$ — универсальная газовая постоянная) и $\gamma = 5/3$, а для двухатомного газа $g = 7/5$.

В случае когда давление определяется ультрарелятивистским газом электронов, энергия которых много больше их массы покоя, уравнение адиабатического процесса совпадает с уравнением Пуассона при $\gamma = 4/3$, но здесь γ уже не является отношением теплоёмкостей.

В астрофизике примером адиабатического процесса может служить адиабатическая стадия расширения остатков вспышек сверхновых звёзд. На протяжении этой стадии энергия газа внутри остатка (за фронтом сферической ударной волны, распространяющейся по межзвёздному газу) существенно превышает его суммарные потери энергии на излучение. Типичные остатки сверхновых могут находиться на адиабатической стадии в течение нескольких десятков тысяч лет.

В теории пульсаций звёзд рассматриваются адиабатические колебания веще-

ства звезды, позволяющие установить зависимость основного периода радиальных колебаний звезды от её средней плотности и строения. В распространении адиабатических возмущений (типа звуковых волн) в космическом веществе на ранних стадиях расширения Вселенной современная космология видит одну из возможных причин появления неоднородностей во Вселенной, зачатков её будущей структуры – галактик и скоплений галактик.

АДРАСТЕЯ (*J XV, Adrastea*) – естественный спутник Юпитера. Большая полуось орбиты 129,0 тыс. км. Орбитальный период 0,29826 сут = 7 час 09 мин 30 с. Эксцентриситет орбиты 0,0015. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 0,03°. Масса $2 \cdot 10^{15}$ кг. Размер 20×16×14 км. Средняя плотность 0,86 г/см^3. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск $19{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 42″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Авторы открытия – Д. Джюит и др., «Вояджер-2», 1979 г.

АДРОНЫ (от греч. *hadros* – большой, сильный) – семейство элементарных частиц, участвующих в сильном ядерном взаимодействии. К адронам относятся все барионы (в том числе нуклоны – протон и нейтрон), мезоны (включая мезонные резонансы) и соответствующие античастицы. Термин «адрон» предложил Л. Б. Окунь в 1967 г.

Адроны обладают сохраняющимися в процессах сильного взаимодействия квантовыми числами: странностью, очарованием, красотой и др. Близкие по массе адроны, имеющие одинаковые значения указанных квантовых чисел, а также барионного числа и спина, могут быть объединены в изотопические мультиплеты, включающие в себя адроны с различными электрическими зарядами. Изотопические мультиплеты, отличающиеся только значением странности, могут быть, в свою очередь, объединены в более обширные группы частиц – супермультиплеты группы SU(3).

В свободном состоянии все адроны (за исключением, возможно, протона) нестабильны. Те из них, которые распадаются благодаря сильному взаимодействию, имеют характерное время жизни порядка 10^{-22}–10^{-23} с и называются резонансами (исключение – векторные мезоны со скрытым очарованием: J/ψ, ψ' или со скрытой красотой: γ, γ', γ'', время жизни которых ~10^{-20} с). Адроны, распадающиеся за счёт слабого или электромагнитного взаимодействия, условно называются стабильными, поскольку их время жизни на много порядков больше характерного времени сильного взаимодействия. К «стабильным» (в этом смысле) адронам, кроме нуклонов, относятся гипероны Λ, Σ, Ξ, Ω, барион Λ_c, мезоны π (пи-мезон, или пион), K (ка-мезон, или каон), η, очарованные мезоны D, F и др.

Все адроны – составные частицы. Большинство известных барионов состоит из трёх кварков, антибарионы – из трёх антикварков, а мезоны – из кварка и антикварка (хотя возможны состояния, имеющие в своём составе дополнительные пары кварк–антикварк, например мезоны из 2 кварков и 2 антикварков). Значения странности, очарования и других подобных квантовых чисел адронов определяются числом входящих в их состав странных (s), очарованных (c), красивых (b) и других возможных типов (ароматов) кварков и соответствующих антикварков.

Связь между кварками в адронах осуществляется глюонами. Составляющие адрона – кварки и глюоны – обладают цветовым зарядом, который полностью компенсируется внутри адрона, так что сами адроны цветовым зарядом не обладают и являются «бесцветными». Процессы сильного взаимодействия адронов в конечном счёте обусловлены цветовым взаимодействием кварков и глюонов. Характер слабого и электромагнитного взаимодействия адронов определяется соответствующими свойствами (ароматами) составляющих адрон кварков. Так, электрический заряд адрона равен сумме электрических зарядов составляющих его кварков (и антикварков). Если в состав адрона входит странный или очарованный кварк, не скомпенсированный соответствующим антикварком, то говорят о странном или очарованном адроне (о странных или очарованных частицах). Сохранение странности или очарования адрона в процессах, обусловленных сильным или электромагнитным взаимодействием, объясняется сохранением числа странных или очарованных кварков в таких процессах.

Существование и свойства большинства известных адронов были установлены в опытах на ускорителях. В экспериментах с ускоренными до релятивистских энергий ядрами исследуются свойства системы многих адронов – адронной материи. Теория сильного взаимодействия – квантовая хромодинамика – предсказывает, что при высоких температурах и/или плотностях адронная материя должна превращаться в цветовую плазму кварков и глюонов. Поэтому, по современным представлениям, в так называемую адронную эру на ранних (до 10^{-5} с) стадиях эволюции Вселенной в равновесии с излучением находились не адроны, а плазма кварков, антикварков и глюонов.

В последнее время были обнаружены так называемые экзотические адроны, которые также являются сильновзаимодействующими частицами, но не укладываются в рамки кварк-антикварковой или трёхкварковой классификации адронов. Некоторые адроны пока только подозреваются в экзотичности. Экзотические адроны делятся на:

а) экзотические барионы, в частности пентакварки, минимальный кварковый состав которых – 4 кварка и 1 антикварк;

б) экзотические мезоны – в частности адронные молекулы, глюболы и гибридные мезоны.

АДСОРБЦИЯ (от лат. *ad* – на, при и *sorbeo* – поглощаю) – преимущественное концентрирование молекул газа или растворённого в жидкости вещества (адсорбата) на поверхности жидкости или твёрдого тела (адсорбента), а также растворённого в жидкости вещества на границе её раздела с газовой фазой. Адсорбция – частный случай сорбции и один из важнейших типов поверхностных явлений.

Явление адсорбции связано с тем, что силы межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз не скомпенсированы, и, следовательно, пограничный слой обладает избытком энергии – свободной поверхностной энергией. В результате притяжения поверхностью раздела фаз находящихся вблизи неё молекул адсорбата свободная поверхностная энергия уменьшается, т. е. процессы адсорбции энергетически выгодны.

В зависимости от характера взаимодействия молекул адсорбата и адсорбента различают физическую адсорбцию и хемосорбцию. Физическая адсорбция обусловлена силами межмолекулярного взаимодействия и не сопровождается существенным изменением электронной структуры молекул адсорбата. Физическая адсорбция может быть как мономолекулярной (с образованием мономолекулярного слоя), так и полимолекулярной (многослойной). При адсорбции электролитов из их растворов обычно возникает двойной электрический слой. Если жидкий адсорбат смачивает пористый адсорбент, то в порах последнего может происходить капиллярная конденсация. При физической адсорбции адсорбируемые молекулы обычно обладают поверхностной подвижностью.

При хемосорбции между атомами (молекулами) адсорбента и адсорбата образуется химическая связь: таким образом, хемосорбцию можно рассматривать как химическую реакцию, область протекания которой ограничена поверхностным слоем. В некоторых случаях на одной поверхности могут протекать оба типа адсорбции одновременно. В случае не слишком пористых адсорбентов физическая адсорбция имеет место, как правило, при температурах ниже критической температуры конденсации адсорбата, хемосорбция же чаще всего протекает при гораздо более высоких температурах. Однако в некоторых системах физи-

ческая адсорбция может протекать при температурах, значительно превышающих критическую температуру конденсации адсорбата. Как и любые химические реакции, процессы хемосорбции носят специфичный характер (т. е. адсорбент хемосорбирует не любые молекулы, а лишь те, которые вступают в реакцию с атомами поверхности); в некоторых случаях специфичность может проявляться и при физической адсорбции.

Обратный адсорбции процесс, при котором адсорбируемые частицы покидают поверхность адсорбента, называется десорбцией. Десорбция происходит в результате колебательных движений адсорбированных молекул вдоль направления действия силы притяжения между адсорбатом и адсорбентом. Период таких колебаний τ_0 обычно составляет 10^{-13} с. Скорость адсорбции и скорость десорбции могут быть рассчитаны методами статистической термодинамики. Скорость медленных процессов хемосорбции в большинстве случаев описывается уравнением $dq/dt = a\exp(-\alpha q)$, где q — количество адсорбируемого вещества, a и α — константы, зависящие от температуры.

При равенстве скоростей адсорбции и десорбции устанавливается адсорбционное равновесие. Средняя продолжительность времени, которое частица находится в адсорбированном состоянии в равновесных условиях (время адсорбции), $\tau = \tau_0\exp(Q/RT)$, где Q — теплота адсорбции, R — универсальная газовая постоянная, T — абсолютная температура. Принято считать, что адсорбция имеет место в том случае, когда τ достигает нескольких периодов колебаний адсорбированной молекулы — времени, за которое между ней и поверхностью успевает установиться энергетическое равновесие. Обычно время физической адсорбции составляет 10^{-12}–10^{-6} с, а время хемосорбции — свыше 10^2 с. Время адсорбции служит критерием обратимости процесса адсорбции.

АЗИМУТ (араб. *ас-сумут* — направление) — одна из двух координат в горизонтальной системе небесных координат, измеряемая углом между небесным меридианом наблюдателя и вертикальным кругом, проходящим через небесный объект. Проще говоря, это угол, отсчитываемый вдоль линии горизонта, между некоторым фиксированным направлением (стороной света) и вертикальной проекцией небесного объекта на горизонт. Обозначается буквой *A*. Астрономы отсчитывают азимут от точки юга к западу, от 0° до 360°. Например, азимуты точек юга, запада, севера и востока составляют соответственно 0°, 90°, 180° и 270°. Иногда азимут отсчитывают от 0° до 180° к западу со знаком «+» (западные азимуты) и от 0° до 180° к востоку со знаком минус (восточные азимуты). В отличие от астрономов, геодезисты и географы отсчитывают азимут от точки севера к востоку. Поэтому астрономический и геодезический азимуты могут различаться на 180°. Иногда геодезисты используют магнитный азимут, опорное направление для которого задаёт северный конец стрелки магнитного компаса. Во избежание недоразумений, указывая азимут, нужно сообщать, от какой точки и в каком направлении он измерен.

АКВАРИДЫ — метеорный поток. Точнее говоря, под этим названием фигурируют три различных метеорных потока: η-Аквариды, δ-Аквариды N и δ-Аквариды S. Поток Эта-Аквариды (η-Аквариды) наблюдается между 24 апреля и 20 мая с максимумом 4–5 мая. Это метеорный поток средней мощности, связанный с кометой 1P/Галлея. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^h\,20^m$ и $\delta = 0°$ (северная часть созвездия Водолей). Средняя частота появления метеоров в максимуме около 20 в час. Метеоры очень быстрые: геоцентрическая скорость частиц 65 км/с.

Поток Дельта-Аквариды Северные (δ-Аквариды N) наблюдается между 14 июля и 25 августа с пиком в районе 12 августа. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^h\,22^m$ и $\delta = -5°$ (немного севернее центральной части созвездия Водолей). Средняя частота появления метеоров в максимуме — около 10 в час. Метеоры довольно быстрые: геоцентрическая скорость частиц 41 км/с.

Поток Дельта-Аквариды Южные (δ-Аквариды S) наблюдается между 14 июля и 20 августа со слабо выраженным пиком в районе 28 июля. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^h\,36^m$ и $\delta = -17°$ (немного южнее центральной части созвездия Водолей). Средняя частота появления метеоров в максимуме — около 20 в час. Метеоры довольно быстрые: геоцентрическая скорость частиц 41 км/с.

АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ — вращающиеся диски, образуемые диффузным веществом в процессе его аккреции на массивные космические объекты. Причиной образования диска служит сохранение момента импульса падающего вещества, приводящее к росту угловой и линейной (трансверсальной) скорости вещества по мере его приближения к центру тяготения. Это, в свою очередь, приводит к росту центробежной силы, которая на некотором расстоянии от объекта практически уравновешивает его силу тяготения и превращает свободное падение вещества в медленное приближение по спирали.

Обычно аккреционные диски образуются газом, перетекающим на компактные звёзды (белые карлики, нейтронные звёзды, чёрные дыры) от звёзд-компаньонов в двойных системах. Аккреционные диски проявляют себя рентгеновским излучением, а в оптическом диапазоне — затмениями видимой звезды, переменностью блеска вследствие неустойчивости или прецессии диска, а также характерным раздвоением спектральных линий. Аккреционные диски ответственны за многие наблюдательные проявления двойных рентгеновских источников, вспышечных (взрывных) переменных звёзд, звёзд типа U Близнецов и т. д. Аккреционный диск излучает как за счёт выделения гравитационной энергии при аккреции вещества, так и вследствие переработки и переизлучения поверхностью внешних областей диска жёсткого (коротковолнового) излучения центрального источника и внутренних областей диска. Дисковая аккреция вещества (аккреция вещества с большим моментом импульса, приводящая к образованию аккреционного диска) на сверхмассивные чёрные дыры является одним из наиболее распространённых объяснений активности ядер галактик и квазаров. Разрабатывается также теория дисковой аккреции межзвёздного газа на одиночные нейтронные звёзды и чёрные дыры. Протопланетный газово-пылевой диск, по-видимому, во многом был подобен аккреционному диску.

Механика дисковой аккреции

Сферически-симметричное радиальное падение вещества на гравитирующий центр (звезду, чёрную дыру и т. п.) возможно лишь при малом удельном моменте импульса (т. е. моменте импульса на единицу массы) падающего вещества. Если же вещество обладает значительным удельным моментом импульса l_0, то закон сохранения момента импульса не позволяет веществу приблизиться к гравитирующему центру существенно ближе расстояния $R_0 = l_0^2/GM$, при котором l_0 совпадает с удельным моментом импульса вещества $l_K = (GMR_0)^{1/2}$ на круговой кеплеровской орбите вокруг объекта массой M. Для того чтобы приблизиться к звезде на меньшее расстояние, веществу необходимо уменьшить свой момент импульса. Столкновения между частицами газа быстро устанавливают преимущественное направление вращения (определяемое суммарным моментом импульса падающего вещества), а в результате радиационного отвода энергии происходит потеря компонента скорости, перпендикулярного плоскости вращения. В результате падающий (аккрецирующий) газ должен собираться в узкое и тонкое кольцо радиуса R_0. Ширина кольца определяется дисперсией (разбросом) начального значения удельного момента импульса, а толщина — температурой вещества в кольце. Из-за дифференциального характера кеплеровского вращения (скорость вращения различна на разных расстояниях R) в кольце может возникнуть турбулентность. Турбулентная (или

магнитная, при наличии мелкомасштабного магнитного поля) вязкость приводит к расплыванию кольца. Внутренние слои кольца, вращающиеся быстрее, передают внешним слоям часть момента импульса и приближаются к звезде, а внешние удаляются от неё из-за приобретения дополнительного момента импульса. Таким образом, часть вещества продвигается к звезде, а другая часть оттекает от неё, унося с собой избыток момента импульса. Так формируется аккреционный диск.

Вещество в диске движется практически по круговым кеплеровским орбитам, но имеется и малый радиальный компонент скорости, т. е. траектории частиц представляют собой туго закручивающуюся спираль. Газ течёт по направлению к гравитирующему центру, а в противоположном направлении в результате действия силы трения отводится избыточный момент импульса и соответствующий ему поток механической энергии.

В двойных звёздных системах источником вещества, формирующего аккреционный диск, служат нормальные (невырожденные) звёзды. Если нормальный компонент двойной системы заполняет свою критическую полость Роша, то потеря массы происходит через внутреннюю точку Лагранжа. Из-за действия кориолисовой силы (во вращающейся системе отсчёта) формируется струя, питающая веществом аккреционный диск. В месте пересечения струи и диска формируется характерное «горячее пятно». В случае если нормальный компонент не заполняет свою критическую полость Роша и теряет массу посредством звёздного ветра, то из захватываемой компактным объектом части этого вещества также может сформироваться аккреционный диск. Для этого необходимо, чтобы радиус R_0 превосходил радиус звезды (или радиус её магнитосферы при наличии сильного магнитного поля) либо несколько гравитационных радиусов в случае чёрной дыры.

Внешняя граница аккреционного диска, по-видимому, определяется действием на диск приливных сил со стороны нормального компонента. При размерах аккреционного диска порядка половины размера критической полости Роша компактной звезды приливные силы в вязком диске обеспечивают отвод момента импульса к внешнему краю диска, и диск дальше не расплывается. При этом увеличивается орбитальный момент импульса двойной системы. Следует отметить также, что в двойной системе замкнутые непересекающиеся кеплеровские орбиты существуют лишь в пределах приблизительно половины радиуса критической полости Роша компактной звезды.

Энерговыделение в диске

При радиальном продвижении вещества выделяется гравитационная энергия, которая трансформируется в теплоту и излучается поверхностью аккреционного диска. Однако для реализации такого перемещения газу необходимо отдать избыточный момент импульса. Это, по-видимому, осуществляется турбулентным трением, которое отводит избыточный момент импульса и часть механической энергии в направлении от гравитирующего центра. В свою очередь, энергия турбулентных движений черпается из гравитационной энергии, выделяющейся при радиальном перемещении газа. Затухание турбулентных движений из-за вязкости приводит к выделению тепла, которое уносит тепловое излучение поверхности диска. Поток энергии Q с единицы площади поверхности диска зависит от темпа аккреции (dm/dt) и от расстояния (R) до объекта массы (M), на который идёт аккреция: $Q=(3/8\pi)GM(dm/dt)R^{-3}s$. Поправка $s=[1-(R_B/R)^{1/2}]$, где R_B — внутренняя граница диска, соответствует ньютоновской механике. В случае аккреции на шварцшильдовскую чёрную дыру формула даёт погрешность до 20%.

Спектр излучения диска складывается из спектров излучения изотермических концентрических колечек. В первом приближении можно принять, что каждая точка поверхности диска излучает как абсолютно чёрное тело. Зная вид зависимости $Q(R)$, можно найти зависимость температуры поверхности диска от его параметров: вблизи нейтронной звезды или чёрной дыры звёздной массы диск должен излучать в рентгеновском диапазоне, а периферия диска должна быть холодной и излучать в основном в ИК- и оптическом диапазонах. Суммирование по всему диску приводит к универсальному степенному спектру излучения (степенной зависимости спектральной плотности потока излучения F_ν от частоты ν) диска. При $h\nu > kT_{макс}$ ($T_{макс}$ — максимальная температура поверхности диска) поток излучения экспоненциально спадает. В широком диапазоне частот $F_\nu \sim \nu^{1/3}$. В действительности же поверхность аккреционного диска излучает не как абсолютно чёрное тело, вследствие чего наблюдаются сильные отклонения от этого закона.

Внутренняя граница и светимость диска

Устойчивые кеплеровские орбиты вокруг шварцшильдовской чёрной дыры существуют лишь при $R \geqslant 3r_g$. Поэтому внутренней границей аккреционного диска в этом случае служит именно радиус $3r_g$. В области $R < 3r_g$ вещество по спирали уходит в чёрную дыру даже без трения. Энергия связи массы m на последней устойчивой кеплеровской орбите составляет $0{,}057mc^2$. Таким образом, при темпе аккреции dm/dt светимость диска вокруг шварцшильдовской чёрной дыры должна составлять $L=0{,}057(dm/dt)c^2$. В случае вращающейся чёрной дыры, при совпадении осей вращения чёрной дыры и диска, он может простираться до $r_g/2$. При этом в диске может превращаться в теплоту и излучаться с поверхности до $0{,}42(dm/dt)c^2$. Однако существенная часть излучения из-за искривления траекторий световых лучей поглощается чёрной дырой или испытывает сильное красное смещение. Светимость диска для удалённого наблюдателя не может превышать $0{,}2(dm/dt)c^2$.

При аккреции на звезду (белый карлик, нейтронную звезду) внутренняя граница диска лежит вблизи поверхности звезды ($R_П$). Энергия связи массы m на кеплеровской орбите радиусом $R_П$ равна $GMm/2R_П$. Следовательно, светимость диска $L=GM(dm/dt)/2R_П$. При наличии у звезды сильного магнитного поля её магнитосфера препятствует проникновению диска к поверхности звезды и нарушает дисковую картину аккреции в зоне $R \approx R_M$, т. е. в той области магнитосферы, где давление магнитного поля сравнивается с тепловым давлением плазмы в диске. Если звезда вращается с угловой скоростью Ω, то существует радиус, на котором скорости вращения магнитосферы и вещества в кеплеровском диске $\omega=(GM/R^3)^{1/2}$ совпадают. Этот радиус называют радиусом коротации $R_{кор}$. По-видимому, у многих рентгеновских пульсаров, на которые идёт дисковая аккреция, значение R_M близко к $R_{кор}$. Если внутренняя граница диска определяется его взаимодействием с магнитосферой, то в эту формулу для L вместо $R_П$ следует подставить R_M.

Пограничный слой

При аккреции на звезду со слабым магнитным полем аккреционный диск должен простираться вплоть до поверхности звезды. Вблизи поверхности звезды скорость частиц диска кеплеровская: $v_K=(GM/R_П)^{1/2}$, а скорость вращения звезды даже на экваторе ($v_П \approx \Omega R_П$) много меньше кеплеровской. В результате вблизи поверхности звезды формируется тонкий пограничный слой, в котором происходит эффективное торможение аккрецирующего вещества (тангенциальная скорость падает от v_K до $v_П$) и мощное энерговыделение. В узком слое выделяется энергия $(dm/dt)v_K^2/2 = GM(dm/dt)/2R_П$, что равно энерговыделению в протяжённом аккреционном диске.

Светимость пограничного слоя равна светимости протяжённого аккреционного диска, а площадь поверхности пограничного слоя существенно меньше площади поверхности диска. Поэтому излучение пограничного слоя может быть более жёстким (коротковолновым). Картину торможения частиц аккреционного потока в пограничном слое можно сравнить с торможением спутника в атмосфере Земли. Сначала спутник медленно, за много оборотов, теряет незначительную часть своей скорости, снижается, входит в плот-

ные слои атмосферы и менее чем за один оборот полностью тормозится.

Неустойчивости и переменность излучения аккреционного диска

Дисковая аккреция устойчива в зоне, где главный вклад в давление даёт давление вещества. Но во внутренней, самой горячей зоне диска доминирует давление излучения. В этой зоне диск неустойчив. Тепловая и динамическая неустойчивости приводят к разделению вещества на более и менее горячие кольца и слои. Характерные времена неустойчивости очень малы — порядка времени нескольких оборотов вокруг гравитирующего центра. Неустойчивость может приводить к переменности излучения диска и образованию в его внутренней зоне горячей плазмы с температурой, различной для электронов ($T_e = 3 \cdot 10^8 - 10^9$ К) и протонов ($T_p \sim 10^{10} - 10^{11}$ К). Характерное время переменности излучения диска может быть очень мало, так как время обращения аккрецирующего вещества вокруг чёрной дыры с $M \approx 10 M_\odot$ вблизи последней устойчивой орбиты близко к 1 мс.

Если в результате неустойчивости на диске образуется яркое «горячее пятно», то, наблюдая его излучение, можно получить уникальную информацию о параметрах чёрной дыры и, в частности, определить, вращается она или нет. Горячее пятно во внутренних областях диска будет обладать релятивистской скоростью v_K от $1/3$ до $1/2$ скорости света. При больших углах наклона диска (луч зрения близок к плоскости диска) это будет приводить к усилению излучения пятна, когда оно движется к наблюдателю, и резкому ослаблению, когда оно движется от наблюдателя. Должна возникать характерная картина квазипериодической переменности излучения пятна. Такое пятно может играть роль зонда, запускаемого к чёрной дыре: переменное рентгеновское излучение пятна может показать, как оно подходит к последней устойчивой орбите и по спирали уходит из зоны видимости.

Диски вокруг сверхмассивных чёрных дыр

В рамках наиболее популярной теоретической модели активность ядер галактик и квазаров объясняется дисковой аккрецией на находящиеся в ядрах сверхмассивные (от 10^5 до $10^9 M_\odot$) чёрные дыры. Аккрецирующий газ поступает из областей галактики, окружающих активное ядро. Он является продуктом звёздного ветра, взрывов звёзд, приливного разрушения звёзд, пролетающих мимо сверхмассивной чёрной дыры, а также может поступать в галактику извне при охлаждении горячего межгалактического газа. Критическая светимость диска вокруг чёрной дыры растёт пропорционально её массе, так что светимость квазаров $L \sim 10^{40}$ Вт легко объясняется дисковой аккрецией вещества с $dm/dt \approx 10 M_\odot$ в год на чёрную дыру с массой $M \sim 10^9 M_\odot$. У аккреционного диска существует два выделенных направления (по оси диска), в которых может идти ускорение вещества, обусловленное как давлением излучения, так и электромагнитными силами. Это даёт надежду выяснить природу выбросов (джетов) из ядер галактик и квазаров, а также «микроквазаров» — объектов типа SS 433.

Дисковая аккреция на белые карлики

Чрезвычайно многочисленны в Галактике тесные двойные звёзды, в которых идёт дисковая аккреция на белые карлики. Поставщиком вещества в этих системах служат маломассивные звёзды — красные карлики. Диски в этих системах часто бывают ярче, чем видимая звезда. Такие двойные звёзды проявляют себя как взрывные переменные, поляры (звёзды с сильной и переменной поляризацией излучения) и т. п.

АККРЕЦИЯ (англ. *accretion*, прирост, присоединение) — выпадение рассеянного вещества из окружающего пространства на космическое тело — планету, звезду, галактику. В процессе аккреции происходит выделение гравитационной энергии, которая превращается в тепло и в итоге уходит в виде излучения. При наличии межзвёздного газа естественно ожидать, что его притяжение звёздами будет вызывать аккрецию этого газа на их поверхность. Однако для обычных звёзд характерна не аккреция, а наоборот — истечение вещества с поверхности (звёздный ветер). Истекающее вещество и давление излучения звезды выталкивают разреженный межзвёздный газ из окрестностей звезды и препятствуют аккреции. Но если рядом со звездой окажется обильный источник газа, то ситуация может измениться. Например, притяжение звезды может вызвать аккрецию газа из верхних слоёв атмосферы соседней звезды – близкого компаньона по двойной системе. Особенно активно это происходит в тесных двойных системах, где один из компонентов — компактный остаток звёздной эволюции: белый карлик, нейтронная звезда или чёрная дыра. На сверхмассивные чёрные дыры в ядрах галактик также происходит аккреция межзвёздного газа, вещества разрушенных звёзд и, вероятно, даже целых, неразрушенных звёзд, если плотность их вещества достаточно высока. Как правило, при аккреции значительная доля гравитационной энергии падающего вещества выделяется в виде излучения: вещество нагревается при ударе о поверхность звезды или в результате взаимного трения слоёв в аккреционном диске. Процесс аккреции отвечает за свечение рентгеновских источников в тесных двойных системах, активных ядер галактик и квазаров.

Аккреция на одиночные звёзды происходит в начале и конце их эволюции. В процессе формирования звезды сначала образуется небольшое гидростатически равновесное ядро, а затем аккреция на ядро вещества из окружающей его оболочки приводит к образованию звезды. После выхода термоядерных реакций в недрах звезды на стационарный режим стадия аккреции сменяется истечением, которое преобладает вплоть до конца жизни звезды и препятствует аккреции. На конечных стадиях эволюции звезда превращается в белый карлик, нейтронную звезду либо чёрную дыру, аккреция на которые сопровождается разнообразными наблюдаемыми проявлениями.

Различают сферически-симметричную и дисковую аккрецию. Первый случай реализуется, когда момент импульса газа относительно центра звезды мал и отдельные частицы падают к центру по почти прямолинейным траекториям. В случае дисковой аккреции вещество образует вращающийся тонкий газовый диск (аккреционный диск) вокруг центрального тела. Слои диска вращаются с почти кеплеровской скоростью $v_K = (GM/r)^{1/2}$, где M — масса внутри радиуса r. Поскольку звезда, как правило, массивнее диска, скорость v_K уменьшается с расстоянием от центра. Трение между слоями приводит к потере момента количества движения и медленному движению газа к центру: траектории отдельных частиц напоминают туго закрученные спирали. Часть потенциальной энергии падающих по спирали частиц идёт на увеличение их скорости движения (кинетической энергии), остальная часть выделяется в виде излучения.

При аккреции на чёрную дыру, не имеющую поверхности, область падения газа (или аккреционный диск) является единственным местом, где выделяется гравитационная энергия, превращаясь в энергию излучения. При аккреции на белый карлик или нейтронную звезду половина (или более) гравитационной энергии выделяется у поверхности звезды. Если звезда не обладает магнитным полем, то её поверхность нагревается либо из-за выделения энергии в ударной волне, возникающей при столкновении падающего потока с поверхностью, либо в тонком пограничном слое между аккреционным диском и медленно вращающейся звездой.

В тесных двойных звёздных системах, когда одна из звёзд переходит в стадию гиганта, она начинает интенсивно терять массу, и за относительно короткое время масса компаньона может вырасти в несколько раз. Такую аккрецию обычно называют перетеканием. В тесной двойной системе аккреция, как правило, мощнее, чем в случае одиночных звёзд.

Аккрецию газа со звезды-компаньона на белый карлик рассматривают как наи-

более вероятную причину вспышек новых звёзд. Наблюдения показывают, что новые звёзды вспыхивают, как правило, в двойных звёздных системах. В таких системах аккреция может идти за счёт перетекания вещества с одной звезды на другую – от звезды, заполнившей свою полость Роша, на белый карлик. При мощном перетекании вещества процессы, препятствующие аккреции на одиночные звёзды, по-видимому, не играют существенной роли. В веществе, аккрецирующем с поверхности нормальной звезды, преобладает водород. В самом белом карлике водород отсутствует: он превратился в гелий в результате ядерных реакций в недрах звезды – предка белого карлика. Падающий на поверхность карлика водород накапливается и нагревается до температуры, при которой начинается термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Если скорость выделения теплоты ядерной реакции превысит скорость теплоотвода, то может развиться тепловая неустойчивость, и произойдёт взрыв, наблюдаемый как вспышка новой звезды. Развитию тепловой неустойчивости способствует вырождение вещества. Таким образом, тесные двойные звёзды представляют собой системы, где наиболее вероятна аккреция за счёт перетекания вещества.

Нестационарная аккреция на белые карлики в тесных двойных системах с маломассивным красным карликом в качестве вторичного компонента служит причиной вспышек «карликовых новых». Если белый карлик в тесной двойной системе обладает сильным магнитным полем (~10^8 Гс), то его излучение, возникающее в результате аккреции, демонстрирует сильную нестационарную поляризацию (до 30%). Звёзды этого типа называют полярами, или переменными типа AM Геркулеса, поскольку их прототипом стала звезда AM Her, природа которой была разгадана в 1977 г.

Аккреция на нейтронную звезду или чёрную дыру была предложена в качестве механизма, объясняющего природу наблюдаемых космических источников рентгеновского излучения. Нейтронная звезда образуется, по всей вероятности, в результате взрыва сверхновой звезды: так возникли, например, Крабовидная туманность и находящаяся в ней нейтронная звезда-пульсар. Молодые пульсары – это мощные источники частиц высокой энергии, поэтому аккреция на них не происходит. Со временем истечение вещества из пульсаров становится настолько слабым, что оно перестаёт препятствовать аккреции. Расчёт показывает, что аккреция из межзвёздной среды возможна на нейтронные звёзды, возраст которых превышает несколько миллионов лет. Гравитационный потенциал на поверхности нейтронной звезды около $0{,}15c^2$, где c – скорость света. Значит, при аккреции на неё вещества массой m выделяется энергия около $0{,}15mc^2$. Это существенно больше того, что могут дать любые ядерные реакции, у которых максимальный выход энергии не превышает $0{,}01mc^2$. Поэтому для обеспечения рентгеновской светимости нейтронной звезды, достаточной для объяснения наблюдаемых рентгеновских источников, требуется сравнительно небольшой приток массы (~10^{-9} $M_\odot$ в год). Но даже такой приток возможен лишь при условии, что вокруг звезды имеется облако газа, плотность которого много больше плотности межзвёздной среды, или звезда входит в состав тесной двойной системы и действует механизм перетекания.

В двойных системах по причине орбитального движения компонентов вещество, перетекающее на компактную звезду, обладает моментом импульса, и поэтому оно не может упасть на звезду, пока момент не будет потерян. В результате вещество образует аккреционный диск, вращающийся вокруг компактной звезды. Выделяющаяся в диске гравитационная энергия делает его мощным источником излучения, по которому можно обнаружить чёрную дыру. Наблюдениями с борта орбитальных обсерваторий найдено много рентгеновских источников, входящих в состав тесных двойных систем и излучающих за счёт аккреции. Некоторые из них (Her X-1, Cen X-3 и др.) – рентгеновские пульсары, являющиеся аккрецирующими нейтронными звёздами. Другие же (Cyg X-1, LMC X-3 и др.) не демонстрируют регулярной переменности, имеют массу больше $4M_\odot$ и, по-видимому, являются аккрецирующими чёрными дырами.

Явление рентгеновского пульсара имеет простое физическое объяснение. Картина аккреции приобретает своеобразный вид в том случае, когда звезда обладает сильным магнитным полем, давление которого способно остановить свободное падение газа на некотором расстоянии от поверхности звезды. Радиус остановки называется альвеновским радиусом. После его достижения вещество течёт вдоль силовых линий магнитного поля и в районе магнитных полюсов ударяется о поверхность звезды. Магнитные полюса оказываются гораздо более горячими, чем остальные части поверхности звезды. Если излучение их окрестностей носит анизотропный характер и нейтронная звезда вращается вокруг оси, не совпадающей по направлению с магнитной, то возникает картина рентгеновского пульсара, наблюдаемая в двойных системах при наличии мощной аккреции. Для того чтобы падающее вещество достигало магнитных полюсов, необходимо его проникновение внутрь магнитосферы, которое происходит за счёт развития гидромагнитных неустойчивостей типа неустойчивости Рэлея–Тейлора.

Развитие тепловой неустойчивости в веществе, поступающем на поверхность нейтронной звезды в результате аккреции и становящемся вырожденным, часто рассматривается в качестве модели для вспыхивающих рентгеновских источников – барстеров. Высокая светимость звезды, на которую происходит аккреция, может ограничивать интенсивность аккреции. Примерным пределом светимости при аккреции служит «критическая светимость» (см. *Эддингтоновский предел светимости*).

Если скорость движения звезды или чёрной дыры мала относительно аккрецирующего вещества по сравнению со скоростью звука в нём, то аккреция близка к сферически-симметричной. При быстром сверхзвуковом движении звезды сквозь вещество газ огибает её и образует позади коническую ударную волну; внутри этого конуса идёт аккреция. Хаотическое мелкомасштабное магнитное поле не нарушает сферической симметрии при аккреции, но может существенно увеличить эффективность выделения энергии за счёт перехода кинетической энергии в магнитную, а затем в тепловую при аннигиляции магнитного поля и последующем синхротронном излучении. Эффективность выделения энергии при сферически-симметричной аккреции на чёрную дыру меняется от 10^{-8} mc^2 в отсутствии магнитного поля до $0{,}3$ mc^2 при его наличии в падающем веществе.

АКРОНИЧЕСКИЙ ВОСХОД (лат. *acronychus*, от греч. *acros* – верх, край и *nix* – ночь) – появление звезды над горизонтом на востоке при заходе Солнца (восход в лучах вечерней зари).

АКСИОН – гипотетическая сверхлёгкая нейтральная частица. До сих пор не зарегистрирована экспериментально. Одна из возможных составляющих скрытой массы Вселенной, т. е. тёмной материи.

АКТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ АТМОСФЕРНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ – см. *Адаптивная оптика*.

АКТИВНАЯ ОПТИКА – методика поддержания идеальной формы главного зеркала и правильного расположения основных оптических элементов телескопа-рефлектора. Этим же термином нередко называют и саму электронно-механическую систему, используемую для автоматического поддержания высокого оптического качества телескопа, прежде всего его главного зеркала.

Зеркала небольших телескопов, как правило, достаточно жёсткие и поэтому почти не деформируются под воздействием собственного веса. Но для поддер-

жания формы крупных зеркал требуются немалые усилия. Главное зеркало крупного телескопа весит десятки тонн, а сам телескоп — многие сотни тонн. При этом их деформация не должна превышать долей длины световой волны.

Идеальную форму (параболоида, гиперболоида или сферы, в зависимости от оптической схемы телескопа) стараются придать зеркалам при их изготовлении на оптическом предприятии, но нередко при этом остаются невыявленные дефекты. Дальнейшее ухудшение качества зеркал происходит в процессе их транспортировки и сборки телескопа в башне на обсерватории. При эксплуатации телескопа его элементы подвергаются переменным механическим нагрузкам, вызванным поворотами телескопа при его наведении на объекты наблюдения. Особенно сильно искажают форму главного зеркала его повороты по высоте; они же приводят к переменному гнутию конструкции телескопа — его «трубы», сбивая настройку оптических элементов. Кроме механических нагрузок, зеркало и вся конструкция телескопа испытывают и термические нагрузки, вызванные суточными перепадами температуры. Даже небольшая разница в температуре разных участков зеркала приводит к его заметной деформации.

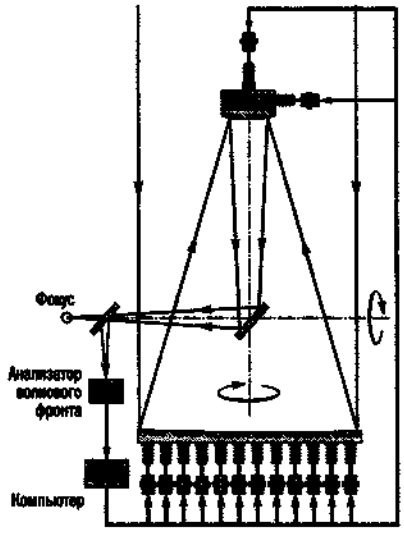
Исторически поддержание формы оптических элементов телескопа основывалось на их жёсткости. До конца XIX в. основным инструментом астрономов был телескоп-рефрактор, имеющий линзовый объектив. С ростом диаметра и веса линз поддерживать их форму становилось всё сложнее, поскольку крепление линзы возможно лишь по её периметру. Когда диаметр линзовых объективов достиг 1 м, технические возможности оказались исчерпаны: два крупнейших в мире линзовых телескопа — рефрактор Ликской обсерватории (шт. Калифорния, США) с объективом диаметром 91 см и рефрактор Йеркской обсерватории (шт. Висконсин, США) с объективом в 102 см — были сооружены около 1890 г. и до сих пор не превзойдены. Более крупные объективы для полноповоротных телескопов никогда не изготавливались. На Парижской выставке 1900 г. демонстрировался неподвижный горизонтальный телескоп-рефрактор с объективом в 125 см и сидеростатом для наведения на объекты, но для научной работы он не использовался. До тех пор, пока линзы делаются из стекла, вряд ли удастся изготовить объективы большего размера. Даже если оптическое качество стеклянного диска окажется превосходным, огромные линзы будут прогибаться под собственным весом.

Проблему деформации объектива удалось решить путём перехода к телескопам-рефлекторам: жёсткая монтировка телескопа поддерживает зеркальный диск объектива по всей его нижней поверхности, препятствуя изгибу. Придать достаточную жёсткость крупному зеркалу можно и путём увеличения его толщины, но это увеличивает вес зеркала и его тепловую инерцию, что весьма непрактично. У некоторых телескопов (например, у Паломарского 5-метрового рефлектора) вес зеркала удалось значительно снизить без потери жёсткости, придав ему форму пчелиных сот и оставив сплошной только верхнюю, зеркальную поверхность. Теперь такие оптические системы, основанные на форме и жесткости материала, называют «пассивными».

В качестве первого шага к активной оптике для наиболее крупных зеркал диаметром 2,5–6,0 м была разработана механическая система разгрузки, состоящая из рычагов с противовесами, поддерживающих зеркало снизу в нескольких точках. Сила упора рычагов в тыльную часть зеркала зависит от положения телескопа: чем ближе к зениту наблюдается объект, а значит, чем более горизонтально располагается главное зеркало телескопа, тем сильнее упираются в него снизу поддерживающие элементы, не позволяя зеркалу прогибаться. Фактически это система «полуактивной» оптики, поскольку в ней нет элементов обратной связи.

Главной особенностью современных астрономических систем активной оптики является линия обратной связи, позволяющая контролировать качество изображения и при необходимости исправлять его путём управляемой деформации главного зеркала и перемещения вторичного зеркала телескопа. Контроль осуществляется по изображению гидировочной звезды, которая выбирается на небе вблизи от изучаемого источника и одновременно используется для точного ведения телескопа за объектом (т. е. для гидирования). Размещенный у выходного зрачка телескопа анализатор волнового фронта исследует изображение звезды, пропущенное через матрицу из множества небольших линз (например, матрицу размером 30×30). Каждая линза строит изображение звезды, которое регистрируется ПЗС-матрицей.

Разработано несколько способов выявления кривизны волнового фронта: по взаимному положению изображений, построенных каждой линзой, по степени их контраста и др. Чтобы результат анализа не зависел от случайного атмосферного дрожания изображения, измерения накапливаются и усредняются на интервалах в 20–30 секунд. По данным анализатора волнового фронта компьютер вырабатывает управляющие сигналы, которые усиливаются и передаются на многочисленные механические домкраты-актюаторы, упирающиеся снизу с необходимым усилием в главное зеркало или слегка перемещающие вторичное зеркало. Форму главного зеркала поддерживают близкой к идеальной: параболоид, гиперболоид или сфера — в зависимости от оптической схемы телескопа. Форму сферического зеркала (например, у телескопа «Хобби–Эберли») удобно контролировать лазерным интерферометром из центра кривизны сферы.



Принципиальная схема системы активной оптики, применяемой на Европейской южной обсерватории (ESO) в Чили

При наличии системы активной оптики требования к главному зеркалу телескопа меняются принципиально: оно должно быть не предельно жёстким, как раньше, а достаточно мягким, чтобы поддаваться управлению. Поэтому у современных крупных телескопов главное зеркало либо является относительно тонким (например, при диаметре 8–9 м имеет толщину всего 20 см), либо состоит из множества независимых элементов (например, 36 гексагональных двухметровых пластин составляют главные зеркала у 10-метровых телескопов «Кек»). Тонкое и лёгкое зеркало объектива позволяет существенно облегчить всю конструкцию телескопа. К тому же такое зеркало быстро принимает температуру окружающего воздуха, а это снимает проблему термических деформаций. Разработка систем активной оптики позволила изготавливать зеркала большого диаметра сравнительно тонкими, лёгкими и дешёвыми.

Первая система активной оптики была реализована в 1989 г. на 3,5-метровом Телескопе новых технологий (NTT = New Technology Telescope) Европейской южной обсерватории (Ла-Силья, Чили). В 1992 г. подобная система была создана для управления главным сегментированным зеркалом 10-метрового телескопа «Кек-1» (Мауна-Кеа, Гавайи). Затем полностью активной оптической системой были оснащены четыре главных 8,2-метровых телескопа с тонкими монолитны-

ми зеркалами, входящие в состав Очень большого телескопа (VLT) Европейской южной обсерватории (Паранал, Чили).

Сейчас все современные телескопы диаметром 8–10 м имеют систему активной оптики. При этом их собственное оптическое качество становится практически идеальным, а качество получаемого изображения ограничивается лишь нестабильностью атмосферы, для подавления которой создаются системы адаптивной оптики. В будущем системы активной оптики планируют применять на крупных космических телескопах; при этом они будут давать идеальные изображения, качество которых ограничено только дифракцией света.

АКТИВНОЕ ЯДРО ГАЛАКТИКИ – такое ядро галактики, которое выделяет энергии больше, чем всё звёздное население этой галактики. Активные ядра находятся в центре активных галактик, включая квазары, сейфертовские галактики, блазары и радиогалактики. Являясь источником энергии огромной мощности, активное ядро галактики может демонстрировать к тому же и сильную переменность. Некоторые квазары меняют свой блеск в течение нескольких недель или месяцев, а некоторые блазары демонстрируют переменность рентгеновского излучения на интервале в три часа. Эти изменения накладывают предел на максимально возможный размер источника энергии, так как объект не может изменять свой блеск быстрее, чем свет от одного края излучающей области дойдёт до другого её края. Быстрые колебания блеска активных ядер галактик означают, что их излучение выходит из небольшого объёма, диаметр которого порою меньше одного светового дня. Более того, наблюдения орбитального вращения звёзд и другого вещества вокруг активных ядер галактик показывают, что внутри источника активности сконцентрирована огромная масса вещества, доходящая до нескольких миллиардов масс Солнца. Это приводит к заключению, что центральным источником служит сверхмассивная чёрная дыра. Поскольку сама чёрная дыра, по определению, ничего не излучает, излучение активных ядер галактик должно рождаться за счёт излучения вещества аккреционного диска, нагретого взаимным трением его слоёв до температуры несколько миллионов градусов. Это излучение частично поглощается чёрной дырой, частично уходит наружу, а в некоторых случаях за счёт его энергии с огромной скоростью вдоль оси вращения ядра выбрасываются наружу две плазменные струи – джета.

Астрономы отождествили сотни активных ядер галактик, и у каждого объекта обнаружились свои особенности излучения. Тем не менее оказалось, что большинство активных ядер различается только по виду, объяснить который можно в рамках «стандартной модели», в которой источником энергии служит аккреционный диск вокруг чёрной дыры, поразному ориентированный относительно наблюдателя. Например, если плотное газово-пылевое облако лежит между нами и центром активной галактики, то оно может поглотить излучение видимого и мягкого рентгеновского диапазонов, и мы, кроме эмиссионных линий от окружающих облаков, увидим только радио-, инфракрасное и высокоэнергетическое излучение, способное преодолеть плотную газово-пылевую среду.

В некоторых случаях пыль в ядрах формирует вокруг центра плотное кольцо. Тогда вид активного ядра галактики зависит от того, видим ли мы его с ребра (в этом случае центр от нас скрыт) или же плашмя (и тогда центр виден). Если мы смотрим сквозь пылевое кольцо, то центральный источник нам не виден, и активное ядро галактики выглядит как радиогалактика. Если пылевое кольцо наклонено к лучу зрения, то мы увидим центральный источник в виде квазара. Если же мы смотрим вдоль джета или близко к этому направлению, то видим блазар.

Активные ядра галактик могут быть как «радиогромкими», так и «радиотихими», или «радиоспокойными». В каждой из этих групп диапазон светимостей очень широк: от таких слабых ядер, что они с трудом выделяются на фоне центральных звёзд галактики, до квазаров, которые в 100 раз ярче, чем суммарная светимость всех звёзд галактики. Радиогромкие активные ядра галактик всегда обладают джетами, в которых вещество мчится почти со скоростью света. Мощность джетов (т. е. кинетическая энергия вещества, уносимая джетом из ядра за одну секунду) примерно равна или даже превышает светимость активного ядра галактики (т. е. энергию, уносимую из ядра излучением за одну секунду). Радиогромкие активные ядра обычно обнаруживаются в эллиптических галактиках, а в спиральных галактиках их вообще нет. Радиотихие активные ядра также могут иметь джеты, но их мощность в тысячи раз слабее мощности излучения активного ядра галактики. Такие ядра обычно наблюдаются в спиральных галактиках, но несколько ярких радиотихих активных ядер найдено и в эллиптических галактиках. Чёткое морфологическое различие (т. е. различие по строению и внешнему виду) между эллиптическими и спиральными галактиками возникает на масштабах, во много раз превышающих размер активного ядра, поэтому непонятно, как ядро определяет, в какой галактике оно находится.

По мере изучения активных ядер галактик становится ясно, что подобная активность может проявляться в форме не только чрезвычайно мощных явлений, но и весьма «скромных», которые тем не менее не удаётся объяснить одним лишь энерговыделением обычных звёзд. Например, в спектрах ядер многих галактик наблюдаются эмиссионные линии, которые невозможно истолковать как излучение молодых звёзд. Такие ядра называют «лайнерами» (LINER – low-ionization nuclear emission-line regions). Точного определения этого типа пока нет, но по свойствам рентгеновского и ультрафиолетового излучения их можно отнести к ядрам сейфертовских галактик крайне низкой мощности. Таким образом, феномены активности ядер галактик по мощности энерговыделения простираются более чем на шесть порядков величины и в той или иной форме проявляются в ядрах большинства крупных галактик, включая нашу.

АКТИВНОСТЬ РАДИОАКТИВНОГО ИСТОЧНИКА – число радиоактивных распадов в единицу времени. Единице активности в системе СИ – беккерелю (Бк) – соответствует 1 распад в 1 с. Внесистемная единица кюри (Ки) равна $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк. Активность радиоактивного источника, приходящаяся на единицу массы источника, называется удельной активностью.

АКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ в атмосферах звёзд и Солнца – фотосферные (солнечные) пятна, вспышки, протуберанцы, флоккулы, факелы, корональные выбросы массы и т. п.

АКТЮАТОР – управляемый компьютером упор, способный плавно изменять величину и знак деформирующего усилия. Как составная часть разгрузочной системы используется для изменения формы оптического элемента телескопа, обычно – главного зеркала. В системе активной оптики многочисленные актюаторы поддерживают снизу главное зеркало телескопа для компенсации его деформаций под влиянием силы тяжести при любом положении телескопа, а также под влиянием перепадов температуры. Например, у 8,2-метровом телескопов VLT коррекция формы главного зеркала производится при помощи 150 актюаторов каждые 30 секунд. При этом для контроля за формой зеркала используется датчик волнового фронта с разрешением 30×30. В системе адаптивной оптики небольшие актюаторы с временем срабатывания $\sim 10^{-3}$ секунды используются для управления формой вторичного «мягкого» зеркала, компенсирующего атмосферные искажения изображения.

АЛГОЛЬ – собственное имя затменной переменной звезды β Персея. Это имя происходит от арабского «ал-голь»; «гуль» – чудовище из арабского и персидского фольклора. В изображении созвез-

дия Персей звезда Алголь представлялась как глаз отрубленной головы горгоны Медузы. Переменность звезды была замечена ещё в древности. В новое время переменность Алголя открыл итальянский учёный Джеминиано Монтанари (1669), а позже это же открытие независимо совершил англичанин Джон Гудрайк (1782). Гудрайк первым догадался, что Алголь – затменная переменная звезда. Ныне Алголь считают прототипом этого класса переменных звёзд.

Алголь – не одна звезда, а система как минимум из трёх звёзд (наличие четвёртого компонента подозревается), удалённая от Солнца на 29 пк. Из трёх надёжно обнаруженных звёзд две – Алголь А и Алголь В – образуют тесную двойную систему; расстояние между ними 0,062 а. е. Период обращения составляет 2,86731 сут. В результате орбитального движения компоненты поочерёдно частично затмевают друг друга, что для стороннего наблюдателя вызывает эффект переменности блеска. Для земного наблюдателя видимый блеск меняется от 2,1 до 3,4 визуальной звёздной величины; затмение длится около 10 час. Третья звезда системы – Алголь С – обращается на расстоянии 2,69 а. е. от центра масс первых двух звёзд с периодом 681 дней (1,86 лет). Общая масса системы около 6,1 массы Солнца. Массы компонентов A:B:C составляют 3,6:0,79:1,7 массы Солнца, их радиусы – 2,3:3,0:0,9 радиуса Солнца. Возраст системы – не более 300 млн лет.

Менее массивная звезда Алголь В имеет больший размер и является сильно проэволюционировавшим субгигантом, тогда как Алголь А – звезда главной последовательности. А ведь, как известно, более массивные звёзды эволюционируют быстрее. Это противоречие, названное «парадоксом Алголя», объясняется перетеканием вещества: когда более массивная звезда стала субгигантом, она заполнила свою полость Роша, и её вещество стало перетекать на другой компонент, увеличивая его массу. Так проэволюционировавшая звезда стала менее массивной, чем эволюционно более молодая.

АЛИДАДА – визирное (т. е. прицельное) устройство в угломерных инструментах, таких как астролябия, секстант, теодолит. В простейшем случае, например в астролябии, это планка (линейка), вращающаяся на оси, проходящей через центр разделённого круга или сектора, и имеющая на концах устройства для визирования – два отверстия, или две щели, или щель и нить. Эти отверстия служат визиром для наведения на солнце или звезду. Такая алидада напоминает прицел ружья с мушкой и целиком. Если наблюдатель смотрит на объект сквозь эти два отверстия, то луч его зрения проходит точно через центр астролябии. У теодолита вся вращаемая средняя часть, т. е. оптическая трубка, небольшой телескоп, тоже называется алидадой. Для точного считывания углов со шкалы разделённого круга на концах алидады иногда укрепляют небольшие микроскопы.

АЛЛАНОВЫ ХОЛМЫ (Allan Hills) – область в Антарктиде, где было найдено много метеоритов, в том числе и метеорит ALH84001,0. Выдвинута весьма обоснованная гипотеза, что это метеорит с Марса, и несколько менее обоснованная – что в этом метеорите обнаружены окаменевшие микроорганизмы.

АЛЛЕР, Лоуренс Хью (Aller, Lawrence Hugh) (24.09.1913–16.03.2003) – американский астроном, спектроскопист, профессор Мичиганского и Калифорнийского университетов. Исследовал химический состав Солнца, звёзд и газовых туманностей. Открыл (1951) звёзды с большим дефицитом тяжёлых химических элементов. Его книга «Атомы, звёзды и туманности», переведённая на русский язык, пользуется большой популярностью у любителей астрономии и студентов.

АЛЬБЕДО (лат. *albedo* – белизна) – величина, характеризующая рассеивающую или отражательную способность поверхности тела. Выражается как доля падающего потока излучения или частиц, отражённая поверхностью тела. Различают несколько видов альбедо. Истинное альбедо, или ламбертово альбедо, совпадающее с коэффициентом диффузного отражения, – это отношение потока, рассеянного плоским элементом поверхности во всех направлениях, к падающему на него потоку. Если поверхность освещается и наблюдается вертикально, то такое истинное альбедо называют нормальным. Нормальное альбедо чистого снега около 1,0, а древесного угля около 0,04.

Значение альбедо зависит от спектра падающего излучения и от свойств поверхности. Поэтому отдельно измеряют альбедо для разных спектральных диапазонов (оптическое, ультрафиолетовое, инфракрасное), поддиапазонов (визуальное, фотографическое) и даже для отдельных длин волн (монохроматическое альбедо).

В астрономии часто используют геометрическое, или плоское, альбедо – отношение освещённости у Земли, создаваемой планетой в полной фазе (т. е. её блеска), к освещённости, которую создал бы плоский абсолютно белый экран того же размера, что и планета, отнесённый на её место и расположенный перпендикулярно лучу зрения и солнечным лучам. Визуальное геометрическое альбедо Луны 0,12; Земли 0,367. В принципе геометрическое альбедо может быть больше единицы (частично зеркальное отражение). Например, геометрическое альбедо Энцелада (спутник Сатурна) составляет 1,375 ± 0,008.

Для расчёта энергетического баланса планет используется сферическое альбедо (альбедо Бонда), введённое в 1861 г. американским астрономом Д. Ф. Бондом (1825–1865). Это отношение отражённого всей планетой потока излучения к падающему на неё потоку. Бондовское альбедо Земли 0,306, у лишённой атмосферы Луны оно составляет 0,067, у покрытой облаками Венеры 0,77, а у покрытого снегом Энцелада – 0,99.

В теории переноса (рассеяния) излучения используется также понятие единичного альбедо, т. е. отношение числа рассеянных во все стороны фотонов к числу падающих фотонов.

АЛЬБИОРИКС (S XXVI, Albiorix) – естественный спутник Сатурна. Его открыл в 2000 г. американский астроном Мэтью Дж. Холман с коллегами. Большая полуось орбиты 16 182 тыс. км. Орбитальный период 783 сут. Эксцентриситет орбиты 0,477. Наклонение орбиты к эклиптике 34,2°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размер 32 км. Период вращения 13 час 19 мин. Альбедо около 4%. Цвет красноватый. Видимый блеск $20{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°04′03″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

АЛЬВЕН (иногда **Альфвен**), **Ханнес Олоф Госта** (Alfvén, Hannes Olof Gösta) (30.5.1908, Норрчёпинг, Швеция, – 2.4.1995, Дюрсхольм, близ Стокгольма, Швеция) – шведский инженер-электрик, физик и астрофизик. Заложил основы магнитной гидродинамики. Предсказал (1937) существование магнитного поля в межзвёздной среде. Создал (1939) теорию магнитных бурь и северного сияния, основанную на концепции «вмороженного» в плазму магнитного



Ханнес Альвен (1942 г.)

поля. Развил (1942) представление о магнитогидродинамических волнах, впоследствии названных альвеновскими. Предложил (1950) динамо-теорию образования солнечного и планетных магнитных полей. Иностранный член АН СССР (1958). Нобелевская премия по физике (1970).

АЛЬВЕНОВСКИЕ ВОЛНЫ, или **альфвеновские волны** — в широком смысле магнитогидродинамические волны (МГД-волны), распространяющиеся в плазме в магнитном поле. Названы в честь предсказавшего их в 1942 г. шведского физика Х. Альвена (Альфвен, H. Alfvén, 1908–1995), впервые рассмотревшего колебания проводящей намагниченной жидкости и установившего существование продольных и поперечных МГД-волн, движение вещества в которых происходит соответственно вдоль и поперёк направления распространения волны. Продольные волны получили название быстрых и медленных магнитозвуковых. А в узком, наиболее употребительном смысле альвеновскими волнами называют поперечные МГД-волны, распространяющиеся без дисперсии в плазме вдоль силовых линий магнитного поля за счёт его упругости.

Для того чтобы магнитное поле альвеновской волны не очень быстро затухало, среда должна обладать достаточно высокой проводимостью, чтобы магнитные силовые линии колебались вместе со средой (условие «вмороженности» силовых линий). Колебания среды также должны затухать не очень быстро. Для этого её кинематическая вязкость должна быть достаточно малой. Эти условия лучше выполняются для низких частот (больших длин волн), и по этой причине они легче реализуются в космических масштабах, чем в лабораторных условиях.

Альвеновская волна характеризуется изменениями магнитного поля и скорости плазмы (например, солнечного ветра) при её неизменной плотности. Частота альвеновских волн не превышает ионную циклотронную частоту (поэтому они являются низкочастотными), движение электронов и ионов в альвеновской волне происходит одинаково и плазма ведёт себя как единая жидкость. Скорость волн (альвеновская скорость) не зависит от частоты колебаний и определяется напряжённостью магнитного поля H и плотностью плазмы ρ: $V_A = H/(4\pi\rho)^{1/2}$. Но при этом частота колебаний ограничена сверху ионной циклотронной частотой, равной qH/mc, где q и m — заряд и масса частицы. Альвеновские волны являются точными нелинейными решениями МГД-уравнений; они распространяются без искажения профиля, что обусловливает их значительную роль в космической плазме. (См. *Число Альвена*.)

Для иллюстрации физической природы альвеновских волн нередко прибегают к аналогии между вмороженными в среду силовыми линиями магнитного поля H и натянутыми струнами или резиновыми жгутами. Вдоль силовой линии поля, так же как и вдоль струны, может распространяться поперечная волна. Скорость V распространения волн по струне с натяжением T и плотностью ρ определяется соотношением $V = (T/\rho)^{1/2}$. Поскольку натяжение T силовых линий пропорционально квадрату напряжённости магнитного поля, $T = H^2/4\pi$, скорость распространения альвеновских волн $V_A = H/(4\pi\rho)^{1/2}$, что в точности совпадает с указанным выше выражением.

Более детально процесс распространения альвеновских волн выглядит следующим образом. При смещении элемента проводящей среды поперёк поля H в нём индуцируется ток плотностью J. Ток генерирует собственное магнитное поле h, которое, складываясь с исходным полем H, вызывает искривление поля. Силовые линии изгибаются, подобно колеблющейся струне. По правилу Ленца J имеет такое направление, что возникающая сила $F = [Jh]/c$, действуя на смещённый элемент, препятствует дальнейшему его смещению и стремится вернуть элемент в первоначальное положение (аналогично натяжению струны). Замыкаясь через соседние элементы среды, токи текут в них в противоположных направлениях, и сила F, приложенная к этим элементам, смещает их поперёк поля H. Смещённый из положения равновесия элемент сначала останавливается, затем возвращается в исходное положение, а соседние элементы среды приходят в движение и т. д. Как и в случае однородных струн, волна распространяется, сохраняя свою форму (если затухание пренебрежимо мало). Альвеновские волны не создают возмущений плотности среды ρ.

Альвеновские волны можно рассматривать как замедленные поперечные электромагнитные волны. Учёт токов смещения приводит к следующему выражению для скорости альвеновских волн: $V = c/(1 + 4\pi\rho c^2/H^2)^{1/2}$, что при достаточно больших ρ совпадает с $H/(4\pi\rho)^{1/2}$. При очень малых ρ альвеновские волны плавно переходят в обычные электромагнитные волны в вакууме. При этом их скорость, как видно из приведённого выражения, становится равной скорости света c.

Возникнув в результате, например, конвективных движений проводящей среды в некоторой области и затухая в другом месте, альвеновские волны способны осуществлять обмен энергией между удалёнными областями космического пространства. При определённых условиях энергия альвеновских волн может переходить в другие виды энергии, например в тепловую (вязкое затухание, джоулева диссипация), в энергию ускоренных частиц (затухание Ландау), в энергию других видов волн. Особый интерес для астрофизики представляет тот факт, что собственное поле волны h может значительно превосходить исходное поле H. Таким образом, альвеновские волны способны усиливать магнитное поле и переносить его на большие расстояния. По современным представлениям, альвеновские волны играют значительную роль в процессах, происходящих в магнитосферах Земли и планет, межпланетной плазме, явлениях на Солнце, в радиогалактиках и др.

АЛЬМАНАХ — см. *Астрономический ежегодник*.

АЛЬМАНАХ БРИТАНСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ — сборник эфемерид, ежегодно публикуемый Британской астрономической ассоциацией. Содержит таблицы с координатами планет и описания предвычисленных на указанный год астрономических явлений.

АЛЬМУКАНТАР — старинный угломерный инструмент с дугой в 15°. Использовался в мореходном деле для измерения высоты Солнца над горизонтом после восхода или перед закатом.

АЛЬМУКАНТАРАТ — малый круг небесной сферы, плоскость которого параллельна плоскости математического горизонта; т. е. круг равных высот (см. *Горизонтальная система координат*).

АЛЬТ-АЗИМУТАЛЬНАЯ МОНТИРОВКА — установка телескопа, позволяющая ему для наведения на небесный объект поворачиваться вокруг двух осей: горизонтальной оси высоты (англ. *altitude*) и вертикальной оси азимута. Слежение за звёздами при этом осуществляется путём одновременного вращения телескопа вокруг двух осей с переменной скоростью, а при фотографировании требуется ещё и вращение камеры вокруг оптической оси.

АЛЬТАИР — α Орла, звезда 0,77 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 17 св. лет. В результате быстрого вращения, скорость которого на экваторе превышает 250 км/с, Альтаир сильно сжат вдоль полярной оси

АЛЬФА-ЧАСТИЦА — ядро ^{4}He, содержащее 2 протона и 2 нейтрона. Масса альфа-частицы $m = 4{,}00273$ а. е. м. $= 6{,}644 \cdot 10^{-24}$ г, спин и магнитный момент равны 0. Энергия связи 28,11 МэВ (7,03 МэВ на 1 нуклон). Проходя через вещество, альфа-частицы тормозятся за счёт ионизации и возбуждения атомов и молекул, а также диссоциации молекул. Длина пробега альфа-частицы в воздухе $l = av^3$, где v — начальная скорость, $a = 9{,}7 \cdot 10^{-28}$ с^3 см$^{-2}$ (для

$l \sim 3–7$ см). Для плотных веществ $l \sim 10^{-3}$ см (в стекле $l = 4 \cdot 10^{-3}$ см). Многие фундаментальные открытия в ядерной физике обязаны изучению альфа-частиц: исследование рассеяния альфа-частиц привело к открытию атомного ядра, облучение альфа-частицами лёгких элементов – к открытию ядерных реакций и искусственной радиоактивности. Ядра звёзд солнечного типа состоят из полностью ионизованных атомов гелия, т. е. фактически из альфа-частиц.

АЛЮМИНИРОВАНИЕ – нанесение тонкого отражающего слоя алюминия на поверхность оптической детали (подложку) для получения зеркала. Подложкой обычно служит стекло или материал с низким коэффициентом температуриого расширения (кварц, церодур или стекло ULE), поверхность которого отполирована и фигуризирована для придания надлежащей формы. Над деталью, помещённой в вакуумную камеру, на вольфрамовой нити накаливания развешивается тонкая проволока из чистого алюминия, которая при нагревании плавится и испаряется, покрывая подложку тончайшим равномерным слоем. Часто поверх алюминиевого слоя наносится защитный слой двуокиси кремния.

Наряду с алюминием иногда используются и другие металлы (см. *Серебрение*), в частности, если зеркало предназначено для работы в ультрафиолетовой области спектра. Отражательная способность алюминиевого слоя в течение года снижается с 90% до примерно 75%, после чего старый алюминиевый слой необходимо снять и алюминировать зеркало вновь. Время от времени алюминиевое покрытие можно чистить, например путём сметания пыли и грязи с поверхности зеркала струёй углекислотного (CO_2) «снега».

АМАЛЬТЕЯ (*J V*, Amalthea) – естественный спутник Юпитера. Большая полуось орбиты 181,4 тыс. км. Орбитальный период 0,49818 сут = 11 час 57 мин 23 с. Эксцентриситет орбиты 0,0032. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 0,374°. Масса $2{,}1 \cdot 10^{18}$ кг. Размер 250 × 146 × 128 км. Средняя плотность 0,86 г/см^3. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск $14{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 59″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Автор открытия – Эдуард Барнард, 1892 г.

АМБАРЦУМЯН Виктор Амазаспович [5(18).09.1908, Тифлис, Российская империя, – 12.08.1996, Бюракан, Армения] – армянский астрофизик, основатель школы теоретической астрофизики в СССР, академик (1943) и президент АН АрмССР (1947), академик АН СССР (1953), дважды Герой Социалистического Труда (1968,



В. А. Амбарцумян

1978), профессор Ленинградского (1934) и Ереванского (1947) университетов, основатель и директор Бюраканской астрофизической обсерватории (с 1946). Президент Международного астрономического союза (1961–1964). Президент Международного совета научных союзов (1966–1972). Государственная премия СССР (1946 и 1950), Государственная премия Российской Федерации (1995). Основные работы в области физики звёздных атмосфер и туманностей, звёздной динамики и космогонии. Доказал динамическую молодость звёздных ассоциаций (1947). Развил новую теорию рассеяния света в мутных средах, основанную на методе сложения слоёв и принципах инвариантности.

АМБИПОЛЯРНАЯ ДИФФУЗИЯ (от лат. *ambo* – оба и греч. *polos* – ось, полюс) – совместное движение электронов и ионов в ионизированном газе в направлении, противоположном градиенту плотности плазмы. В процессе амбиполярной диффузии электроны и ионы вместе диффундируют в направлении уменьшения их концентрации, при котором в каждой точке объёма плазмы электронный и ионный потоки равны или могут различаться лишь на одну и ту же постоянную величину (так называемый сквозной поток).

Простейший случай амбиполярной диффузии слабоионизованной плазмы (в которой столкновения заряженных частиц несущественны) в цилиндрической трубке в отсутствие магнитного поля был рассмотрен немецким физиком В. Шоттки (W. Schottky, 1924). Вследствие различия коэффициентов диффузии электронов и ионов компоненты всегда стремятся разделиться во всем объёме, и на стенке возникает объёмный заряд. В отсутствие магнитного поля коэффициент диффузии электронов много больше ионного – и стенки заряжаются отрицательно. Однако уже слабое разделение зарядов приводит к появлению электрического поля (так называемого самосогласованного амбиполярного поля), препятствующего дальнейшему разделению. Самосогласованное электрическое поле запирает электроны и ускоряет ионы таким образом, чтобы их диффузионные потоки были равны.

АМЕРИКАНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД (American Association of Variable Star Observers, AAVSO) – международная ассоциация наблюдателей, занимающихся изучением переменных звёзд. Базируется в США. Штаб-квартира ассоциации расположена в Кембридже, штат Массачусетс. Сайт: http://www.aavso.org.

АМЕРИКАНСКОЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО (American Astronomical Society, AAS) – объединение профессиональных астрономов, основанное в 1899 г. и базирующееся в г. Вашингтоне. В 2011 г. в нём состояло около 7000 членов, в числе которых не только астрономы, но также физики, математики, геологи, серьёзные любители астрономии – те, кто занят исследованием Вселенной. Сайт: http://www.aas.org.

АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЯ БЛЕСКА – разница между минимальным и максимальным блеском звезды (или астероида и т. п.) за период наблюдения, выраженная в звёздных величинах. Термин часто используется при описании кривых блеска. Например, амплитуды изменения блеска переменных звёзд типа RR Лиры лежат в диапазоне от $0{,}2^m$ до 2^m.

Следует иметь в виду, что астрономы вкладывают в этот термин несколько иной смысл, чем физики: астроном понимает под амплитудой полный размах колебаний, тогда как физик – максимальное (по абсолютной величине) отклонение от среднего. Например, амплитудой синусоидального колебания физик называет половину полного размаха колебаний.

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА – зависимость амплитуды колебания на выходе устройства от частоты входного гармонического сигнала. Измеряется при изменении частоты постоянного по амплитуде входного сигнала ($A_{вх}$). Для негармонического входного сигнала АЧХ показывает, как передаются его отдельные гармонические составляющие, и позволяет оценить искажения его спектра. При графическом представлении АЧХ по оси абсцисс откладывается частота входного сигнала в линейном или логарифмическом масштабе, по оси ординат – амплитуда выходного сигнала $A_{вых}$ или модуль коэффициента передачи устройства $k = A_{вых}/A_{вх}$. Граничными частотами

называются частоты $\omega_н$, $\omega_в$, на которых $A_{вых}$ (или k) уменьшается до заданной величины относительно своего максимума (обычно до уровня $1/2$ или $1/e$ от максимального значения, где $e \approx 2{,}7182818...$ — основание натуральных логарифмов). Область частот от $\omega_н$ до $\omega_в$ называется полосой пропускания устройства. В узкополосных устройствах $\omega_в - \omega_н \ll \omega_в$, в широкополосных $\omega_н \ll \omega_в$, поэтому удобно использовать логарифмический масштаб по оси ω.

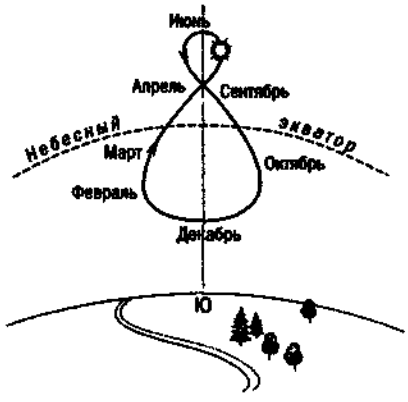
АНАКСАГОР (ок. 500–428 гг. до н. э.) — древнегреческий философ, математик и астроном. Считал, что звёзды состоят из такого же материала, что и Земля; что Солнце — пылающая масса, а Луна — тёмное тело, светящее отражённым солнечным светом.

АНАЛЕММА (греч. *ανάλημμα* — основа, фундамент) — кривая линия, соединяющая ряд последовательных положений Солнца на небосводе в одно и то же время суток (по среднему солнечному времени) в течение года. Иными словами, это траектория движения центра истинного Солнца относительно среднего Солнца. По форме напоминает восьмёрку, причём для наблюдателя в Северном полушарии верхняя часть этой восьмёрки меньше, чем нижняя. В Южном полушарии она, естественно, перевёрнута.

Происхождение слова, вероятно, связано с тем, что, подобно аналитическому уравнению времени, аналемма играет важную роль в конструкции солнечных часов, помогая определять по ним точное, равномерно текущее время. Изображения аналеммы часто встречаются на старинных глобусах звёздного неба и на солнечных часах.

Форма аналеммы, напоминающая цифру 8, определяется наклоном земной оси к плоскости эклиптики и эллиптичностью земной орбиты. Наивысшее положение на аналемме Солнце занимает в момент летнего солнцестояния, наинизшее — в момент зимнего. Из-за эллиптичности земной орбиты ежедневные положения Солнца вблизи верхнего экстремума кривой расположены теснее, а вблизи нижнего — реже. Это обусловлено тем, что Земля проходит перигелий в начале января. Поэтому вблизи зимнего солнцестояния, в декабре, Земля движется по орбите быстрее, а вблизи летнего (в области афелия орбиты) — медленнее. Поскольку солнцестояния опережают дни прохождений перигелия и афелия примерно на две недели, «восьмёрка» аналеммы слегка асимметрична.

Поясним это подробнее. Форма аналеммы обусловлена тем, что ось вращения Земли наклонена к плоскости её орбиты вокруг Солнца на угол 23,4° и что эта орбита эллиптическая, а значит, Земля движется по ней неравномерно. Если бы этих двух обстоятельств не было, то весь год Солнце оказывалось бы в выбранное время суток в одной и той же точке на небе.



Аналемма в средний солнечный полдень

В случае если бы земная орбита была круговой, но ось вращение нашей планеты всё же была наклонена к плоскости орбиты, то в указанных условиях наблюдений Солнце на небесной сфере двигалось бы по линии к северу или к югу относительно небесного экватора в диапазоне от 23,4° с. ш. до 23,4° ю. ш. При этом оно строго повторяло бы свою траекторию при перемещении как в одну, так и в другую сторону.

Переменность скорости движения Земли по орбите отражается в неравномерности перемещения Солнца по эклиптике на небе. Поэтому Солнце к выбранному моменту наблюдения либо не достигает, либо минует некоторую особую точку, и линия разворачивается в фигуру, похожую на восьмёрку. Особая точка, в которой Солнце оказывается два раза в год, располагается в месте соединения верхней и нижней частей «восьмёрки». Это время приходится на середину апреля и самый конец августа каждого года. Время опоздания прибытия Солнца в «особую точку» в разные дни различно, но может достигать 14 мин 19 с, а время опережения — 16 мин 30 с. Это значит, что в угловой мере ширина аналеммы на небе составляет 7,7°.

На форму аналеммы влияет имеющийся между некоторыми важными календарными датами сдвиг. Земля проходит точку перигелия 2 января, и в это время скорость движения Солнца по эклиптике максимальна, а точку афелия Земля проходит 3 июля, и тогда скорость движения Солнца по эклиптике минимальна. С другой стороны, день зимнего солнцестояния приходится на 22 декабря, а день летнего солнцестояния — на 22 июня. В северном полушарии Земли на эти дни приходятся моменты, когда Солнце занимает соответственно самое низкое и самое высокое положения над горизонтом. 11-суточный сдвиг между указанными двумя летними и двумя зимними датами определяет несимметричность «восьмёрки»-аналеммы.

АНАНКЕ (J XII, Ananke) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Сет Барнс Никольсон (1951). Большая полуось орбиты 21 276 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 629,77 сут. Эксцентриситет орбиты 0,244. Наклонение орбиты к эклиптике 149°. Диаметр около 28 км. Масса $3 \cdot 10^{16}$ кг. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 1 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 17 м/с. Альбедо около 4%. Блеск 19^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°37′39″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 K.

АНАСТИГМАТ — оптическая система с исправленным астигматизмом и плоской фокальной поверхностью (т. е. исправлена кривизна поля изображения). В первом приближении можно считать, что объектив-анастигмат практически свободен от всех оптических аберраций по всему полю изображения. Считается, что это наиболее совершенный тип объектива, преимущественного фотографического. Разрешающая способность у анастигмата в центре поля достигает 70 штрих/мм, на периферии — 40 штрих/мм. Относительное отверстие — до 1:1.

АНГЛИЙСКАЯ МОНТИРОВКА С ПОДКОВОЙ — один из вариантов конструкции английской экваториальной монтировки телескопа. Полярная ось выполнена в виде рамы, охватывающей трубу телескопа и опирающейся на оба конца — северный и южный. Верхняя опора выполнена в виде большого кольца с вырезанным сектором (поэтому она напоминает подкову), внутрь которого может проходить труба телескопа (рис. см. *Монтировка телескопа*). Английская монтировка отличается высокой стабильностью и позволяет наводить телескоп на полярную область неба. Такая монтировка использована в конструкции нескольких крупных телескопов, в том числе 200-дюймового телескопа «Хейл».

АНГСТРЕМ — единица длины; 1 Å = 10^{-10} м. Применяется в оптике и атомной физике. Названа в честь шведского физика и астронома Андерса Ангстрема (Anders Ångström, 1814–1874). Глаз человека чувствителен в диапазоне 4000–7000 Å. Ангстрем — внесистемная единица. Более предпочтительной единицей длины, рекомендуемой Международной системой СИ, является нанометр (1 нм = 10^{-9} м = 10 Å).

Однако ангстрем до сих пор используется в астрономии и физике, отчасти потому, что размеры атомов близки к 1 Å.

АНДРОМЕДА — созвездие северного неба; лежит к востоку от Большого Квадрата Пегаса, который осенними вечерами расположен в южной стороне неба. Андромеда состоит из трёх цепочек звёзд, выходящих из северного угла Квадрата к северо-востоку, в сторону созвездия Персей. В греческих мифах Андромеда – дочь эфиопского царя Цефея (Кефея) и царицы Кассиопеи. Бог морей Посейдон предназначил Андромеду в жертву морскому чудищу, но её спас Персей. На небе все персонажи этой легенды расположены рядом. Самый замечательный объект в этом созвездии — крупная спиральная галактика M31 (Туманность Андромеды) с двумя её спутниками — галактиками M32 и NGC 205 (NGC — New General Catalogue, один из популярных каталогов туманностей, звёздных скоплений и галактик).

В безлунную ночь Туманность Андромеды видна невооружённым глазом примерно на 1° к западу от звезды ν Андромеды. Внешне она напоминает бледный овал размером с диск Луны. В действительности же её диаметр около 180 000 св. лет, и в ней содержится около 300 млрд звёзд, т. е. она больше нашей Галактики. Хотя Туманность Андромеды была известна ещё арабам в X в. (персидский астроном ас-Суфи называл её «маленьким облачком»), европейские учёные обнаружили её только в XVII столетии. Другие интересные объекты в этом созвездии: рассеянное звёздное скопление NGC 752, планетарная туманность NGC 7662 и одна из самых красивых спиральных галактик, видимых с ребра, — NGC 891.

АНИЗОТРОПНАЯ СРЕДА — среда, макроскопические свойства которой различны в различных направлениях, в противоположность среде изотропной, где они не зависят от направления. Формально анизотропия однородной безграничной среды означает неинвариантность её свойств относительно группы вращений. Поскольку у реальной среды обычно есть границы, при строгом подходе к определению анизотропии необходимо иметь в виду не абстрактную безграничную среду, а состоящий из этой среды макроскопически однородный шар. Среду следует считать анизотропной, если существует экспериментально обнаружимый поворот вокруг центра указанного шара.

Анизотропия среды может быть обусловлена несколькими причинами: анизотропией образующих её частиц, анизотропным характером их взаимодействия (дипольным, квадрупольным и др.), упорядоченным расположением частиц (кристаллической среды, жидкие кристаллы), мелкомасштабными неоднородностями. В то же время анизотропные или анизотропно взаимодействующие частицы могут образовывать изотропную среду (например, аморфные вещества или газы и жидкости, в которых изотропия обусловлена хаотическим движением и вращением частиц). Анизотропная среда может образоваться под действием внешних полей, ориентирующих или деформирующих частицы. Даже физический вакуум во внешних полях (электромагнитном, гравитационном и др.) поляризуется и ведёт себя как анизотропная среда. Физические поля и вещество искривляют само пространство-время, которое приобретает анизотропные гравитационные свойства.

Анизотропные свойства сплошной среды описывают тензорными величинами; в неоднородной анизотропной среды они меняются от точки к точке. Среды, анизотропные для одного класса явлений, могут вести себя как изотропные по отношению к другому классу. Так, механические свойства кристаллической поваренной соли NaCl анизотропны (её упругость различна вдоль рёбер и диагоналей кубической решётки), тогда как тепловые и оптические свойства изотропны с высокой степенью точности. В изотропной среде соответствующие тензоры сводятся к единичным.

Анизотропные среды обычно классифицируют по типу симметрии их структуры, которая характеризуется распределением частиц в пространстве и корреляцией между ними. Это связано с тем, что симметрия любого физического свойства не может быть ниже симметрии структуры среды (принцип Неймана). В случае трёхмерного упорядочения частиц (кристаллическая решётка) существуют всего 32 точечные группы симметрии анизотропных сред (кристаллические классы). Если же пространственное упорядочение частиц является только двумерным (одномерным) или отсутствует вовсе (жидкие кристаллы и анизотропные жидкости), то число типов симметрии анизотропных сред возрастает и определяется, например, взаимной корреляцией между ориентациями частиц. Такие фазовые состояния вещества, промежуточные между кристаллом и изотропной жидкостью, называют мезоморфными состояниями.

Другим типом нарушения симметрии среды, отличным от анизотропии, является гиротропия. Среда гиротропна, если её свойства меняются при зеркальных отражениях. Свойства гиротропных сред описываются псевдотензорными величинами. С анизотропией (и гиротропией) связаны разнообразные явления. Однородная анизотропная среда оказывает существенное влияние на свойства распространяющихся в ней нормальных волн, определяя, в частности, их поляризацию и различие направлений распространения волнового (фазового) фронта и энергии волн. В неоднородной анизотропной среде может происходить линейное взаимодействие поляризованных волн, приводящее к перераспределению энергии между нормальными волнами, но не нарушающее принцип суперпозиции. Последний нарушается в случае нелинейного взаимодействия волн, которое в анизотропных средах также обладает своеобразными анизотропными свойствами.

АНИЗОТРОПИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ — изменение потока излучения в зависимости от направления в пространстве.

АНИЗОТРОПИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ — изменение потока космических лучей в зависимости от направления в пространстве.

АННИГИЛЯЦИЯ ЧАСТИЦ И АНТИЧАСТИЦ — превращение частицы и античастицы при столкновении в другие частицы. Термином «аннигиляция» (от *лат. annihilatio* — уничтожение, исчезновение) первоначально называли электромагнитный процесс превращения электрона и его античастицы — позитрона при их столкновении в электромагнитное излучение (в гамма-кванты). Однако этот термин неудачен, так как в процессах аннигиляции материя не уничтожается, а лишь превращается из одной формы в другую. Аннигиляция — это один из видов взаимопревращения элементарных частиц.

Возможность аннигиляции предсказал Поль Дирак (P. A. M. Dirac, 1902–1984) на основе развитой им квантовомеханической релятивистской теории электрона. В 1932 г. в космических лучах были обнаружены первые античастицы — позитроны, в 1933 г. зарегистрированы случаи аннигиляции пар электрон–позитрон.

Из законов сохранения энергии и импульса следует, что при аннигиляции медленных частиц и античастиц может происходить только их превращение в несколько более лёгких частиц. Так, при аннигиляции электрона и позитрона обычно возникают два или три гамма-кванта. В процессе аннигиляции e^+ и e^- при суммарном спине сталкивающихся частиц $J=0$ испускается (вследствие закона сохранения зарядовой чётности в электромагнитном взаимодействии) чётное число гамма-квантов (практически два), а при $J=1$ — нечётное (практически три; аннигиляция в один фотон запрещена законом сохранения энергии-импульса). Образование большого числа гамма-квантов подавлено из-за малости константы $\alpha = 1/137$, характеризующей интенсивность протекания электромагнитных процессов. Если относительная скорость e^+ и e^- невелика, то аннигиляция с большой вероятностью происходит через

образование промежуточного связанного состояния (e^+e^-) — позитрония, напоминающего атом водорода.

Столкновение любой частицы с её античастицей может приводить к их аннигиляции, причём не только за счёт электромагнитного взаимодействия. Так, аннигиляция протонов и антипротонов в π-мезоны (преимущественно в 5 или 6 π-мезонов) вызывается сильным взаимодействием. В этом случае первичные продукты аннигиляции оказываются нестабильными, и за аннигиляцией следует цепь последовательных превращений, приводящих в конечном счёте к образованию фотонов и нейтрино.

Скорость аннигиляции определяет время жизни стабильных относительно распада античастиц (позитрона, антипротона) в среде. Аннигиляция высокоэнергичных частиц может приводить к образованию частиц более тяжёлых, чем исходные частица и античастица. В опытах на ускорителях пучков электронов и позитронов, разогнанных до энергий выше 1 ГэВ, изучают процессы аннигиляции электрона и позитрона в адроны (мезоны и барионы). В столкновениях частиц может происходить обратный аннигиляции процесс рождения пар. Так, основным процессом поглощения жёсткого гамма-излучения в среде является процесс рождения гамма-фотоном пары электрон–позитрон в кулоновском поле ядра.

В естественных условиях процессы аннигиляции могут происходить вблизи космических источников античастиц (активных ядер галактик, пульсаров) и при взаимодействии космических антипротонов и позитронов с веществом. Такие процессы космической аннигиляции могут наблюдаться методами гамма-астрономии по аннигиляционному космическому излучению. Результаты этих наблюдений указывают на отсутствие заметного количества антивещества в окружающей нас части Вселенной вплоть до масштаба скопления галактик и свидетельствуют в пользу барионной асимметрии Вселенной.

В термодинамическом равновесии при высокой температуре (например, на ранних стадиях расширения Вселенной) достигается высокая концентрация частиц и античастиц; процессы аннигиляции и рождения пар частиц и античастиц протекают в одинаковом темпе и уравновешивают друг друга. В ходе расширения Вселенной температура падала, и реакции аннигиляции начали доминировать над обратными реакциями рождения пар частиц и античастиц. Сначала должна была пройти аннигиляция тяжёлых античастиц (таких как антибарионы), затем, при меньшей температуре, — более лёгких (например, позитронов). Оставшиеся после аннигиляции частицы образовали вещество современной Вселенной.

Аннигиляционное излучение в астрофизике

Наблюдение излучения, возникающего при аннигиляции позитронов и электронов, позволяет обнаружить во Вселенной области (объекты), где рождаются античастицы (позитроны), и определить физические характеристики таких областей. В астрофизических условиях позитроны рождаются, как правило, релятивистскими. Когда они попадают в сравнительно холодную среду с температурой $T \ll mc^2/k = 6 \cdot 10^9$ К (где $mc^2 = 511$ кэВ — энергия покоя электрона), то из-за малой вероятности аннигиляции по сравнению с вероятностями процессов, приводящих к торможению позитронов (рассеяние на электронах и атомах, возбуждение и ионизация атомов), их большая часть успевает замедлиться до нерелятивистских энергий и лишь затем аннигилирует.

При двухфотонной аннигиляции нерелятивистских позитрона и электрона (наиболее распространённой в астрофизических условиях) энергии образующихся фотонов ε близки к энергии покоя электрона, т. е. спектр аннигиляционного излучения имеет вид линии — так называемой аннигиляционной линии. Это позволяет выделять такое излучение на фоне непрерывного спектра, возникающего при других процессах.

Смещение энергии аннигиляционных фотонов от значения mc^2 вызвано эффектом Доплера из-за движения центра масс аннигилирующей пары: $\varepsilon = mc^2(1 + V/c)$, где V — проекция скорости центра масс на направление вылета фотона. Разброс скоростей V приводит к доплеровскому уширению линии. При аннигиляции термализованных позитронов с энергией $E_T \sim kT$ со свободными электронами плазмы (как прямой, так и с предварительным образованием позитрония Ps) разброс V является тепловым и ширина аннигиляционной линии на половине максимума $\Delta E \approx 0{,}011\ T^{1/2}$ кэВ.

В отличие от двухфотонного, трёхфотонное аннигиляционное излучение, возникающее при аннигиляции ортопозитрония ^{3}Ps (образующегося в тех же процессах, что и парапозитроний ^{2}Ps) имеет непрерывный спектр, лежащий ниже 511 кэВ. Регистрация этого спектра (вместе с аннигиляционной линией) позволяет оценить долю позитронов, аннигилирующих с образованием позитрония Ps, и тем самым физической характеристики области аннигиляции.

Аннигиляционное излучение обнаружено в спектрах вспышек на Солнце, в излучении галактического центра и космических гамма-всплесках. Аннигилирующие позитроны образуются, по-видимому, при распаде радиоактивных ядер и π-мезонов, возникающих при ядерных взаимодействиях ускоренных во вспышке ионов с солнечным веществом. Ширина аннигиляционной линии (< 20 кэВ) соответствует температуре в области аннигиляции $T \ll 3 \cdot 10^6$ К, а зависимость этой линии от времени показывает, что плотность вещества в области аннигиляции $< 10^{14}$ см$^{-3}$.

Аннигиляционное излучение из области центра Галактики наблюдалось начиная с 1968 г. (аппаратурой, поднятой на баллонах на высоту около 40 км), затем на спутнике HEAO-3 (США, с 1979 г.). Интенсивность аннигиляционной линии практически не менялась до начала 1980 г., после чего менее чем за год упала ниже порога чувствительности детекторов. Малая ширина линии (≤2,5 кэВ) означает, что излучение образуется термализованными позитронами в среде с $T \leqslant 5 \cdot 10^4$ К. Переменность излучения накладывает ограничения на размер области аннигиляции ($\leqslant 10^{18}$ см) и концентрацию частиц в ней ($\leqslant 10^5$ см$^{-3}$). Источник позитронов неизвестен. Предположительно позитроны генерируются в окрестности массивной аккрецирующей чёрной дыры, имеющейся в центре Галактики.

Эмиссионные линии с максимумами при $\varepsilon \approx 350$–450 кэВ были обнаружены в спектрах нескольких гамма-всплесков на АМС «Венера-11...-14» (1978–1983 гг.). Они интерпретируются как линии двухфотонного аннигиляционного излучения, сдвинутые на 50–150 кэВ из-за гравитационного красного смещения в поле силы тяжести нейтронной звезды — источника гамма-всплеска. Сравнительная узость линий накладывает ограничения на температуру ($kT \leqslant 50$ кэВ) и магнитное поле ($B \leqslant 10^{13}$ Гс) в области аннигиляции. Механизм образования позитронов неясен.

АНОМАЛЬНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ — тип рентгеновских пульсаров с очень длинным периодом вращения: от 6 до 12 секунд. При такой низкой скорости вращения объяснить мощное рентгеновское излучение очень трудно. Рассматриваются две модели. В первой из них газ, выброшенный при взрыве сверхновой, образовавшей пульсар, падает назад, на нейтронную звезду, магнитное поле у которой такое же, как у обычного пульсара. В районах магнитных полюсов газ ударяется у поверхность, нагревается и начинает излучать в рентгеновском диапазоне. Во второй модели, которая в настоящее время подтверждается наблюдениями, аномальные рентгеновские пульсары являются магнитарами — нейтронными звёздами с очень сильным магнитным полем.

АНТАЛГОЛЬ (т. е. анти-Алголь) — одно из названий переменных звёзд типа RR Лиры. Кривая изменения блеска анталголя отдалённо напоминает перевёрнутую кривую блеска затменно-двойной звезды

Алголь, с чем и связано редкоупотребимое название «анталголь».

АНТАРЕС – α Скорпиона, звезда, красный сверхгигант, изменяющий свой блеск от 0,9 до 1,2 звёздной величины. Греческое имя «Антарес» означает «соперник Ареса (Марса)». По яркости и цвету Антарес похож на Марс и расположен вблизи эклиптики, так что перепутать их легко. Диаметр Антареса примерно в 700 раз больше, чем у Солнца, а светимость больше солнечной в 9000 раз. Это прекрасная визуальная двойная звезда: более яркий компонент кроваво-красный, а его менее яркий сосед (5 звёздной величины), удалённый всего на 3″, голубовато-белый, но по контрасту с компаньоном он выглядит зелёным – очень красивое сочетание.

АНТЕННА – элемент радиоприёмника (или передатчика), используемый для детектирования (или передачи) радиосигналов. В радиотелескопах в качестве антенны часто используется полуволновой диполь, состоящий из двух линейных проводников, каждый из которых имеет длину в четверть длины волны. Радиосигнал индуцирует в полуволновом диполе колебания электрического тока, которые усиливаются и преобразуются в желаемую форму в остальной части радиоприёмника. Полуволновой диполь называют активным элементом антенны. Дополнительные пассивные элементы позволяют отражать радиосигнал к активному элементу или фокусировать их на активном элементе. Пассивные элементы имеют вид линейных проводников, не соединённых электрически с активным элементом и размещённых на расстоянии четверти длины волны до активного элемента (для фокусировки) или после него (для отражения). Хорошо известная антенна для приёма телевизионных сигналов называется антенной Яги, или пассивной антенной, и является примером комбинации активного и пассивных элементов. Подобные антенны часто устанавливают для детектирования сигнала в фокусе радиотелескопов с параболическими зеркальными отражателями.

АНТЕННА ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ – многоэлементная зеркальная антенна, отражающая поверхность которой состоит из большого числа сравнительно небольших подвижных элементов. Диаграмма направленности антенны переменного профиля формируется при помощи специального расположения элементов и облучателя, находящегося в фокусе отражающей поверхности. Поворот диаграммы направленности осуществляется не поворотом отражающей поверхности в целом, как в обычных зеркальных антеннах, а изменением взаимного положения отражающих элементов, т. е. изменением формы отражателя. Этим и объясняется название антенн переменного профиля.

Возможность изменения формы поверхности используется также для периодической юстировки антенны, регулировки её поверхности с целью получения высокой абсолютной точности. Кривая, по которой устанавливаются центры элементов, изменяется от параболы (при наблюдениях на горизонте) до окружности (при наблюдениях в зените). Антенна переменного профиля может работать одновременно по 4 направлениям, при этом в каждом направлении используется до $^1/_4$ всех элементов. Для направлений вблизи зенита можно использовать все отражающие элементы.

В антеннах переменного профиля осуществлены два принципа: 1) формирование большой отражающей поверхности из небольших, независимо контролируемых элементов, которые можно установить друг относительно друга с точностью, значительно превышающей точность изготовления металлоконструкций; 2) использование методов апертурного синтеза, позволяющих синтезировать двумерные изображения. Благодаря этому антенна переменного профиля сочетает в себе достоинства зеркальных антенн и систем апертурного синтеза: широкополосность и направленность, т. е. возможность наблюдений на разных частотах с высоким угловым разрешением. Именно поэтому антенна крупнейшего отечественного радиотелескопа сантиметрового диапазона РАТАН-600 выполнена в виде антенны переменного профиля. Он является универсальным и гибким инструментом, пригодным для наблюдения различных астрономических объектов. РАТАН-600 состоит из 895 элементов, расположенных по окружности диаметром около 600 м; работает в диапазоне длин волн от 8 мм до 30 см; разрешение достигает 7″ при длине волны 1,35 см. Неровности поверхности не превышают 0,35 мм. Радиотелескоп может работать одновременно по нескольким научным программам: регулярные наблюдения начались в июле 1974 г., проводятся наблюдения Солнца, планет и их спутников, Галактики и Метагалактики, осуществляются обзоры неба.

АНТЕННА ЯГИ – радиоантенна, состоящая из полуволнового диполя в качестве детектирующего элемента и из двух или более стержней, расположенных впереди и позади него. Дополнительные стержни изготовляются из проводника, но не соединяются электрически с вибратором (в этом смысле они являются пассивными, откуда происходит второе название антенны Яги – пассивная антенна). Стержни позади вибратора отражают падающие радиоволны по направлению к вибратору, а также выполняют экранирующую функцию для источников, расположенных позади антенны. Стержни перед вибратором служат для концентрации радиоизлучения и называются директорами. Автор этой конструкции – японский инженер Х. Яги (Hidetsugu Yagi, 1886–1976), разработавший её вместе с коллегой Ш. Уда (Shintaro Uda). Антенна Яги широко применяется для приёма бытовых телевизионных сигналов. В радиотелескопах антенны Яги применяют в качестве облучателя в фокусе большой зеркальной параболической антенны; антенные решётки некоторых радиотелескопов состоят из многочисленных антенн Яги.

АНТЕННАЯ РЕШЁТКА – совокупность простых антенн (полуволновых диполей, антенн Яги), выходы которых объединены для получения большего углового разрешения и увеличения чувствительности. Имеется два распространённых варианта расположения антенн: параллельная решётка, в которой полуволновые диполи расположены в одну линию на расстоянии $\lambda/2$ с ориентацией каждого диполя вдоль этой линии (оси) решётки, и поперечная решётка, имеющая такую же геометрию, но диполи в ней ориентированы перпендикулярно оси решётки. Термин «решётка» (англ. *array*) иногда используют и в названиях систем из нескольких параболических антенн, например, Very Large Array (VLA), Большая антенная решётка – система апертурного синтеза, состоящая из 27 радиотелескопов с параболическими антеннами диаметром по 25 м, расположенная в шт. Нью-Мексико (США).

АНТЕННАЯ РЕШЁТКА СО СВЕРХДЛИННЫМИ БАЗАМИ (Very Long Baseline Array, VLBA) – радиоинтерферометр, принадлежащий Национальной радиоастрономической обсерватории (NRAO) США. Включает в себя 10 радиотелескопов весом по 240 т с параболическими антеннами диаметром по 25 м, из которых 8 расположены на Североамериканском континенте, один на Гавайских островах и один на о. Пуэрто-Рико. Система управляется из центра в Сокорро, Нью-Мексико (США). Максимальная база (расстояние между отдельными радиотелескопами) сети VLBA составляет 8600 км. Радиотелескопы могут вести приём в десяти частотных диапазонах от 300 МГц до 86 ГГц. Массив антенн работает совместно, как самый большой в мире, посвящённый исключительно интерферометрическим наблюдениям. Сооружение VLBA началось в феврале 1986 г. и закончилось в мае 1993 г., когда было проведено первое наблюдение с использованием всех десяти антенн. Полная стоимость проекта 85 млн долл.

АНТЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРА – характеристика электромагнитного излучения, принимаемого радиоантенной. Антенны радиотелескопов принимают энергию ради-

оволи и передают её на вход приёмников (радиометров). Шумовая антенная температура ($T_{ш.а}$) характеризует суммарную мощность излучения $W_{ш.а}$, принятого антенной со всех направлений в интервале частот $\Delta\nu$:

$$W_{ш.а} = \Delta\nu k T_{ш.а}$$

Антенная температура не связана с физической температурой вещества антенны и окружающей её среды, а определяется только мощностью принятого излучения. В антенную температуру вносят вклад все источники электромагнитного излучения (как далёкие космические, так и близкие, например земная поверхность и расположенные на ней тела). Это обусловлено сложной формой диаграммы направленности антенны, принимающей излучение не только в главном лепестке диаграммы, но и в многочисленных «паразитных» (боковых и заднем) лепестках.

Полезной измеряемой радиотелескопом величиной служит приращение шумовой антенной температуры $\Delta T_{ш.а}$, возникающее при нахождении исследуемого космического радиоисточника в главном лепестке диаграммы направленности. При этом, как правило, $\Delta T_{ш.а} \ll T_{ш.а}$ измеряется на высоком уровне шумового фона в антенне и радиометре.

Антенную температуру можно также определить (и измерить) как физическую температуру T подключённого ко входу радиометра согласованного сопротивления R (эквивалента антенны), в котором вследствие теплового движения электронов выделяется мощность $W_R = \Delta\nu k T \equiv W_{ш.а} = \Delta\nu k T_{ш.а}$. Измерение $T_{ш.а}$ производится па основе уравнивания шумовых сигналов W_R и $W_{ш.а}$ (охлаждением или подогревом сопротивления R).

АНТИ-БЛЮМИНГ — использование в ПЗС дополнительных электродов (стоков), позволяющих отводить избыток электронов из пикселей, приближающихся к насыщению. Применяется для предотвращения растекания заряда.

АНТИВЕЩЕСТВО (или антиматерия) — вещество, состоящее из античастиц (см. *Античастицы*). Антивещество имеет гравитационные свойства обычного вещества, но его элементарные частицы обладают противоположными по знаку электрическими зарядами и константами взаимодействия ядерных сил. При контакте обычного вещества с антивеществом происходит аннигиляция, практически эквивалентная взрыву с чрезвычайно высокой эффективностью превращения массы в энергию ($E = mc^2$) в основном в форме гамма-квантов и нейтрино (см. *Аннигиляция частиц и античастиц*).

Ядра атомов антивещества «построены» из антинуклонов, а внешняя оболочка — из позитронов. Возможность существования антивещества следует из инвариантности законов природы относительно преобразования CPT (утверждение о симметрии физических законов при преобразованиях, включающих одновременную инверсию заряда, чётности и времени). Вследствие инвариантности сильного взаимодействия относительно зарядового сопряжения (C-инвариантность) ядерное взаимодействие между антинуклонами в точности совпадает с соответствующим взаимодействием между нуклонами, что обеспечивает существование ядер из антинуклонов. Эти «антиядра» обладают такими же массой и энергетическим спектром, как и ядра, состоящие из соответствующих нуклонов. Электрические заряды и магнитные моменты антиядер равны по величине и противоположны по знаку электрическим зарядам и магнитным моментам соответствующих ядер.

Вследствие C-инвариантности электромагнитного взаимодействия электромагнитные переходы в ядрах вещества и антивещества совпадают. Электромагнитное взаимодействие позитронов и ядер антивещества должно приводить к образованию связанных состояний — атомов антивещества, причём атомы антивещества и вещества должны иметь идентичную структуру. Вследствие CP-инвариантности слабого взаимодействия обусловленное им смешивание атомных или ядерных состояний с противоположной чётностью одинаково для вещества и антивещества.

Столкновение объекта, состоящего из вещества, с объектом из антивещества приводит к аннигиляции входящих в их состав частиц и античастиц. Аннигиляция медленных электронов и позитронов ведёт к образованию гамма-квантов, а аннигиляция медленных нуклонов и антинуклонов — к образованию нескольких π-мезонов. В результате последующих распадов π^0-мезонов образуется жёсткое гамма-излучение с энергией гамма-квантов ≥70 МэВ.

В экспериментах на ускорителях были зарегистрированы события образования лёгких антиядер в столкновениях адронов. В 1965 г. группа американских физиков под руководством Л. М. Ледермана (L. M. Lederman) наблюдала события образования ядер антидейтерия, в 1970 г. на протонном синхротроне Института физики высоких энергий в Протвино (близ г. Серпухов) группа советских физиков под руководством Ю. Д. Прокошкина зарегистрировала несколько событий образования ядер антигелия-3.

В 2010 г. физикам CERN в Женеве впервые удалось кратковременно поймать в «ловушку» атомы антивещества. Для этого учёные охлаждали облако, содержащее около 30 тыс. антипротонов, до температуры 200 K, и облако из 2 млн позитронов — до температуры 40 K. Антивещество охлаждали в ловушке Пеннинга, встроенной внутрь ловушки Иоффе—Питчарда. В общей сложности было поймано 38 атомов антиводорода, которые удерживались 172 миллисекунды. В 2011 г. результаты предыдущего эксперимента удалось значительно улучшить: было поймано 309 антиатомов, которые удерживались 1000 секунд. В начале 2012 г. впервые удалось возбудить в атоме антиводорода сверхтонкий переход на основном уровне ($\lambda = 21$ см) и показать, что его энергия совпадает с энергией перехода в обычном атоме водорода.

На Земле, в Солнечной системе и в непосредственно окружающем Солнечную систему космическом пространстве отсутствует сколько-нибудь заметное количество антивещества. Наблюдаемые в космических лучах позитроны и антипротоны можно объяснить их рождением при столкновениях частиц высоких энергий без привлечения гипотез о существовании макроскопических областей антивещества. В пользу этого указывает и отсутствие ядер антивещества в космических лучах. Непосредственное астрономическое наблюдение удалённого космического объекта из-за тождественности спектров электромагнитного излучения атомов вещества и антивещества не позволяет установить, состоит этот объект из вещества или антивещества. Астрономические проявления звёзд из вещества и звёзд из антивещества должны быть одинаковыми. Однако при наличии звёзд из антивещества различные механизмы потери массы звёздами приводили бы к появлению антивещества в межзвёздной среде и его аннигиляции с межзвёздным газом. Отсутствие интенсивного гамма-излучения, которое должно было бы наблюдаться при такой аннигиляции, налагает жёсткое ограничение на концентрацию антивещества в галактиках (меньше 10^{-15} от концентрации вещества) и в скоплениях галактик (меньше 10^{-6} от концентрации вещества), т. е. наблюдательные данные гамма-астрономии указывают на отсутствие заметного количества антивещества в окружающем нас космическом пространстве вплоть до ближайшего скопления галактик.

Необходимость объяснить отсутствие сильного смешивания вещества и антивещества в космических масштабах, меньших, чем скопления галактик, является существенной трудностью космологических моделей, предполагающих равное количество вещества и антивещества во Вселенной. С другой стороны, анализ космологических следствий калибровочных теорий великого объединения взаимодействий, предсказывающих процессы с несохранением барионного числа, показывает, что неравновесные эффекты нарушения CP-инвариантности в таких процессах на очень ранних стадиях эволю-

ции Вселенной (до первой секунды расширения) могли привести к барионной асимметрии Вселенной к преобладанию во Вселенной вещества. Однако возможность существования макроскопических областей антивещества не является пока окончательно исключённой наблюдениями. Такую возможность допускают и некоторые модели великого объединения со спонтанным нарушением CP-инвариантности, которые предсказывают существование макроскопических областей с преобладанием антивещества.

Проверка существования звёзд из антивещества может быть в принципе осуществлена средствами нейтринной астрономии. Образование нейтронных звёзд сопровождается превращением электронов и протонов в нейтроны с испусканием электронных нейтрино. В звёздах из антивещества соответствующий процесс является источником электронных антинейтрино. Поэтому регистрация потоков космических антинейтрино с временны́ми и энергетическими характеристиками, ожидаемыми для потоков нейтрино, образующихся при гравитационном коллапсе в нейтронную звезду, служило бы указанием на образование антинейтронных звёзд. Более точная информация о том, происходила ли аннигиляция антивещества в ранней Вселенной, может быть получена из анализа её возможного влияния на химический состав вещества, наблюдаемый в наше время.

АНТИГРАВИТАЦИЯ — эффект всеобщего взаимного отталкивания; см. *Тёмная энергия.*

АНТИЧАСТИЦЫ — элементарные частицы, имеющие те же значения масс, спинов и других физических характеристик, что и их «двойники» — частицы, но отличающиеся от них знаками некоторых характеристик взаимодействия (например, электрического заряда). Исключение составляют фотон и нейтральные мезоны (например, π^0-мезон), у которых все заряды равны нулю, вследствие чего эти частицы тождественны своим античастицам. Такие частицы являются истинно нейтральными.

Существование античастиц было предсказано Полем Дираком (P. A. M. Dirac, 1902–1984). Полученное им в 1928 г. квантовое релятивистское уравнение движения электрона с необходимостью содержало решения с отрицательными энергиями. В дальнейшем было показано, что исчезновение электрона с отрицательной энергией следует интерпретировать как возникновение частицы той же массы с положительной энергией и с положительным электрическим зарядом, т. е. античастицы по отношению к электрону. Эта частица — позитрон — была открыта в 1932 г. В последующих экспериментах было установлено, что не только электрон, но и все остальные частицы имеют свои античастицы. В 1936 г. в космических лучах были открыты мюон (μ^- и его античастица μ^+, а в 1947 г. — π^-- и π^+-мезоны, составляющие пару частица–античастица; в 1955 г. в опытах на ускорителе зарегистрирован антипротон, в 1956 г. — антинейтрон и т. д. К настоящему времени наблюдались античастицы практически всех известных частиц, и не вызывает сомнения, что античастицы имеются у всех частиц.

Античастица, соответствующая данной частице, обычно обозначается символом частицы с тильдой или чертой сверху, например антипротон имеет обозначение $\tilde{p}$. При столкновении частицы с античастицей происходит аннигиляция, при которой частица и её античастица исчезают, превращаясь в частицы иной природы (см. *Аннигиляция частиц и античастиц).*

Спины и магнитные моменты частиц и их античастиц одинаковы по величине, но направления магнитного момента по отношению к спину противоположны (например, у электрона спин и магнитный момент направлены антипараллельно, у позитрона — параллельно). У так называемых частиц со спиральностью (нейтрино) античастицы имеют противоположную спиральность (противоположное направление спина при одинаковом направлении импульса). Частицам и их античастицам приписываются одинаковые по величине, но противоположные по знаку барионное и лептонное числа, странность, очарование, красота и другие характеристики.

Законы сохранения (например, барионного заряда, лептонного заряда) утверждают, что сохраняется разность между числом частиц и античастиц, обладающих этими зарядами. Структура адронов и их античастиц совпадает, причём в рамках модели кварков состояния антибарионов описываются точно так же, как состояния барионов с заменой составляющих их кварков на соответствующие им антикварки. Состояния мезонов и их античастиц различаются заменой составляющих мезон кварка и антикварка на соответствующие антикварк и кварк.

Скорость аннигиляции определяет время жизни стабильной античастицы в веществе. Времена жизни нестабильной частицы и её античастицы в точности одинаковы, однако при наличии нескольких каналов распада отношение вероятностей W этих каналов может быть различно, Например, известны распады Λ-гиперона: $\Lambda \to p\pi^-$ и $\Lambda \to n\pi^0$, и соответственно для антигиперона $\bar{\Lambda} \to \tilde{p}\pi^+$ и $\bar{\Lambda} \to \tilde{n}\pi^0$. Отношение вероятностей $W(\Lambda \to p\pi^-)/W(\Lambda \to n\pi^0)$ не равно отношению $W(\bar{\Lambda} \to \tilde{p}\pi^+)/W(\bar{\Lambda} \to \tilde{n}\pi^0)$. Это различие принципиально важно, так как доказывает отсутствие полной симметрии между частицами и античастицами. Возможно, на этом пути удастся объяснить преобладание частиц над античастицами во Вселенной. Имеющиеся наблюдательные данные о космическом излучении исключают возможность наличия в настоящее время в Галактике заметного количества антивещества, сравнимого с количеством вещества.

Рождение античастиц может происходить в столкновениях частиц вещества, разогнанных до энергий, превосходящих порог рождения пары частица–античастица. В лабораторных условиях античастицы рождаются во взаимодействиях частиц, разогнанных на ускорителях; хранение образующихся античастиц осуществляют в накопительных кольцах при высоком вакууме. Естественные условия рождения античастиц реализуются в окрестностях пульсаров и активных ядер галактик, а также при взаимодействии космических лучей с веществом. Теоретическая астрофизика рассматривает образование античастиц (позитронов, антинуклонов) при аккреции вещества на чёрные дыры. В рамках современной космологии рассматривают рождение античастиц при испарении первичных чёрных дыр малой массы. Условия массового рождения электрон-позитронных пар могут реализоваться в горячих ядрах массивных звёзд. Согласно модели горячей Вселенной, на очень ранних стадиях расширения Вселенной в равновесии с веществом и излучением находились все сорта пар частица–античастица.

АНТОНИАДИ, Эжен Мишель (Antoniadi, Eugenios M.) (10.03.1870, Константинополь, ныне Стамбул, — 10.02.1944, Париж) — французский астроном, грек по национальности. В возрасте 18 лет самостоятельно занялся астрономией, проводя наблюдения с 75-мм, а затем со 108-мм телескопами. С 1889 г. стал постоянным корреспондентом К. Фламмариона, книги которого в своё время и направили интересы Антониади (как и многих других) в астрономию. В дальнейшем все свои наблюдения он публикует в журнале «Астрономия» (Бюллетень Французского астрономического общества, созданного Фламмарионом).

Антониади никогда не был штатным сотрудником какой-либо официальной обсерватории. Формально он всю жизнь оставался любителем астрономии, собственными усилиями приобрёл все свои знания и, обладая незаурядным талантом рисовальщика, сделался наблюдателем высшего класса. В 1893 г. он приехал в Париж и стал ближайшим сотрудником Фламмариона на его частной обсерватории в Жювизи. Там, используя 42-сантиметровый экваториал, он проводил наблюдения планет, прежде всего Марса. После того как в 1870-е гг. Скиа-

парелли заметил на Марсе «каналы», эта планета привлекала всеобщее внимание возможностью существования на ней высокоразвитой цивилизации.

Наблюдения Антониади создали ему авторитет в изучении Марса, и в 1902 г. он был приглашен руководить секцией Марса в Британской астрономической ассоциации. В 1909 г. его пригласили в Медонскую обсерваторию под Парижем для наблюдения великого противостояния Марса. Проведя большую серию наблюдений на прекрасном большом телескопе и получив замечательно точные зарисовки вида поверхности планеты, Антониади показал, что «каналы» представляют собой неправильные тёмные полосы, образуемые отдельными пятнами различной величины. Уже в 1940-е гг. наземные фотографии подтвердили это, а космические полёты 1965–1976 гг. окончательно закрыли проблему марсианской цивилизации.

Между тем, продолжая наблюдения Марса, Антониади показал, что эта планета – всё же не совсем мёртвое тело: во время противостояния 1924 г. он в течение четырёх ночей наблюдал светящиеся выбросы на краю диска планеты, над областью Эллада. Он подтвердил также оценку периода вращения Марса, полученную ранее Скиапарелли. Свои многолетние наблюдения Антониади изложил в монографии «Планета Марс» (1930), где описал историю изучения этой планеты с 1659 г.

В 1904 г. Антониади занимался археологическими раскопками в Софийском соборе Константинополя. В 1907 г. опубликовал трёхтомный труд с материалами своих изысканий. В последние годы своей жизни провёл ряд исследований по истории астрономии в Древней Греции и Египте; опубликовал книгу «Астрономия Египта». Французское правительство наградило Антониади рыцарским Крестом Почётного легиона, отметив его заслуги как перед наукой, так и перед страной в годы Первой мировой войны 1914–1918 гг. В 1928 г. он принял французское гражданство. Его имя занесено на карты Луны и Марса.

АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП – утверждение о том, что все свойства нашей Вселенной (даже ещё не открытые) должны не противоречить существованию в ней тех объектов, которые нам уже известны, в том числе и человека. Существуют и другие научные формулировки антропного принципа, не различающиеся по существу. Например: свойства Вселенной именно таковы потому, что при других её свойствах возникновение жизни было бы невозможно, и, следовательно, не было бы наблюдателей, способных размышлять о том, почему свойства Вселенной именно такие, как есть. При этом имеются в виду самые фундаментальные свойства: трёхмерность пространства, заряды и массы элементарных частиц, относительная сила физических взаимодействий и т. п.

Иногда различают «слабый антропный принцип» (человек мог возникнуть лишь на определённой стадии эволюции Вселенной, когда для этого появились условия) и «сильный антропный принцип» (Вселенная должна быть такой, чтобы в ней на некоторой стадии эволюции мог появиться наблюдатель). Некоторые философы предлагают такой вариант антропного принципа: Вселенная создана такой, чтобы в ней мог возникнуть и существовать человек. Его явный религиозный оттенок усиливается следующей формулировкой: «Мир столь совершенен, что очевидно был создан разумным Конструктором (сверхинтеллектом)». Некоторые видят в этом доказательство существования Бога. Очевидно, что исходный смысл антропного принципа в этих последних формулировках оказывается полностью потерян.

АНФА (S XLIX, Anthe) – естественный спутник Сатурна. Открыт 30 мая 2007 г. по снимкам зонда «Кассини». Большая полуось орбиты 197,70 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 1,03650 сут. Эксцентриситет орбиты 0,001. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,1°. Размер около 2 км. Масса $5 \cdot 10^{12}$ кг. Блеск 26^m и максимальное угловое расстояние от планеты 32″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

АОЙДЕ (J XLI, Aoede) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2003). Большая полуось орбиты 23 044 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 715 сут. Эксцентриситет орбиты 0,60. Наклонение орбиты к эклиптике 158°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 22{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 3° 21′ 31″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

АПЕКС (лат. *apex* – вершина) – точка на небесной сфере, в направлении которой движется в пространстве наблюдатель на астрономическом объекте или вместе с ним, например на поверхности Земли, вместе с Землёй или вместе со всей Солнечной системой. При этом обязательно следует указывать, относительно чего происходит движение, т. е. с какими объектами связана система отсчёта. Например:

– если наблюдателя помещают на поверхность Земли, то апекс суточного движения наблюдателя совпадает с точкой востока (суточный апекс);

– апекс орбитального движения Земли перемещается в течение года, оставаясь в плоскости её орбиты, т. е. перемещается по эклиптике;

– Солнце движется относительно ближайших звёзд (относительно местного стандарта покоя) со скоростью около 20 км/с с апексом, имеющим приблизительные экваториальные координаты $\alpha = 270°$, $\delta = +30°$ (в созвездии Геркулес). При этом Солнце движется вместе с этими звёздами вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с;

– относительно межзвёздного газа движение Солнца происходит в направлении $\alpha = 258°$, $\delta = -17°$;

– относительно крупных галактик в окрестности Местной группы Солнце движется со скоростью около 300 км/с в направлении галактической долготы $l = 120°$ и широты $b = +35°$. В основном это скорость обращения Солнца вокруг центра Галактики;

– относительно реликтового излучения (можно сказать – относительно Вселенной!) Солнце движется со скоростью около 370 км/с в направлении границы созвездий Лев и Чаша, к точке с экваториальными координатами $\alpha = 11^h 12^m$ и $\delta = -7{,}1°$ (эпоха J2000), что соответствует галактическим координатам $l = 264{,}26°$, $b = +48{,}22°$.

АПЕКС СОЛНЦА – направление, в котором происходит движение Солнца, а фактически – движение всей Солнечной системы. Впервые это движение заметил и приблизительно определил его направление В. Гершель в 1783 г., нанеся на карту звёздного неба собственные движения нескольких ярких звёзд.

На основании собственных движений (μ) и лучевых скоростей (V_r) звёзд, видимых невооружённым глазом (т. е. звёзд до 6^m), выясняется, что по отношению к совокупности этих звёзд Солнце движется к апексу (арех) с экваториальными координатами 18^h, +30° (в созвездии Геркулес, недалеко от Веги). Противоположная точка, от которой удаляется Солнце, называется антиапекс (antapex); её координаты 6^h, –30° (в созвездии Голубь, недалеко от Сириуса).

Геометрический центр некоторой группы звёзд называют её центроидом. Апекс солнечного движения можно определять по отношению к центроидам различных объектов. Движение Солнца относительно центроида звёзд до 6^m (среди которых как близкие карлики, так и далёкие гиганты и сверхгиганты) называют «стандартным движением Солнца» (standard solar motion). Округлённые экваториальные координаты «стандартного апекса»: прямое восхождение $A = 18^h = 270°$, склонение $D = +30°$ (эпоха 1900.0); галактические координаты: долгота $L = 56°$, широта $B = +23°$; а ско-

рость $v_\odot = 19{,}7 \pm 0{,}5$ км/с = 4,15 а.е./год = $2{,}02 \cdot 10^{-5}$ пк/год.

В прямоугольной системе координат, где ось X направлена к центру Галактики, Y — в направлении галактического вращения ($l = 90°$, $b = 0°$) и Z — к северному полюсу Галактики ($b = +90°$), компоненты стандартного движения Солнца составляют: $V_X = +10{,}2$ км/с, $V_Y = +15{,}1$ км/с и $V_Z = +7{,}4$ км/с.

С центроидом наиболее близких звёзд связано так называемое основное движение Солнца (basic solar motion). Его скорость 15,4 км/с в направлении $l = 51°$, $b = 23°$.

Иногда говорят, что движение Солнца к апексу — это его движение относительно местного стандарта покоя. Здесь возможна путаница. В данном случае имеется в виду не динамический местный стандарт покоя (LSR), основанный на движении мнимой точки по круговой галактоцентрической орбите радиуса R_0, а так называемый кинематический местный стандарт покоя, связанный с движением центроида околосолнечных звёзд.

АПЕРТУРА — входное отверстие объектива телескопа, т. е. его главного зеркала или внешней линзы. Обычно апертурой называют диаметр (реже — площадь) этого отверстия. Действующая апертура — диаметр той части объектива, попав на которую свет проходит сквозь всю оптическую систему и достигает приёмника излучения. Как правило, диаметр апертуры совпадает с входным диаметром объектива, однако в некоторых недорогих телескопах внутренние диафрагмы уменьшают эффективную апертуру по сравнению с входным диаметром. Понятие апертуры используется также при описании окуляров и объективов фотокамер.

АПЕРТУРНЫЙ СИНТЕЗ — метод, позволяющий наблюдать объект одновременно несколькими телескопами, объединяя собранное ими излучение. При этом качество изображения по некоторым параметрам соответствует тому, которое могло бы быть получено телескопом с апертурой, равной расстоянию между наиболее удалёнными инструментами, участвующими в синтезе. Этот метод уже несколько десятилетий широко применяется в радиоастрономии, а с недавних пор — и в оптической астрономии, позволяя существенно повышать угловое разрешение в сравнении с каждым из одиночных инструментов. Разрешение современных даже самых больших одиночных радиотелескопов, размеры зеркал которых достигают 50–100 м, составляет всего лишь 1–2′. Дальнейшее повышение разрешающей силы за счёт увеличения размеров зеркал ограничено неизбежным прогибом антенн под действием собственного веса.

Существенно большее угловое разрешение может быть получено методом апертурного синтеза. Распределение радиояркости объекта — различие в интенсивности излучения отдельных его участков — может быть представлено разложением на отдельные гармоники, т. е. синусоидальные пространственные колебания разной частоты (разложением в ряд Фурье). Амплитуды гармоник и их фазы измеряются на радиоинтерферометре с базой переменной длины и ориентации. Длина и ориентация базы определяют частоту пространственной синусоиды, которую выделяет интерферометр из излучения измеряемого объекта. Последовательные наблюдения радиоисточника с базами разной длины и ориентации позволяют измерить амплитуды и фазы гармоник. Суммируя полученные гармоники с учётом их фазы, находят распределение радиояркости исследуемого объекта (синтезируют изображение).

Поскольку длина базы может существенно превышать размер одиночной антенны, метод апертурного синтеза эквивалентен наблюдениям на антенне с громадными размерами или, как говорят, на телескопе с большой апертурой (действующей площадью). Но высокое разрешение достигается ценой большого времени наблюдений. Этим методом были получены распределения радиояркости многих объектов, таких как Лебедь А, Кассиопея А, Телец А (Крабовидная туманность) и др. Разрешение достигало 20″, а в ряде случаев даже нескольких угловых секунд.

Для сокращения времени наблюдений используют многоэлементные системы, образующие одновременно большое число баз разной длины и ориентации. К таким инструментам относится большая антенная решётка (Very Large Array, VLA) Национальной радиоастрономической обсерватории в Нью-Мексико (США); её 27 антенн диаметром 25 м каждая расположены вдоль образующих в виде буквы Y. Разрешение инструмента достигает 1″ на длине волны 10 см. Наблюдения на радиоинтерферометрах со сверхбольшими базами позволяют получить изображение радиоисточника с угловым разрешением до 100 мкс дуги. Но и это не предел, вывод одного из радиотелескопов на орбиту вокруг Земли позволит значительно увеличить базу и достичь ещё более высокого углового разрешения.

АПЛАНАТ — объектив, у которого исправлены сферическая аберрация и кома (но присутствуют астигматизм и дисторсия). Таковы, например, телескопы системы Ричи–Кретьена. Апланат используют в качестве объективов зрительных труб и микроскопов. Простейший апланат состоит из двух склеенных между собой положительной и отрицательной линз.

АПОАСТР — точка орбиты в задаче двух тел, в которой взаимное расстояние между телами максимально. Существует несколько родственных терминов: *апогей* употребляют для описания орбит вокруг Земли, *афелий* — для орбит вокруг Солнца, *апоастр* — для орбит двойных звёзд. При описании небесно-механических задач, не рассматривающих какие-либо конкретные тела, употребляют самый общий термин — *апоцентр*.

АПОГЕЙ (греч. *apogeios* — находящийся далеко от Земли) — наиболее удалённая от Земли точка орбиты Луны или искусственного спутника Земли.

АПОДИЗАЦИЯ — действие над оптической системой, приводящее к изменению распределения интенсивности в дифракционном изображении светящейся точки. Свободная от аберраций оптическая система даёт изображение точки в виде ряда концентрических тёмных и светлых колец. Создавая с помощью фильтра соответствующее распределение амплитуд и фаз на входном зрачке оптической системы, искусственно ослабляют волну на периферийных участках, устраняя ближайшие к центру одно-два светлых дифракционных кольца.

Фактически аподизация — это модернизация инструмента, при которой ценой ухудшения одной из его характеристик удаётся улучшить другую. Например, помещённый перед объективом телескопа нейтральный фильтр с гауссовым распределением пропускания по радиусу, меняющимся от прозрачного в центре до непрозрачного на краю, удваивает размер центрального диска Эри, но подавляет окружающие его дифракционные кольца. В целом это заметно улучшает разрешение двойных звёзд с сильно различающейся видимой яркостью, а также различимость деталей на малоконтрастных изображениях протяжённых объектов — туманностей, планет. В спектроскопии аподизация облегчает обнаружение сателлитов спектральных линий.

АПОДИЗАЦИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ — *см. Оптимизация диаграммы направленности антенны.*

АПОХРОМАТ — объектив, состоящий из трёх и более линз, лучше исправленный относительно хроматической аберрации, чем ахромат. В апохромате в общий фокус сведены лучи трёх разных длин волн, а в суперапохромате — четырёх. В них исправлена также и сферическая аберрация.

АПОЦЕНТР — наиболее удалённая от центрального тела точка эллиптической орбиты. Корень «центр» можно заменить греческим названием небесного тела. Например, если речь идёт об орбите вокруг

Земли, говорят «апогей», вокруг Солнца – «афелий».

АПСИДА (греч. *hapsis* – свод, арка; р. п. *hapsidos*) – экстремальная точка эллиптической орбиты: наиболее или наименее удалённая от фокуса, т. е. от центра притяжения. Ближайшую к фокусу точку называют *перицентр* или *периапсис* (иногда – *периапсида*), а наиболее удалённую от фокуса – *апоцентр* или *апоапсис* (*апоапсида*). Для некоторых орбит используют особые термины: если движение происходит вокруг Солнца, то эти точки называют *перигелием* и *афелием*; если вокруг Земли, то *перигеем* и *апогеем*. У орбит вокруг звёзд их называют *периастром* и *апоастром*, а вокруг Юпитера – *перийовием* и *апойовием*. Большую ось эллиптической орбиты, соединяющую эти две точки и проходящую через центральное тело, называют «линией апсид». В параболе и гиперболе линия апсид – это луч, начинающийся в перицентре и проходящий через центральное тело.

АРГЕЛАНДЕР Фридрих Вильгельм Август (Argelander, Friedrich Wilhelm August) (22.03.1799, Мемель, ныне Клайпеда, Литва, – 17.02.1875, Бонн, Германия) – немецкий астроном. В 1820 г. стал ассистентом Фридриха Бесселя в Кёнигсбергском университете, где занялся позиционными наблюдениями звёзд. В 1832 г. стал директором обсерватории в Хельсинки (Финляндия). Его исследования собственных движений звёзд подтвердили идею Вильяма Гершеля о том, что Солнечная система движется в направлении созвездия Геркулес. В 1837 г. стал профессором астрономии и директором обсерватории Боннского университета. Важнейшей работой Аргеландера стало «Боннское обозрение» – каталог и атлас всех звёзд северного полушария неба ярче 9^m (более 324 тыс. звёзд).

АРГЕНТИНСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОАСТРОНОМИИ (Instituto Argentino de Radioastronomia, IAR) – радиоастрономическая обсерватория в биосферном заповеднике Перейра Ираола, в 20 км от г. Ла-Плата (Аргентина). Обсерватория располагает двумя радиотелескопами с параболическими антеннами, первую из которых, диаметром 30 м, на частоту 1420 МГц начали строить в 1963 г. при содействии Института Карнеги в Вашингтоне.

АРГУМЕНТ ПЕРИГЕЛИЯ – угол между направлениями на восходящий узел и на перигелий орбиты. См. *Элементы орбиты*.

АРИАБХАТА (Ариабата, Aryabhata) (476 – ок. 550), индийский астроном и математик, первый среди индийских математиков, чьи работы и история жизни дошли до нашего времени. Родился в Кусумапуре (близ Паталипутры, Индия). Из двух его сочинений до нас дошло одно – «Ариабхатия» (499 г.), в котором в стихотворной форме изложены математические сведения, необходимые для астрономических вычислений; приведены задачи на составление и решение уравнений, извлечение квадратного и кубического корней и др. Большая часть этой работы посвящена астрономии и сферической тригонометрии. Приведены также 33 правила по арифметике, алгебре и тригонометрии на плоскости. Продемонстрировано исследование неопределённых уравнений с помощью бесконечных дробей. Ариабхата нашёл весьма точное значение числа π (3,1416) и ввёл в тригонометрию функцию $(1 - \cos x)$. Он высказал догадку, что вращение небес – только кажущееся и является следствием вращения Земли вокруг оси. Именем Ариабхаты был назван первый индийский искусственный спутник Земли, запущенный 19.04.1975 с помощью советской ракеты-носителя и предназначенный для изучения Солнца, земной ионосферы и космических рентгеновских источников.

АРИЗОНСКИЙ МЕТЕОРИТНЫЙ КРАТЕР – кратер на Земле глубиной 220 м и диаметром 1200 м, возникший от удара железного метеорита около 50 тыс. лет назад. Находится в штате Аризона (США) близ г. Флагстафф. В кратере и вокруг него обнаружены метеоритные осколки никелистого железа.

АРИСТАРХ САМОССКИЙ (ок. 310–280 гг. до н. э.) – древнегреческий астроном. Разработал гелиоцентрическую систему мира. Определил, что расстояние от Солнца до Земли в десятки раз больше, чем расстояние от Луны до Земли. В действительности оно больше в сотни раз, но для той эпохи и этот результат был большим достижением.

АРИЭЛЬ (U I, Ariel) – естественный спутник Урана. Открыл его 24 октября 1851 г. Уильям Ласселл. Большая полуось орбиты 191 020 км. Орбитальный период 2,52 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0012. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,26°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 1162,2 × 1155,8 × 1155,4 км. Масса около $1{,}4 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,66 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 27 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 560 м/с. Геометрическое альбедо 53%, альбедо Бонда 23%. Видимый блеск $13{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 14″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 60 К; максимальная 84 К.

АРКТУР – α Волопаса, звезда –0,04 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 37 св. лет и имеющая светимость в 110 раз выше солнечной. Ярчайшая звезда к северу от небесного экватора.

АРМИЛЛЯРНАЯ СФЕРА (лат. *armilla* – браслет, кольцо) – древний астрономический прибор для измерения углов между светилами. Состоит из нескольких подвижных колец с визирами, изображающих основные круги небесной сферы – небесный экватор, эклиптику, небесный меридиан, первый вертикал. Изобретение армиллярной сферы, или армиллы, приписывают греческому геометру Эратосфену (ок. 250 до н. э.). В наше время эту конструкцию применяют как учебное наглядное пособие.

АРО, Гильермо (Haro, Guillermo) (21.03.1913, г. Мехико, Мексика, – 26.04.1988) – мексиканский астроном. Открыл много планетарных туманностей, новых звёзд, комету, сверхновую звезду, «голубые» галактики (1956). Независимо от Дж. Хербига открыл (1950–1952) компактные эмиссионные туманности (объекты Хербига–Аро), возникающие в результате активности формирующихся рядом с ними звёзд.

АРП, Хэлтон Кристиан (Arp, Halton Christian, известный также как Chip Arp) (р. 21.03.1927, Нью-Йорк, США) – американский астроном. Открыл много важных астрономических объектов: переменных и новых звёзд, активных и взаимодействующих галактик. Опубликовал «Атлас пекулярных галактик» (1966). Критически относится к теории Большого взрыва.

АРРЕНИУС, Сванте Август (Arrhenius, Svante August) (19.02.1859, Вик, близ Упсалы, Швеция, – 2.10.1927, Стокгольм, Швеция), шведский физико-химик и астроном. Нобелевская премия по химии (1903) за теорию электролитической диссоциации (1887). Установил (1889) зависимость скорости химических реакций от температуры (уравнение Аррениуса). Изучал солнечную корону и эволюцию звёзд и планет. Впервые рассмотрел идею парникового эффекта. Автор гипотезы панспермии о переносе зародышей жизни с одной планеты на другую.

АРХЕ (J XLII, Arche) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2002). Большая полуось орбиты 23 717 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 746,2 сут. Эксцентриситет орбиты 0,259. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр 3 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 22{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°28′56″ для земного наблюдателя в момент средней оп-

позиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

АРХЕОАСТРОНОМИЯ — изучение астрономических представлений древних людей. Как научное направление археоастрономия сформировалась во второй половине XX в. Собственно археоастрономия изучает археологические памятники и древние артефакты для поиска в них астрономического значения. Как междисциплинарная наука, археоастрономия использует результаты, полученные археологией и астрономией, а также историей науки, историей религии, этнологией, лингвистикой, палеоклиматологией и т. д.

К археоастрономии примыкает этноастрономия, раскрывающая космологические и космогонические представления древних по фольклорным и этнографическим данным, а также при изучении древних рисунков (петроглифов). Обе эти дисциплины, археоастрономия и этноастрономия, являются разделами более широкой науки — палеоастрономии, изучающей древние астрономические события.

АРХИВ ДАННЫХ КТХ — электронный архив, включающий около 100 тыс. изображений более чем 20 тыс. объектов, полученных космическим телескопом «Хаббл». Архив доступен по адресу http://hla.stsci.edu/hlaview.html.

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ВЕТВЬ ГИГАНТОВ — область на диаграмме Герцшпрунга–Рассела, расположенная над и почти параллельно ветви красных гигантов; отсюда и название «асимптотическая». Населяют асимптотическую ветвь сильно проэволюционировавшие звёзды малой и средней массы ($0{,}4$–$10\,M_\odot$), имеющие гелиевое ядро, окружённое слоевым источником термоядерного горения гелия. Над этим слоем располагается слоевой источник горения водорода. Хотя звёзды асимптотической ветви проэволюционировали существенно дальше, чем звёзды, лежащие на ветви красных гигантов, нередко и те и другие называют (хотя это не вполне корректно) красными гигантами, поскольку они очень велики по размеру и цвет у них красноватый.

Эволюция звёзд асимптотической ветви гигантов протекает следующим образом. Вначале, ещё на ветви красных гигантов, источником их излучения служит слой горения водорода, располагающийся над небольшим гелиевым ядром. Постепенно в результате сгорания водорода ($4\,^1\mathrm{H} \to {}^4\mathrm{He}$) масса лежащего под ним гелиевого ядра растёт, увеличивается его плотность и температура, и происходит «гелиевая вспышка» ($3\,{}^4\mathrm{He} \to {}^{12}\mathrm{C}$), вызывающая мощный тепловой импульс. Правда, на поверхности звезды этот импульс почти не заметен. В результате сгорания гелия увеличивается масса углеродно-кислородного ядра, и поэтому со временем размер и светимость звезды возрастают.

Когда звезда добирается до асимптотической ветви гигантов, она становится пульсирующей переменной (миридой). Звёздный ветер, рождающийся в оболочке звезды, выдувает её наружные слои с темпом 10^{-8}–$10^{-4}\ M_\odot$/год. В потоке ветра образуются частицы пыли из углерода, выносимого из ядра конвективными потоками. В дальнейшем эти пылинки сыграют важную роль при формировании межзвёздных облаков и далее — планетных систем.

Из-за большой потери массы звезды асимптотической ветви гигантов не становятся сверхновыми. Когда их оболочка уже почти рассасывается, образуется протопланетарная туманность, которая постепенно превращается в планетарную туманность, а ядро звезды становится белым карликом с массой $0{,}6$–$0{,}7\ M_\odot$.

АСПЕКТ — видимое с Земли положение планеты по отношению к Солнцу: противостояние, квадратура (восточная или западная), наибольшая элонгация (восточная или западная), соединение (для внутренней планеты — верхнее или нижнее). Синонимом аспекта служит «конфигурация».

АССОЦИАЦИЯ ЗВЁЗДНАЯ — разреженная группировка молодых звёзд, возраст которых обычно не превышает нескольких десятков миллионов лет. Типичный размер звёздной ассоциации 50–100 пк. Количество наблюдаемых звёзд — от нескольких единиц до нескольких сотен. От молодых звёздных скоплений ассоциации отличаются большим размером и меньшей пространственной плотностью звёзд. Поэтому звёзды ассоциаций слабо связаны друг с другом силой взаимного тяготения и, в отличие от звёзд рассеянных и шаровых скоплений, практически свободно разлетаются от места совместного формирования.

Рождение звёздных ассоциаций связано с формированием звёзд в комплексах молекулярных облаков. Впоследствии газ может покинуть область звёздообразования, что приведёт к медленному расширению и разлёту некоторых из родившихся там звёзд; из них и формируется ассоциация. Примером звёздной ассоциации служит обширная группа молодых голубых звёзд в созвездии Орион. Ассоциации наблюдаются не только в нашей Галактике, но и в соседних галактиках. Различают три типа ассоциаций:

OB-ассоциации содержат яркие массивные звёзды спектральных классов O и B, хотя при внимательном поиске в них обнаруживаются и маломассивные звёзды;

T-ассоциации, типичное население которых — молодые маломассивные переменные звёзды типа T Тельца;

R-ассоциации, в которых звёзды спектральных классов B0–A2 окружены отражательными газово-пылевыми туманностями (R от *reflection* — отражение). В последнее время R-ассоциации перестают выделять в самостоятельный класс.

АССОЦИАЦИЯ УНИВЕРСИТЕТОВ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (Association of Universities for Research in Astronomy, AURA) — объединение 29 университетов США и 6 международных организаций для эксплуатации крупных астрономических приборов. Включает в себя Институт Космического телескопа, Национальную солнечную обсерваторию, телескопы «Джемини», телескопы на обсерваториях Китт-Пик (США) и Серро-Тололо (Чили).

АСТЕРИЗМ — характерная группа звёзд, легко узнаваемая и имеющая собственное название. Большинство астеризмов состоит из ярких звёзд, принадлежащих одному или нескольким соседним созвездиям. Например: Ковш в созвездии Большая Медведица, Пояс в созвездии Орион, Голова в созвездии Дракон, Летний треугольник — Вега (α Лиры), Денеб (α Лебедя) и Альтаир (α Орла); Большой квадрат из звёзд в Андромеде и Пегасе. Некоторые астеризмы состоят из тусклых звёзд, например Плеяды в созвездии Телец. Астеризм — древний термин; в начале XVII в. он ещё означал «созвездие», но затем был потеснен термином *constellatio* и стал обозначать, как правило, более мелкую группу звёзд — часть созвездия, характерную фигуру из его ярких звёзд. До сих пор в быту, говоря о «созвездиях», мы имеем в виду астеризмы (например, нередко можно услышать «созвездие Плеяды»), тогда как профессиональные астрономы называют созвездиями площадки небесной сферы, включающие как астеризм из ярких звёзд (если они там есть), так и многочисленные тусклые звёзды и прочие небесные объекты.

АСТЕРОИДЫ — малые тела Солнечной системы, не демонстрирующие (в отличие от комет) испарение вещества с поверхности. В большинстве своём это твёрдые тела неправильной формы, обращающиеся вокруг Солнца, в основном между орбитами Марса и Юпитера; эту область называют «поясом астероидов», или «главным поясом астероидов», имея в виду, что орбиты некоторых лежат вне этой области. Крупных астероидов мало: только у 30 из них диаметр превышает 200 км. Крупнейшие — Паллада (538 км) и Веста (526 км). Они настолько массивны, что под действием собственной гравитации приняли почти сферическую форму. Ещё око-

ло 250 имеют диаметры до 100 км; астероидов с диаметрами более 1 км порядка 100 тыс. По оценкам, в Солнечной системе существуют миллионы астероидов размером с булыжник (размер порядка 10 м). Вероятно, они образовались вследствие дробления при взаимных столкновениях более крупных тел. Небольшие астероиды имеют весьма причудливую форму. Некоторые образуют двойные системы или имеют спутники. В прошлом астероиды часто называли «малыми планетами», но теперь этот термин не используется (чтобы не было путаницы с планетами-карликами).

В конце 1980-х гг. электронные приёмники света начали вытеснять фотопластинки, что значительно облегчило труд «охотников за астероидами», переложив монотонную работу по поиску малых планет на компьютер. К 1995 г. было открыто около 18 000 астероидов, более 7000 из них наблюдалось в противостоянии не менее двух раз, а у 5000 были точно вычислены элементы орбит, им присвоили номера и многим дали собственные имена. К 2000 г. появились автоматические телескопы, наземные и космические, вообще не требующие ночного труда наблюдателя. В результате к 2012 г. число зарегистрированных астероидов превысило 500 тыс.; количество астероидов с надёжно вычисленными орбитами и, следовательно, получивших порядковые номера, вплотную приблизилось к 200 тыс., а собственные имена имеют уже около 18 тыс. астероидов. Некоторые из них сближаются с орбитой Земли и даже пересекают её, что делает возможным их столкновение с Землёй. Мелкие осколки астероидов регулярно падают на Землю в виде метеоритов.

АСТИГМАТИЗМ (греч. *stigme* — точка) — аберрация оптической системы, проявляющаяся в том, что изображение точки, не лежащей на главной оптической оси, представляет собой не точку, а две взаимно перпендикулярные линии, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. В промежуточных плоскостях изображения имеют вид эллипсов с равномерным распределением освещённости. Существуют две плоскости — меридиональная и перпендикулярная ей сагиттальная, в которых эллипсы превращаются в прямые отрезки. Центры кривизны в обоих сечениях называются фокусами, а расстояние между ними служит мерой астигматизма. На равном расстоянии от фокусов находится поверхность, на которой искажение наименьшее, поэтому её называют поверхностью наилучшей фокусировки.

Причина астигматизма у симметричных систем состоит в неодинаковой кривизне оптических поверхностей в разных плоскостях сечения падающего светового пучка. Астигматизм глаза обусловлен неравномерной кривизной роговой оболочки или хрусталика; компенсируется цилиндрическими линзами. Астигматизм сложного объектива может быть исправлен соответствующим подбором линз; такие системы называют анастигматами.

АСТРАГЛОССА (Astraglossa) — одна из первых пиктографических систем для межзвёздной связи, предложенная британским учёным Ланселотом Хогбеном (Lancelot Thomas Hogben, 1895–1975). В 1952 г. он описал детали этой системы на лекции в Британском межпланетном обществе, назвав её «Астраглосса, или Первый шаг к небесному синтаксису». Хогбен предложил представлять числа в виде отдельных импульсов (например, пять импульсов для числа 5), а математические символы, такие как «плюс», «минус» или «равно», в виде определённого сигнала, то есть пиктограммы.

АСТРОБИОЛОГИЯ — наука, посвящённая поиску жизни за пределами Земли и изучению возможности её существования в условиях, отличных от земных. Термин «астробиология» широко распространён, но не общепринят: наряду с ним нередко используется термин «экзобиология», предложенный в 1960 г. нобелевским лауреатом, генетиком Джошуа Ледербергом (1925–2008). В русскоязычной литературе под экзобиологией обычно понимают экспериментальный поиск жизни в пределах Солнечной системы. В научной литературе употребляется также термин «биоастрономия» как синоним поиска внеземной жизни. Понятие «астробиология» охватывает очень широкий спектр направлений исследований. Астробиологи изучают жизнь в экстремальных условиях на Земле, поведение биологических объектов в условиях космического полёта (космическая биология), особенности функционирования человеческого организма в космосе (космическая медицина). Они участвуют в исследовании условий на объектах Солнечной системы и поиске возможных проявлений жизни на них, в поиске планетных систем у иных звёзд, в поиске внеземного разума (SETI), в решении проблемы происхождения жизни на Земле и т. п.

Современные условия на большинстве объектов Солнечной системы исключают наличие жизни. Наиболее привлекательными для её поиска сейчас считаются Марс, Европа (спутник Юпитера) и Энцелад (спутник Сатурна). Прямые поиски жизни до сих пор проводились лишь на Луне и Марсе, но не дали положительных результатов. Однако последние исследования Марса, выявившие не только следы воды, но и её наличие, оставляют некоторую надежду. В отношении Европы и Энцелада также планируются биологические эксперименты. Попытки обнаружить жизнь на других телах с помощью автоматических аппаратов основываются на предположении, что жизнь на них имеет ту же углеродную основу, что и на Земле. Возможность жизни на другой основе (аммиак, кремний) считается маловероятной.

Чем бы ни закончился поиск внеземной жизни в пределах Солнечной системы, астробиологи имеют реальный шанс обнаружить жизнь в миллионах иных планетных систем, населяющих нашу Галактику. Только в окрестности Солнца уже открыто более 700 планетных систем (см. *Экзопланеты*). Сначала выявлялись планеты-гиганты, но за последние годы обнаружено несколько планет земного типа. В принципе возможно спектральное изучение их атмосфер для поиска в них кислорода, паров воды и других индикаторов жизни. К сожалению, пока нет доказательств, что жизнь существует где-либо за пределами Земли. Не обнаружено и признаков деятельности внеземного разума.

Фрагменты истории астробиологии

В идейном плане появлению астробиологии предшествовали общефилософские взгляды на распространённость жизни вне Земли, выраженные, например, Джордано Бруно в работе «О бесконечности, Вселенной и мирах» (1584). Первые попытки наблюдать проявление внеземной жизни связаны с телескопическим изучением поверхностей Луны и Марса; сообщения об их изменчивости вызвали к жизни гипотезу о растительном покрове этих планет. Одним из авторов и страстным пропагандистом этой гипотезы был французский астроном Камиль Фламмарион (1842–1925), утверждавший идею жизни на планетах в своей книге «Множественность обитаемых миров» (1862) и в капитальном трёхтомном труде «Планета Марс и условия обитаемости на ней» (1892–1909 гг.).

Мощный импульс развитию идеи жизни в космосе дало великое противостояние Марса 1877 г. Именно тогда итальянский астроном Джованни Скиапарелли (1835–1910) открыл знаменитые марсианские «каналы». Давая им это название, Скиапарелли просто следовал астрономической традиции: поскольку тёмные пятна астрономы называли «морями» — сначала на Луне, а затем и на Марсе, — то соединяющие их тёмные линии естественно было назвать каналами (итал. *canali*). Скиапарелли понимал, что Марс, скорее всего, планета сухая, и он оказался прав. Но некоторые энтузиасты восприняли «каналы» всерьёз и даже полагали, что это искусственные сооружения, созданные марсианами для орошения своих засушливых земель.

Одним из этих энтузиастов, много сделавшим для изучения Марса и других пла-

нет, был американский астроном Персиваль Ловелл (1855–1916), на свои средства построивший великолепную обсерваторию в Аризоне. В 1894–1896 гг. он составил и опубликовал карту Марса, на которую нанёс множество одиночных и сдвоенных каналов, прямых как стрела, тянущихся на тысячи километров. В многочисленных комментариях Ловелла и в его прекрасно изданных книгах о Марсе речь шла не просто о жизни на этой планете, но и о разумных её обитателях. Ловелл многих заразил своим энтузиазмом: именно тогда, в 1898 г. был написан самый известный роман о нашествии марсиан на Землю — «Война миров» Герберта Уэллса. Английский литератор создал свой шедевр под впечатлением свежих астрономических открытий. Позже, в XX в., эта тема разрабатывалась крупнейшими писателями-фантастами, в немалой степени стимулируя научные изыскания.

Изучая сезонные изменения на поверхности Марса, Ловелл заключил, что некоторая часть поверхности покрыта растительностью (во всяком случае, полосы вдоль каналов). Книга Ловелла «Марс как пристанище жизни» (1908) имела успех среди энтузиастов астробиологии. Одним из них был пулковский астроном Гавриил Адрианович Тихов (1875–1960), в течение 40 лет изучавший физические условия на Марсе в основном фотометрическими методами. Учёный полагал, что на поверхности планеты существуют участки, покрытые растительностью. В связи с этим он выполнил обширные исследования по определению спектральной отражательной способности земных растительных сообществ в разных регионах, пытаясь обнаружить растения с цветовыми характеристиками, аналогичными некоторым участкам марсианской поверхности. Своё направление исследований, пограничное между астрономией и ботаникой, он называл «астроботаникой». Ныне этот термин не употребляется.

Современная астробиология основывается на достижениях биологии, астрономии, химии. В экспериментальном плане использует возможности космонавтики для изучения Солнечной системы (см. *Поиск жизни в Солнечной системе*), а также методы астрономии и радиоастрономии для изучения органической составляющей межзвёздной среды и поиска планетных систем, подобных Солнечной системе. Поскольку существование таких планетных систем уже доказано и даже получены первые оптические изображения нескольких экзопланет, на повестке дня стоят их спектральные исследования для поиска «биомаркеров» — деталей в спектре, указывающих на наличие биосферы.

Основные проблемы астробиологии — изучение обстоятельств зарождения и развития жизни на Земле, выяснение граничных условий органической жизни, поиск жизни на планетах Солнечной системы, исследование химической (предбиологической) эволюции органического вещества (см. *Зарождение жизни*). Одним из способов решить некоторые проблемы астробиологии представляется поиск внеземных цивилизаций.

Границы органической жизни

Диапазон условий, пригодных для развития органической жизни, выясняется в ходе исследований организмов, обитающих в экстремальных условиях: в вечной мерзлоте, в геотермальных источниках, в холодных пустынях («сухих долинах») Антарктиды, в глубокозалегающих породах земной коры. Зародившись и развиваясь в комфортных условиях нашей планеты, жизнь тем не менее демонстрирует широкий диапазон возможностей и механизмов приспособления. Особо экстремальные условия внешней среды выдерживают некоторые микроорганизмы. Одни из них способны жить в горячей (до 150 °C) воде, другие приспособились к низкой температуре (до −20 °C); многие бактерии размножаются в очень кислых или щелочных условиях, в концентрированных растворах солей, в отсутствие кислорода и света, в присутствии большого количества тяжёлых металлов и даже при очень высоком уровне радиации. Некоторые микроорганизмы выдерживают низкое давление в верхних слоях атмосферы (до высоты 85 км), другие — давление воды в 1000 атм на дне океанских впадин. Практически полное высыхание, нагревание до 240 °C и охлаждение до −273 °C выдерживают в «пассивном» состоянии споры и цисты микроорганизмов — бактерий, водорослей, грибов.

Однако такой широкий диапазон условий, в которых могут сохранить жизнь некоторые современные биологические виды, не должен вводить нас в заблуждение: устойчивость жизни — это результат её длительной эволюции и высокой специализации видов. В истории земной биосферы было множество эпизодов массового вымирания животных и растений, причём не только в результате конкурентной борьбы, но и в ответ на изменение внешних условий. Как выяснили биологи, земные формы жизни особенно чувствительны к наличию жидкой воды; даже во льдах и морозильных камерах микроорганизмы размножаются лишь в тонкой плёнке воды на поверхности кристаллов. Поэтому даже на Земле жизнь существует не везде: например, антарктические «сухие долины» практически стерильны.

Существенно расширились представления о границах жизни в конце 2010 г.: астробиолог NASA Фелиса Вольф-Саймон (Felisa Wolfe-Simon) и её коллеги сообщили об открытии жизни на основе мышьяка в виде бактерии (штамм GFAJ-1). В природе эти бактерии живут в неблагоприятных условиях окружающей среды вблизи озера Моно в штате Калифорния (США), вода которого отличается высоким содержанием щелочей и солей, в частности высокой концентрацией солей мышьяка. Впервые на Земле исследователи обнаружили микроорганизм, способный жить и размножаться, используя токсичный для других форм жизни мышьяк. Во всех клеточных компонентах этой бактерии мышьяк занимает место фосфора в органических молекулах.

Условия для зарождения жизни вряд ли принципиально отличаются от условий для её поддержания. Биологи не видят иной основы жизни, кроме органических молекул — биополимеров. Если для некоторых из них, таких как ДНК, важнейшим свойством является последовательность звеньев-мономеров, в которой закодирована наследственная информация организма, то для большинства других молекул — белков, в особенности ферментов — наиболее важна пространственная форма, которая очень чувствительна в температуре. Стоит температуре повыситься, как белок денатурируется — теряет свою пространственную конфигурацию, а вместе с ней и биологические свойства (все видели как белок куриного яйца «сворачивается» от тепла). Поэтому самые жёсткие требования, необходимые для жизни, предъявляются к температуре.

Зоны жизни вокруг звёзд

Чем бы ни закончился поиск внеземной жизни в пределах Солнечной системы, астробиологи уже имеют реальный шанс обнаружить жизнь в миллионах иных планетных систем, населяющих нашу Галактику. Только в окрестности Солнца за последние годы обнаружено более 700 планетных систем (см. *Экзопланета*). В них пока выявлены лишь планеты-гиганты и «суперземли», но уже ясно, что обнаружение планет земного типа — дело ближайших лет. В принципе возможно спектральное изучение их атмосфер для поиска в них кислорода как индикатора жизни. Но пока, к сожалению, нет доказательств, что жизнь существует где-либо за пределами Земли.

Для прогнозирования условий в иных планетных системах привлекаются астрофизические данные, позволяющие определять характеристики так называемых зон жизни вокруг звёзд и центра Галактики. Необходимым для развития жизни считается наличие звезды умеренной массы, обладающей длительным периодом спокойной эволюции, а также планеты с полупрозрачной атмосферой, движущейся по круговой орбите в определённом диапазоне расстояния от этой звезды. Имеет значение возраст звезды, определяющий её химический состав, а также орбита звезды в Галактике, определяющая частоту пересечения ею спиральных рукавов, где условия для жизни

считаются не столь благоприятными. Эти расчёты позволяют прогнозировать наиболее перспективные места для поиска внеземной жизни, в том числе разумной.

Жизнь, как и любой другой термодинамический процесс, требует для своего поддержания неравновесных условий. На простейшем примере паровой машины или двигателя внутреннего сгорания легко понять, что если температуры нагревателя и холодильника одинаковы, то работать машина не будет. На более сложном уровне это верно и для живого организма. Источником энергии для земной биосферы служит солнечный свет, излучённый поверхностью звезды при температуре 5600 °С, а окружающий нас «холодильник» (земная атмосфера) имеет среднюю температуру 15 °С. Чтобы на поверхности планеты поддерживались неравновесные условия, планете необходимо иметь достаточно прозрачную атмосферу, иначе – даже при благоприятной температуре у поверхности планеты – условия там будут как в термостате: вещество и излучение будут иметь одинаковую температуру. Поэтому планеты земного типа с их полупрозрачными атмосферами более благоприятны для жизни, чем планеты-гиганты.

Температура на поверхности планеты земного типа, имеющей полупрозрачную атмосферу, в основном зависит от мощности излучения центральной звезды и расстояния до неё. Если считать обязательным условием развития жизни существование жидкой воды на поверхности планеты, то её температура должна быть заключена в диапазоне от 0 до 100 °С. Очевидно, что вокруг каждой звезды существует диапазон расстояний, где для планеты с орбитой близкой к круговой это условие выполняется. Эту область принято называть «зоной жизни». Расчёты показывают, что у большинства солнцеподобных звёзд, обладающих планетной системой, найдётся хотя бы одна планета с условиями, пригодными для развития жизни (см. *Зона жизни*).

Межзвёздные обитаемые планеты? В рамки темы, казалось бы, не вписывается идея о жизни на планетах-скитальцах, потерянных своими звёздами, но эта идея обсуждается, и кто знает, какие сюрпризы готовит нам будущее.

Речь идёт о том, что одинокие планеты могут «бродить» в межзвёздном пространстве. Само по себе это вполне возможно. Скажем, не раз обсуждалась идея о том, что значительная доля скрытой (невидимой) массы Галактики могла бы быть заключена в межзвёздных планетах-гигантах типа Юпитера. В 1999 г. астроном Дэйв Стивенсон (Калифорнийский технологический институт) предположил, что помимо «юпитеров» в пространстве между звёздами могут встречаться и планеты земного типа. Стивенсон считает, что на заре существования Солнечной системы в ней могла быть дюжина землеподобных планет на вытянутых орбитах, пересекающих орбиту Юпитера. У них было два варианта эволюции: либо столкнуться с Юпитером, либо после тесного сближения с ним навсегда покинуть Солнечную систему. Законы небесной механики говорят, что второй вариант осуществлялся чаще.

Какова же судьба потерянных планет? Стивенсон считает, что планеты-скитальцы вполне могут быть обитаемыми. К моменту вылета из своей системы такая планета могла приобрести плотную атмосферу из молекулярного водорода, способную сохранять её внутреннее тепло, выделяющееся при распаде радиоактивных элементов, и поддерживать на поверхности температуру и давление, допускающие существование жидкой воды. Ну, а от воды недалеко и до жизни!

Конечно, речь может идти только о наиболее примитивных формах жизни, поскольку естественная радиоактивность – слабый источник энергии. Но в принципе возможность межзвёздной жизни ещё шире открывает дорогу идее панспермии: нельзя исключить, что подобные «переносчики семян» путешествуют от одной планетной системы к другой. Это предположение существенно расширяет сферу приложения астробиологии.

Открытие экзопланет и начало второго этапа исследований Марса автоматическими зондами стимулировало появление исследовательских центров по астробиологии: в США – NASA Astrobiology Institute (NAI), во Франции – Groupement de Recherche en Exobiologie (GDR Exobio), в Великобритании – United Kingdom Astrobiology Forum (UKAF), в Австралии – Australian Centre for Astrobiology (ACA), в Испании – Centro de Astrobiologia (CAB) и др. Их работу координируют European Exo/Astrobiology Network Association (EANA), а также International Astrobiology Circle (IAC). В рамках Международного астрономического союза действует комиссия №51 «Биоастрономия: поиск внеземной жизни». Это говорит о том, что астробиология находится на этапе бурного роста.

АСТРОБЛЕМА (*от astro...* и греч. *blema* – рана, т. е. «звёздная рана») – геологическая структура, возникшая на месте древнего метеоритного кратера. Термин предложен в 1960 г. американским геологом Р. С. Дицем. Астроблема состоит из линзовидной брекчии, расположенной под дном кратера, полностью или в значительной части уничтоженного эрозией и погребённого под наносным материалом. Под брекчией залегают трещиноватые коренные породы. Образование брекчии и трещиноватости связано с взрывным действием упавшего метеорита, образовавшего кратер. На Земле известно около 100 астроблем.

АСТРОБОТАНИКА – дисциплина, изучающая цветовые и спектральные характеристики планет с целью обнаружения на них растительного покрова. Этот термин ввёл пулковский астроном Гавриил Адрианович Тихов (1875–1960), который в течение 40 лет изучал физические условия на Марсе фотометрическими методами. Полагая, что на поверхности планеты существуют участки, покрытые растительностью, Тихов выполнил обширные исследования спектральной отражательной способности земных растительных сообществ в разных регионах, пытаясь обнаружить растения с цветовыми характеристиками, аналогичными некоторым участкам марсианской поверхности. Эту пограничную между астрономией и ботаникой область он и назвал «астроботаникой». Ныне этот термин не употребляется.

АСТРОГНОЗИЯ (лат. *astro-* – звёздный и греч. *gnosis* – познание) – 1. Описание звёздного неба, каким оно представляется невооружённому глазу. 2. Знание звёздного неба и умение ориентироваться в странах света на местности и во времени по нему.

АСТРОГРАФ – оптический телескоп, предназначенный для фотографирования небесных объектов. Обычно астрографами называют короткофокусные рефракторы, позволяющие фотографировать сравнительно большую область неба. Поэтому объектив астрографа должен быть достаточно широкоугольным (несколько угловых градусов), ахроматическим, исправленным для того спектрального диапазона, к которому чувствителен приёмник излучения (если это фотопластинка, то к голубым и зелёным лучам). Большинство астрографов построено в конце XIX и начале XX в.

АСТРОДИНАМИКА – раздел небесной механики, посвящённый изучению движения искусственных небесных тел: спутников Земли (ИСЗ), спутников Луны (ИСЛ), межпланетных зондов и т. п.

АСТРОКЛИМАТ – совокупность атмосферных факторов, влияющих на качество астрономических наблюдений. Важнейшие из них – прозрачность воздуха, степень его однородности (влияющая на чёткость изображения объектов), величина фонового свечения атмосферы, суточные перепады температуры и сила ветра.

Говоря о наземных астрономических наблюдениях, следует помнить, что они производятся со дна воздушного океана. Сжатая до плотности воды, наша атмосфера имела бы толщину 10 м. Представьте, что вы наблюдаете в телескоп звёзды со дна водоёма такой глубины. Практически этим и заняты астрономы, работающие на уровне моря. Волнение воздуш-

ного океана, плавающие в нём облака и пыль, свечение газов и поглощение ими света звёзд — всё это вынуждает астрономов «стремиться к всплытию», т. е. поднимать свои приборы в верхние слои атмосферы, а ещё лучше — в космос.

Как выяснилось, качество телескопического изображения снижается главным образом из-за помех, вносимых приземным слоем атмосферы. Поверхность Земли благодаря собственному тепловому излучению в ночное время значительно охлаждается и охлаждает прилегающий к ней слой воздуха. Изменение температуры воздуха на 1 °С изменяет его показатель преломления на 10^{-6}, что уже сказывается на качестве изображения. На изолированных горных вершинах толщина приземного слоя воздуха со значительным перепадом температуры может достигать нескольких десятков метров. В долинах и на равнинных местах в ночное время этот слой значительно толще, он может составлять сотни метров. Этим объясняется выбор мест для астрономических обсерваторий на отрогах горных хребтов и на изолированных вершинах, откуда более плотный холодный воздух может стекать в долины. Высоту башни телескопа выбирают такой, чтобы инструмент находился выше основной области температурных неоднородностей. Разумеется, стратосферные и космические обсерватории в этом смысле более предпочтительны.

Строительство обсерваторий высоко в горах, размещение телескопов на самолётах, аэростатах и, наконец, на борту космических аппаратов позволяют в той или иной степени избежать вредного влияния атмосферы, но создают новые трудности, прежде всего финансовые. Особенно дорогостоящи космические обсерватории; поэтому, за редким исключением, они создаются для наблюдения тех видов излучения, которые совсем не проходят сквозь атмосферу к поверхности Земли, например рентгеновского или далёкого инфракрасного излучения. Для наблюдения в оптическом диапазоне астрономы до сих пор размещают большую часть своих приборов на поверхности Земли, но при этом стараются выбирать место и создавать условия, максимально выгодные для наблюдений.

Прозрачность атмосферы

В оптическом диапазоне прозрачность земной атмосферы довольно велика: свет звезды, находящейся в зените, при наблюдении с уровня моря ослабляется на 25–50% (слабее — у красного конца спектра, сильнее — у голубого), а с высоты современной горной обсерватории (2500–3000 м) в среднем на 20%. Чтобы сравнивать наблюдения одиого объекта, проведённые в разных обсерваториях, необходимо внести индивидуальную для каждой обсерватории поправку за поглощение в зените (как говорят астрономы, «вынести наблюдения за атмосферу»). При этом необходимо учесть, что наблюдения практически никогда не проводятся точно в зените, а атмосферное поглощение меняется в зависимости от высоты светила над горизонтом. При наблюдении звезды в зените луч света проходит минимальный путь через атмосферу и поэтому испытывает минимальное поглощение. Чем больше угловое расстояние звезды от зенита, тем длиннее путь луча в атмосфере и соответственно сильнее ослабление света.

Для того чтобы исправить наблюдаемую яркость светила за дополнительное поглощение света в атмосфере (как говорят, «привести наблюдения к зениту»), нужно к наблюдаемой звёздной величине прибавить следующие величины (Δm):

Высота звезды над горизонтом	Поправка Δm
90°	0,0
70	0,01
50	0,06
40	0,12
30	0,23
20	0,43
15	0,65
10	0,99
5	1,77
3	2,61

Эти поправки даны для высоты местности на уровне моря; при увеличении высоты они уменьшаются. При этом имеется в виду, что качество неба отличное. При худшем качестве неба (высокая влажность или запылённость, перистые облака) поправка становится всё больше и неопределённее, особенно вблизи горизонта.

В ультрафиолетовом (УФ) диапазоне прозрачность атмосферы резко снижается: для волн короче 280 нм она практически непрозрачна. В инфракрасном (ИК) диапазоне прозрачность атмосферы очень неоднородна: существует несколько мощных полос поглощения молекулами кислорода и воды. Поэтому для наблюдения в близком ИК-диапазоне телескопы устанавливают в сухих высокогорных районах, например в чилийской пустыне Атакама или на вершинах древних гавайских вулканов (высота более 4000 м). В дальнем ИК- и в УФ-диапазоне наблюдения возможны только с космических станций.

Качество изображения

При выборе места для строительства обсерватории астрономов интересует в первую очередь количество ясного ночного времени. Оно измеряется в суммарном годовом количестве часов безоблачного неба в период астрономической ночи, когда погружение Солнца под горизонт превосходит 18° и уже не заметны сумеречные явления. Для старых университетских обсерваторий, размещённых вблизи крупных городов Европы, это время составляет порядка 200–300 часов в год (Пулково, Рига, Москва); для горных обсерваторий, располагающихся в южной части бывш. СССР (Крым, Кавказ, Казахстан, Узбекистан) это 1000–1500 часов, а для наиболее современных обсерваторий в горах Чили и на Гавайях — 2500–3000 часов.

Однако даже совершенно ясная ночь может не удовлетворять астрономов по качеству изображения объектов. Воздушные слои разной плотности по-разному преломляют световой луч. Если воздух спокоен, то это приводит лишь к смещению изображения как целого (см. *Атмосферная* рефракция). Но если слои воздуха с различной температурой, а следовательно, и плотностью хаотически перемешаны, то изображение звезды дрожит и размывается, мелкие детали на поверхности планет становятся не видны, что делает невозможным измерение точного положения и яркости звёзд.

Качество изображения обычно характеризуют угловым диаметром кружка, в виде которого изображение звезды предстаёт в телескопе. Приемлемым для наблюдений считается качество изображения в 2–3″, весьма хорошим — в 1″. На лучших высокогорных обсерваториях бывают изображения в 0,5″ и даже 0,35″. Далеко не каждая ясная ночь отличается высоким качеством изображения. В частности, ветреная погода ухудшает качество изображений — звёзды сильно дрожат и размываются; это связано с усилением турбулентности в атмосфере.

Таким образом, важным фактором астроклимата является ветер в приземном слое атмосферы. Перемешивая слои холодного и тёплого воздуха, он вызывает появление неоднородностей плотности в столбе воздуха над инструментом. Неоднородности, размер которых меньше диаметра телескопа, приводят к дефокусировке изображения. Более крупные флуктуации плотности (несколько метров и крупнее) не вызывают резких искажений фронта волны и приводят в основном к смещению, а не к дефокусировке изображения.

В верхних слоях атмосферы также наблюдаются флуктуации плотности и показателя преломления воздуха. Но эти возмущения не влияют заметно на качество изображений, даваемых оптическими приборами, так как температурные градиенты там значительно меньше, чем в приземном слое. Эти слои вызывают не дрожание, а мерцание звёзд.

Поскольку крупный телескоп стоит очень дорого, а эффективность его работы прямо зависит от астроклимата в пункте наблюдения, астрономы посвящают

немало сил выбору места для строительства обсерватории. Предварительный отбор перспективных мест производится на основе метеорологической информации, а затем организуются многомесячные (иногда и многолетние) экспедиции для изучения выбранных мест. С помощью небольших экспедиционных приборов, имитирующих наблюдение с крупным телескопом, проводятся измерения качества изображений звёзд в разные сезоны года.

Для выбора места установки крупных телескопов широко применяется исследование астроклимата двухлучевым прибором (ДЛП). Расстояние между пучками лучей, поступающими в ДЛП, выбирается приблизительно равным диаметру будущего телескопа. ДЛП позволяет изучить дрожание для лучей, соответствующих краевой зоне зеркала телескопа, которая наиболее эффективно собирает свет. Результаты этих исследований дают возможность определить качество изображений, которые будет давать крупный телескоп в аналогичных условиях.

К важным этапам исследования астроклимата относится изучение микропульсаций температуры с помощью малоинерционных термометров. Поднимая эти термометры над поверхностью Земли, определяют толщину слоя температурных неоднородностей.

Окончательное решение о строительстве обсерватории принимается, исходя из полученных экспедициями результатов и, в немалой степени, экономических обстоятельств: наличия источников воды и электричества, близости морских портов и аэродромов, качества дорог, поскольку доставка и монтаж большого телескопа, и прежде всего его многометрового зеркала, представляет сложную транспортную проблему.

Даже на самых хороших с точки зрения астроклимата горных вершинах, таких как Серро-Паранал в чилийской пустыне Атакама, Мауна-Кеа на о. Гавайи, Рока-де-лос-Мучачос на о. Ла-Пальма в архипелаге Канарских островов, прозрачность атмосферы и качество изображения непрерывно изменяются. Поэтому астроном-наблюдатель регулярно делает записи в журнале наблюдений с указанием состояния неба и размера изображения звёзд. При высокоточном измерении блеска переменных звёзд приходится до и после измерения изучаемой звезды определять также и блеск специально выбранных звёзд сравнения (так называемых стандартов), про которые известно, что они светят очень стабильно, поэтому изменение их видимой яркости целиком связано со свойствами атмосферы Земли.

Одним из простых способов дать количественную оценку качества неба является указание на самую тусклую звезду, видимую невооружённым глазом. Хотя каждый человек по-своему определяет самую тусклую звезду, в среднем эта величина примерно одинакова для всех людей с нормальным зрением. Индивидуально для каждого наблюдателя такой метод определения качества неба даёт весьма надёжную относительную оценку. Для определения слабейшей из видимых звёзд принято использовать область неба вблизи северного полюса мира. Эта область имеет несколько преимуществ: на средних северных широтах она незаходящая; её высота не меняется в течение ночи и года, так что изменением прозрачности атмосферы с высотой можно пренебречь. В этой области нет ярких звёзд и не бывает планет, которые слепили бы глаза. Слабые (тусклые) звёзды в этой области довольно далеки друг от друга и поэтому легко отождествляются. Кроме того, поле вокруг Полярной звезды имеет простую конфигурацию и легко запоминается.

Загрязнение ночного неба искусственным светом

Помимо естественных факторов, влияющих на астроклимат, в XX в. он испытал существенное влияние цивилизации. Важнейшим отрицательным фактором стало ночное освещение городов, сделавшее невозможным проведение в них астрономических наблюдений. В последние десятилетия этот фактор стал одной из важнейших составляющих астроклимата (см. *Световое загрязнение ночного неба*).

АСТРОЛАТРИЯ (греч. *astron* + *latreia* — служение, почитание) — поклонение звёздам и планетам, распространённое у древних народов.

АСТРОЛОГИЯ (греч. *astron* — звезда и *logos* — слово, учение) — учение о влиянии небесных светил на земной мир и человека — его темперамент, характер, поступки и будущее. Астрологи пытаются делать свои прогнозы, основываясь на взаимном расположении светил на небесной сфере и их положении относительно горизонта в определённые моменты времени.

Астрология — древнее увлечение, тесно связанное с астральными культами и астральной мифологией. Она получила широкое распространение в Римской империи. С критикой астрологии как разновидности языческого фатализма выступило христианство. Арабская астрология, достигшая значительного развития в IX–X вв., с XII в. проникает в Европу, где астрология вплоть до середины XVII в. пользуется влиянием, а затем теряет его в связи с распространением естественнонаучной картины мира. Возрождение интереса к астрологии происходит после Первой мировой войны, в частности в связи с распространением средств массовой информации.

Идея о зависимости событий на Земле от небесных явлений появилась в связи с успехами древних астрономов в прогнозировании сезонных изменений в природе, обусловленных годовым движением Земли вокруг Солнца. Вплоть до настоящего времени астрологи эксплуатируют неосведомлённость публики об истинном различии между астрономией, использующей точные научные методы для расчёта движения космических тел, и астрологией как способом гадания по звёздам. Используя научный антураж (компьютеры, терминологию), астрологи вводят в заблуждение людей, утверждая, что способны предвидеть будущее. Многократные статистические проверки показали, что точность астрологических прогнозов не поднимается выше уровня случайных совпадений.

В то же время прогностические возможности науки (астрономии, метеорологии, геофизики и др.) постоянно возрастают. Космические факторы, которые могут воздействовать на земную природу, человека и технические устройства, в целом известны. Это приливные силы Солнца и Луны, редкие катастрофы космической природы, например падение крупных метеоритов. Существует очень малое гравитационное влияние планет на Землю. Электромагнитное воздействие планет на Землю практически отсутствует. Наибольшее влияние на земные объекты оказывает Солнце, но о связи его активности с расположением планет в Солнечной системе достоверных научных данных нет.

АСТРОЛЯБИЯ (греч. *astron* — звезда и *labe* — схватывание) — прибор для измерения угловой высоты над горизонтом небесных объектов. С давних времён и вплоть до середины XVII в. астролябия в её наиболее совершенных вариантах состояла из разделённого круга, имеющего в центре ось, вокруг которой вращалась визирная планка с диоптрами (алидада), служившая для наведения на объект. При измерениях астролябия удерживалась вертикально — обычно подвешивалась. После наведения на объект отсчёт высоты снимался с разделённого круга. Наблюдения звёзд с астролябией проводились для определения времени и в целях навигации. Современные варианты астролябии (например, астролябия Данжона) автоматизированы, часто используют сосуд с ртутью для имитации плоскости горизонта и обладают высокой точностью.

АСТРОЛЯБИЯ ДАНЖОНА — прибор, предназначенный для определения координат звёзд и точного местного времени. По сути, это небольшой горизонтальный телескоп. Призменную астролябию Данжона (André-Louis Danjon, 1890–1967) называют также безличной астролябией, поскольку при работе с ней исключаются ошибки фокусировки. Этот прибор предназначен

для наблюдения звёзд на зенитном расстоянии около 30°. Лучи света от наблюдаемой звезды идут к объективу, предварительно испытывая отражения в равносторонней призме с углом при вершине 60°. Таким образом, свет проходит по двум путям: непосредственно от звезды и через её отражение в сосуде с ртутью (так называемый ртутный горизонт, задающий точное направление на зенит). Пройдя через объектив, каждый из лучей света даёт своё изображение звезды в фокальной плоскости. При изменении высоты звезды вследствие её суточного движения оба наблюдаемых изображения — прямое и отражённое — смещаются друг относительно друга и совпадают при достижении звездой зенитного расстояния 30°. Процедура наблюдений с астролябией состоит в фиксации точного момента совпадения изображений звезды. Для увеличения точности наблюдений в оптической схеме астролябии имеется призма Волластона, перемещая которую с помощью микрометрического винта, можно компенсировать изменение высоты звезды и проводить несколько измерений подряд при пересечении звездой альмукантаратов с разным зенитным расстоянием. Фиксация момента совпадения изображений в современных инструментах происходит автоматически с помощью фотоэлектрического приёмника света.

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ОКУЛЯР — окуляр телескопа, имеющий в поле зрения подсвечиваемую шкалу или сетку. Используется для измерения угловых расстояний между компонентами двойных звёзд, угловых диаметров лунных кратеров и т. п. Может дополняться круговой шкалой, что позволяет измерять также и позиционные углы.

АСТРОМЕТРИЯ — наука о точных измерениях положений небесных светил. Основной задачей этого раздела астрономии является создание опорной инерциальной системы координат в пространстве и согласованного комплекса фундаментальных астрономических постоянных на основе измерения координат небесных объектов и изучения вращения Земли. До недавнего времени главными астрометрическими инструментами для определения небесных координат были фотографические астрографы и меридианные круги. В настоящее время основными приборами для точных измерений координат служат фотографический зенит-телескоп, астролябия Данжона и орбитальные астрометрические приборы (первый из них — спутник HIPPARCOS — закончил работу, следующие готовят к запуску).

АСТРОНИМЫ — астрономические названия: имена Солнца, Луны, созвездий, ярких звёзд, планет и т. п., данные им разными народами в различные эпохи.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА (а. е.) — единица длины, практически равная среднему расстоянию между центрами Земли и Солнца, т. е. большой полуоси земной орбиты. 1 а. е. = 149 597 870 ± 2 км (в системе МАС 1976 г.). Обычно используется в астрономии при указании расстояний между объектами Солнечной системы и между звёздами в двойных системах. В международных документах астрономическая единица обозначается как AU или au (от англ. *astronomical unit*).

Заметим, что такое определение астрономической единицы удовлетворяет не только любителей, но и большинство профессиональных астрономов. Однако специалисты по астрометрии и астродинамике предпочитают более точное определение, например такое: астрономическая единица — это исторически сложившаяся единица измерения расстояний в астрономии, равная 149 597 870 ± 2 км. При этом размер большой полуоси оскулирующей (т. е. мгновенной) орбиты Земли уже не рассматривается в качестве эталона длины, поскольку он действительно немного изменяется со временем под действием возмущений со стороны других планет. Разумеется, под «орбитой Земли» имеется в виду не траектория центра планеты Земля, а траектория барицентра (центра массы) системы Земля–Луна.

Кроме того, строго говоря, определение астрономической единицы как «среднего расстояния» тоже не совсем верно. Хотя бы потому, что при кеплеровом движении по эллипсу среднее по времени расстояние ($\langle r \rangle$) не равно большой полуоси эллипса (a), а равно $\langle r \rangle = a(1 + e^2/2)$, хотя при этом верно равенство $\langle 1/r \rangle = 1/a$.

При аксиоматическом подходе астрономическую единицу определяют как радиус круговой орбиты, на которой тело пренебрежимо малой массы в отсутствие возмущений совершает оборот вокруг Солнца за $2\pi/k$ суток, где k — гравитационная постоянная Гаусса. Это расстояние чуть меньше, чем большая полуось орбиты Земли. Поскольку гауссова гравитационная постоянная принята как константа, то действительно можно также сказать, что астрономическая единица — это исторически сложившаяся единица измерения расстояний в астрономии, равная 149 597 870 км. А большая полуось орбиты Земли в каждую эпоху немного отличается от этого значения.

Указанное выше значение астрономической единицы (149 597 870 ± 2 км) было получено на основе различных измерений прошлых лет и в 1976 г. принято Международным астрономическим союзом (МАС) как одна из производных постоянных в системе астрономических постоянных для стандартной эпохи J2000,0. Это значение рекомендовано для астрономических вычислений (чтобы сделать их взаимно сравнимыми), и рекомендация пока сохраняется.

Однако для вычисления траекторий полёта межпланетных зондов и других высокоточных исследований требуется более высокая точность измерения астрономической единицы, поэтому значение 1 а. е. постоянно уточняется путём телеметрических измерений сигналов от самих межпланетных зондов и радиолокационных измерений расстояний до планет и астероидов. В настоящее время (2012) значение астрономической единицы измерено со среднеквадратичной погрешностью 3 м и равно 149 597 870 700 ± 3 м. Это значение можно назвать «текущим». А большая полуось земной орбиты, фигурирующая в небесномеханических расчётах, составляет 149 598 261 км = 1,00000261 а. е. (эпоха J2000,0).

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ (лат. *navigo* — плыву по морю) — ориентирование на местности по положению небесных светил. Ночью географическую широту места определяют по высоте Полярной звезды над горизонтом, а долготу — по моментам восхода, захода или кульминации светил. Днём широту определяют по высоте Солнца над горизонтом в момент его верхней кульминации. А долготу вычисляют по разнице во времени между этим событием и полуднем в пункте с известной долготой. Для этого используют хронометры, сохраняющие текущее время этого географического пункта.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — научное учреждение, предназначенное для практического изучения небесных объектов и астрономических явлений. Предтечей астрономических обсерваторий были храмы древних цивилизаций Среднего Востока, где жрецы проводили систематические наблюдения небесных светил, а также научные центры античного мира, например Александрийская библиотека, где работал Птолемей. В те эпохи применялись небольшие астрономические инструменты — гномон, солнечные часы, армиллярная сфера, астрономический посох (прямая планка со скользящим визиром для измерения угла между светилами), — не требовавшие специального места для установки.

Первые крупные специализированные астрономические обсерватории появились в Средние века в Азии и на Среднем Востоке. В VIII в. Абдалла аль-Маймун основал в Багдаде Дом мудрости, подобный Александрийской библиотеке, и организовал связанные с ним обсерватории в Багдаде и Сирии. Там несколько поколений астрономов изучали и развивали работы Птолемея. Подобные учреждения

процветали в X и XI вв. в Каире. Одна из крупнейших обсерваторий того периода была основана Хулагу-ханом, внуком Чингисхана. При его поддержке персидский астроном Назир аль-Дин аль-Туси (1201–1274) построил обсерваторию в Мераге (северо-запад Ирана). Кульминацией той эпохи стала гигантская обсерватория в Самарканде (ныне Узбекистан). Там Улугбек (1394–1449), внук Тамерлана (Тимура), построив огромный секстант радиусом 40 м в виде ориентированной на юг траншеи шириной 51 см, проводил наблюдения Солнца с небывалой точностью. Несколько инструментов меньшего размера он использовал для наблюдений звёзд, Луны и планет.

В эпоху Просвещения крупнейшую обсерваторию создал датский астроном Тихо Браге. В его обсерватории «Ураниборг» (Небесный замок) на острове Вен в проливе Зунд близ Копенгагена было множество стационарных инструментов (усовершенствованные квадранты, секстанты, армиллярные сферы), мастерские, библиотека, химическая лаборатория, бумажная мельница и печатный станок. К концу XVI в. Тихо и его помощники, наблюдая невооружённым глазом, достигли со своими приборами точности измерений в 1 угловую минуту.

Создание Галилеем телескопа (1609) предъявило к астрономическим обсерваториям новые требования — стали необходимыми высокая прозрачность, спокойствие и чистота атмосферы. Поэтому обсерватории стали перемещаться из центров культуры (храмы, университеты) сначала за город, а позже — в высокогорье. Со второй половины XVII в. для обеспечения мореплавания и картографии правительства разных стран начали учреждать государственные обсерватории. В 1669 г. была основана Королевская обсерватория в Париже, а в 1675 г. — Королевская Гринвичская обсерватория близ Лондона. В те же годы были основаны обсерватории в Копенгагене (Дания), Лунде (Швеция) и Данциге (Польша). Их основной целью было наблюдение небесных светил для определения географических координат и времени.

Открытия новых планет, астероидов, двойных звёзд, туманностей, совершённые в XVIII — начале XIX в. Дж. Кассини, Ш. Мессье, В. Гершелем, стимулировали появление новых обсерваторий. Были основаны Морская обсерватория США в Вашингтоне (1830), Пулковская обсерватория Императорской академии наук в Санкт-Петербурге (1839), Потсдамская обсерватория в Германии (1874). Рождение фотографии и спектрального анализа (середина XIX в.) резко усилило интерес к астрофизическим исследованиям. Во многих странах стали создаваться специализированные обсерватории для изучения физики Солнца и звёзд. Большое развитие они получили в США: Гарвардская, Ликская, Ловеловская, Маунт Вилсон и Маунт Паломар (с 1948 по 1975 г. имевшая крупнейший в мире телескоп с главным зеркалом диаметром 5 м). На территории бывшего СССР в горах были созданы Абастуманская астрофизическая обсерватория (Грузия, 1932), Бюраканская астрофизическая обсерватория (Армения, 1946), Крымская астрофизическая обсерватория (1945) и др. В горах Северного Кавказа была создана (1966) Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР с 6-метровым телескопом БТА (Большой телескоп альт-азимутальный), который с 1975 по 1993 г. был крупнейшим в мире.

До середины XX в. большинство астрономических обсерваторий располагалось в Северном полушарии, поэтому южное небо оказалось изучено значительно хуже северного. Поэтому после Второй мировой войны европейские и американские астрономы стали интенсивно создавать крупные обсерватории к югу от экватора — в Австралии, Южной Африке, Чили, а также в районе экватора — например, на Канарских и Гавайских островах. Эти обсерватории располагаются на вершинах гор, в большинстве случаев на высоте от 2000 до 4000 м, и оснащены телескопами диаметром 8–10 м.

С середины XX в. сооружаются радиоастрономические обсерватории, часто выполняющие не только научные, но и практические задачи (радиолокация, связь с космическими аппаратами). В конце XX в. появились первые нейтринные и гравитационно-волновые обсерватории; последние ещё находятся в процессе становления и пока не дали результата. Регулярно на околоземную орбиту (а в последние годы — и на околосолнечную орбиту) выводятся автоматические телескопы гамма-, рентгеновского, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов спектра, для которых атмосфера Земли непрозрачна. Изредка в космос запускают и крупные оптические телескопы для получения более чётких и стабильных изображений, чем это удаётся с поверхности Земли. Крупнейший из них — космический телескоп «Хаббл» (NASA, ЕКА, с 1990 г.) диаметром 2,4 м. По сути, каждый космический инструмент — это полноценная обсерватория, персонал которой находится на Земле, а телескоп-спутник — на орбите.

В очень небольшом количестве существуют мобильные обсерватории, крупнейшая из которых — SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy), принадлежащая NASA и Немецкому аэрокосмическому центру. Это лайнер Боинг-747, на борту которого смонтирован телескоп диаметром 2,5 м. С его помощью проводятся наблюдения на высотах до 12,5 км в оптическом и инфракрасном диапазонах (от 0,3 до 655 мкм). Кратковременные наблюдения проводятся также с борта беспилотных высотных аэростатов, поднимающихся на высоту от 35 до 42 км.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШИРОТА — угол φ между линией отвеса и плоскостью экватора. Отличается от геоцентрической широты φ' вследствие сплюснутости формы Земли: их разность с точностью до 1′ выражается как $\varphi - \varphi' = 11'33'' \sin(2\varphi)$.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЗНАКИ — условные графические обозначения (пиктограммы) Солнца, Луны, планет и других небесных тел, а также зодиакальных созвездий, фаз Луны и т. п. Многие из них имеют древнее происхождение, но до сих пор применяются в астрономии, астрологии и календарях. (См. *Знаки зодиака.*)

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ — 1) географические координаты пункта, определённые из наблюдений небесных светил и принятых по радио сигналов точного времени; 2) координаты объектов на небесной сфере (см. *Небесные координаты*).

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЕЖЕГОДНИК, или альманах, — справочное издание, обычно выходящее ежегодно и содержащее предвычисленную на будущий год информацию об изменяющихся характеристиках астрономических объектов (координаты Солнца, Луны и планет, фазы Луны, положения спутников Юпитера, солнечные и лунные затмения, звёздное и солнечное время, покрытия звёзд Луной и астероидами и т. п.). Наиболее известен Астрономический альманах (Astronomical Almanac), издаваемый Морской обсерваторией США и Гидрографическим управлением Великобритании. На русском языке регулярно выходят Астрономический ежегодник (Санкт-Петербург), Астрономический календарь ВАГО, Школьный астрономический календарь и ряд других изданий.

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП АЗТ-2 — телескоп-рефлектор системы Кассегрена с главным зеркалом диаметром 700 мм. Диаметр поля зрения 40′ (13 см в фокальной плоскости). Предусмотрены также фокусы Ньютона и прямой с корректором. Монтировка параллактическая немецкая с ломаной колонной. Построен в 1955 г. на ЛОМО, конструктор П. В. Добычин. Установлен на Ленинских горах в ГАИШ МГУ.

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП — вообще говоря, любая оптическая система, дающая увеличенное изображение удалённых объектов (бинокль, зрительная труба, телескоп). В узком смысле под термином «астрономический телескоп» подразумевают оптическую систему, дающую пере-

вёрнутое изображение, в отличие от зрительной трубы или бинокля.

АСТРОНОМИЯ (греч. *astron* — звезда + *nomos* — закон) — наука о строении и развитии космических тел, их систем и Вселенной в целом. Астрономы изучают движение и природу Солнца, Луны, планет, звёзд, галактик и других небесных тел. Принято считать, что все астрономические объекты располагаются за пределами Земли, однако астрономы изучают и саму Землю как планету, дополняя при этом сведения о ней, полученные другими науками — геологией, геофизикой и др.

Астрономия как наука

Астрономия — одна из древнейших наук, тысячи лет назад освоившая точные, математические методы анализа наблюдений. Сегодня в своей работе астрономы используют не только методы математики, но и значительный объём знаний по физике, химии и геологии, помогающие установить природу и восстановить эволюцию космических объектов.

Поскольку астрономические объекты чрезвычайно удалены, астрономия — наука наблюдательная, в основном использующая дистанционные методы измерения. В течение многих веков, изучая небесные объекты издалека, астрономы могли лишь строить догадки об их природе. Изобретение телескопа в начале XVII в., а также спектрографа и фотографии в середине XIX в. поставило астрономию на твёрдую научную основу. До 1957 г. астрономия оставалась чисто наблюдательной наукой. Но с появлением космических аппаратов астрономы получили возможность посылать приборы к планетам и их спутникам, к кометам и астероидам для прямого изучения их атмосферы и поверхности. Так астрономия стала экспериментальной наукой. В большинстве случаев астрономы ограничиваются пассивными измерениями, но всё более важную роль играет радиолокационное зондирование, а также доставка образцов грунта с поверхности Луны и астероидов, из атмосферы комет.

Благодаря космической технике астрономы получили ещё два важных подспорья в своей работе. Во-первых, размещая измерительные приборы за пределами земной атмосферы, астрономы теперь получают информацию во всём диапазоне электромагнитного спектра, большая часть которого при наземных наблюдениях была недоступна из-за непрозрачности атмосферы Земли. Во-вторых, наблюдая космические объекты сразу из нескольких точек — с поверхности Земли и с бортов космических аппаратов, — астрономы получают более полную, объёмную информацию. Речь идёт об обратной стороне Луны, невидимых в данный момент полушариях Солнца и планет, о трёхмерной структуре межпланетной среды и магнитосферах планет, об измерениях параллаксов звёзд, о радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами и т. п.

По методам исследования астрономия подразделяется на оптическую астрономию, радиоастрономию, рентгеновскую астрономию, гамма-астрономию, нейтринную астрономию, гравитационноволновую астрономию и др. Как наиболее древнее направление, оптическая астрономия, в свою очередь, подразделяется на астрометрию (изучение видимого положения и движения небесных светил), астрофотометрию (измерение потоков излучения от светил), астроспектроскопию и т. п. По объектам исследования выделяются 5 важнейших направлений астрономии: Солнце, планеты и малые тела Солнечной системы, звёзды, межзвёздная среда, мир галактик. На стыке астрономии с другими естественными науками развились такие ветви, как астрофизика, космология, астробиология, химия межзвёздной среды, численное моделирование космических процессов и др.

Астрономия — одно из древнейших занятий человека. В давние времена люди наблюдали перемещения небесных светил, чтобы измерять время, предсказывать наступление сезонов полевых работ, для ориентировки на суше и на море, для предсказания затмений и в ритуальных целях. До сих пор астрономия применяется для практических целей, таких как измерение времени, навигация, геодезия, причём методы и точность практической астрономии постоянно улучшаются.

Практическими задачами в основном занимаются национальные обсерватории и крупные астрономические институты, такие как Главная астрономическая (Пулковская) обсерватория РАН и Институт прикладной астрономии РАН в Санкт-Петербурге, Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (МГУ) и Астрономический институт РАН в Москве, Морская обсерватория США в Вашингтоне, Королевская Гринвичская обсерватория в Кембридже (Англия). Большинство же астрономов на других обсерваториях занято изучением различных объектов Вселенной.

Помимо профессиональных астрономов, работающих на крупных и хорошо оснащённых государственных и университетских обсерваториях, в мире насчитываются сотни любительских обсерваторий, на которых энтузиасты в свободное время проводят самостоятельные наблюдения, нередко имеющие научную ценность. В основном это наблюдения переменных звёзд, комет и метеоров, солнечных пятен и вспышек, полярных сияний и серебристых облаков, а также редких явлений на поверхности Луны и планет.

Объекты астрономии

Астрономические исследования можно разделить на 4 важнейших направления: Солнечная система, звёзды, межзвёздное вещество и галактики.

Солнечная система. Солнечная система состоит из звезды, которую мы называем Солнцем, и множества более мелких тел, обращающихся вокруг неё. Среди них 8 больших планет с их естественными спутниками, которых уже известно более 160. Большие планеты носят названия (в порядке их удаления от Солнца): Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Первые две называют внутренними планетами, поскольку их орбиты лежат внутри орбиты Земли, а пять более далёких, чем Земля, — внешними. Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн видны невооружённым глазом и потому были известны в древности; их называли «блуждающими звёздами», поскольку они перемещаются на фоне далёких «неподвижных» звёзд. Кроме того, вокруг Солнца движутся сотни тысяч малых тел — астероидов и комет, а также метеорные потоки, состоящие из частиц разрушенных астероидов и комет.

Движения планет помогают специалистам по небесной механике понять законы взаимодействия тел и проверить фундаментальные физические теории, такие как теория относительности. Высочайшая точность небесной механики служит основой успеха космонавтики: только безошибочные расчёты влияния Солнца и планет на полёт космического аппарата позволяют ему точно достигнуть своей цели в любой части Солнечной системы.

Специалисты по Солнцу изучают различные физические явления на его поверхности и в недрах, включая термоядерные реакции и другие высокотемпературные процессы. Они исследуют излучение Солнца и его влияние на земную атмосферу и биосферу. Солнце находится под постоянным наблюдением наземных и космических обсерваторий. Подробное изучение Солнца позволяет многое понять и в природе других звёзд, слишком далёких от нас для детального изучения.

В исследовании Луны произошёл гигантский прогресс с наступлением космической эры. Неизвестная прежде обратная сторона Луны впервые была сфотографирована советским аппаратом «Луна-3» в 1959 г. Американские аппараты «Рейнджер» в 1964–1965 гг. передали изображения поверхности Луны с близкого расстояния, а в 1966–1968 гг. на Луну мягко опустились автоматические станции «Луна-9 и -13», «Сервейер-5, -6 и -7» и определили прочность и состав её грунта. В 1969–1972 гг. совершили экспедиции на Луну экипажи американских «Аполлонов» и советские автоматические аппараты серии «Луна» (1970–1976), доставив на Землю для изучения сотни килограммов лунного грунта. Активные исследования Луны с помощью беспилотных аппаратов возобновились в середине 1990-х гг.: США,

Западная Европа, Япония, Китай, Индия в кооперации с учёными других стран, включая Россию, отправили к Луне орбитальные зонды, по данным которых были составлены качественные геологические и минералогические карты поверхности и найдены признаки воды. Теперь астрономам известны детальные физические и химические характеристики лунных пород и их возраст. Лишённая атмосферы и вулканов маленькая Луна за время своей эволюции изменилась гораздо меньше Земли, поэтому она «хранит ключи» ко многим тайнам происхождения Солнечной системы.

Такими же полезными для изучения истории Солнечной системы являются метеориты, возраст которых радиоизотопным методом оценивается в 4,5 млрд лет. Кометы тоже образовались в период молодости Солнечной системы и несут в себе её первичное вещество. Астрономы уже проводят прямое изучение комет с помощью космических аппаратов; к тому же некоторую информацию о них дают и метеоры, образующиеся при сгорании в атмосфере Земли мелких частиц, потерянных кометами при их сближении с Солнцем.

Активные эксперименты на поверхности космических тел пока ограничились сейсмическим зондированием Луны (экспедиции «Аполлон», NASA, США, 1969–1972), бомбардировкой ядра кометы Темпель 1 (зонд «Deep Impact», NASA, США, 2005) и лунной поверхности в районе южного полюса (зонд LCROSS, NASA, США, 2009).

Звёзды. Древние люди считали звёзды неподвижно прикреплёнными с огромной небесной сфере, окружающей Землю и вращающейся вокруг неё. Характерным группам ярких звёзд – созвездиям – они давали названия бытовых предметов, мифических героев и животных. Астрономы установили, что звёзды – это гигантские газовые шары, подобные Солнцу. Они сияют постоянно, но днём не видны из-за яркого солнечного света, рассеянного в земной атмосфере.

Звёзды различаются по своему расстоянию от Земли, по массе, светимости (т. е. мощности излучения), температуре, химическому составу, возрасту и скорости движения. Но как бы быстро звёзды ни двигались, из-за большой удалённости они кажутся нам почти неподвижными и представляют почти идеальную систему отсчёта, относительно которой удобно изучать движение тел Солнечной системы.

Расстояния до ближайших звёзд измеряют методом триангуляции, используя в качестве базы диаметр орбиты Земли, а расстояния до далёких звёзд определяют путём сравнения их видимой яркости с истинной светимостью, которую можно оценить по виду спектра звезды. Наблюдая спектры звёзд, можно заметить, что у некоторых звёзд спектральные линии периодически смещаются или раздваиваются. Это означает, что в действительности звезда двойная и линии смещаются из-за эффекта Доплера, связанного с движением звёзд вокруг общего центра масс. Не менее половины всех звёзд двойные. У некоторых близких звёзд удалось выявить таким методом присутствие совсем небольших спутников, по массе близких к планетам (это так называемые коричневые карлики) и даже равных планетам (их называют экзопланетами). А раз помимо Солнечной системы существуют и другие планетные системы, то почему бы на тех планетах не быть жизни, в том числе и разумной? Для проверки этой идеи радиоастрономы уже более полувека пытаются принять сигналы разумных существ с планет у ближайших звёзд и сами посылают такие сигналы в космос.

На каждой из звёзд происходят грандиозные физические процессы, которые пока невозможно воспроизвести на Земле. При этом каждая звезда отделена от нас не только пространством, но и временем, необходимом свету, чтобы достичь Земли. Поэтому перед астрономами разворачивается панорама космических событий, уходящих в глубины прошлого на миллионы и даже миллиарды лет.

Межзвёздное вещество. Пространство между звёздами не совсем пустое: оно заполнено разреженным газом и пылью. Особенно много межзвёздного вещества в диске Галактики, в её спиральных рукавах. В некоторых местах это вещество сконцентрировано в облака, которые могут светиться, если рядом находится горячая звезда; пример – известная Туманность Ориона, которую можно заметить невооружённым глазом чуть ниже Пояса Ориона. В наиболее массивных и холодных облаках вещество сжимается под действием собственной гравитации, и из него формируются новые звёзды. Эти облака столь плотны, что не пропускают свет звёзд; заглянуть в их недра можно только с помощью инфракрасных и радиотелескопов. Прослеживая радиоизлучение межзвёздного газа, астрономы узнали расположение спиральных рукавов нашей Галактики.

Галактики. За пределами нашей Галактики существует великое множество других галактик. В ближайших из них с помощью крупных телескопов можно изучать отдельные звёзды. По всем параметрам эти звёзды очень похожи на те, что окружают нас, хотя сами галактики чрезвычайно разнообразны по форме, размеру и массе. Доплеровское смещение линий в спектрах галактик показывает, что они удаляются от нас, причём тем быстрее, чем дальше расположены.

С помощью радиотелескопов изучается межзвёздный газ в далёких галактиках и высокоэнергичные частицы, движущиеся в их магнитных полях. Большой интерес у астрономов вызывают галактики с активными ядрами, особенно квазары, расположенные в ядрах массивных галактик. Источник их колоссальной энергии до сих пор вызывает споры.

Заря астрономии

Древняя астрономия. Необходимость в простых правилах, связывающих между собой исчисление времени по луне и солнцу, стимулировала развитие научной астрономии вавилонскими жрецами в последние три века до нашей эры. На основе своих наблюдений они составили детальные таблицы (эфемериды) для предсказания важнейших явлений солнца, луны и планет. Они приняли, что эти светила движутся по кругу, позже названному греками Зодиаком, и разделили его на 12 равных «знаков». Вавилоняне представляли мир как земляной диск на твёрдом основании, окружённый океанским рвом, а ниже была бездна и жилище смерти.

Греческая астрономия. Традиция научной астрономии восходит к древним грекам, объединившим наблюдения вавилонских звездочётов с естествознанием и геометрией. Пифагор (VI в. до н. э.) и его школа представляли Землю в виде сферы и учили, что пути небесных светил можно представить как равномерное круговое движение вокруг Земли. Это учение, математически оформленное Евдоксом Книдским (IV в. до н. э.), было развито Аристотелем (384–322 до н. э.) в космологическую систему, просуществовавшую почти без изменений вплоть до XVI в.

В противовес этим взглядам Гераклид Понтийский (IV в. до н. э.) считал, что Земля вращается вокруг оси, а Меркурий и Венера обращаются вокруг Солнца, которое само движется вокруг Земли. Ещё ближе к современной гелиоцентрической системе мира подошёл Аристарх Самосский (III в. до н. э.), учивший, что Земля вместе с другими планетами обращается вокруг Солнца. Геоцентрическая система, разработанная в период эллинизма Гиппархом (II в. до н. э.), была завершена Птолемеем (II в.) в его «Альмагесте». Этот классический труд служил основным пособием по астрономии в течение 1400 лет. В нём содержится старейший звёздный каталог, описаны угломерные инструменты той эпохи и открытая Гиппархом прецессия, изложена эпициклическая теория движения Луны и планет, употреблявшаяся вплоть до XVII столетия. Согласно этой теории, планеты равномерно обращаются по окружностям (эпициклам), центры которых, в свою очередь, обращаются вокруг Земли по окружностям большего диаметра (деферентам), причём плоскости тех и других не совпадают. Теория Птолемея позволила с хорошей точностью описать не только видимые пути планет на фоне звёзд, но и вариации их яркости, связанные с изменением

расстояния от Земли. Дальнейшее уточнение этой схемы потребовало введения дополнительных эпициклов и смещения точек вращения (эквантов) относительно центров окружностей. Таблицы движения светил, вычисленные по теории Птолемея, долгие годы удовлетворяли практические потребности людей.

Исламский период. После распада древней культуры путь греческой науки в христианский мир Средневековья пролёг через исламскую цивилизацию. Арабы впитали традиции эллинизма на землях, захваченных ими в VII в. Багдад стал центром перевода на арабский греческой научной классики, включая «Альмагест» Птолемея. Затем через Каир эти труды достигли мусульманских университетов Испании. Сохранив основные принципы греческой астрономии, арабские учёные развили технику наблюдений и повысили точность вычисления планетных таблиц. В XII в. труды Аристотеля и Птолемея (в переводе с арабского на латинский) вновь стали доступны выходящему из застоя христианскому миру, а в XV в. обнаружились и греческие тексты классических трудов. Иоганн Мюллер (1436–1476) из Нюрнберга, известный как Регионтан, возродил технику астрономических наблюдений.

Рождение современной астрономии

Система Коперника. Современную эру в астрономии открыл Николай Коперник (1473–1543), опубликовавший в 1543 г. свой труд «О вращениях небесных сфер». Он предположил, что в центре Вселенной находится Солнце, а все планеты, включая Землю, обращаются вокруг него. Суточное движение светил Коперник объяснял вращением Земли. Хотя физических доказательств этой гипотезы в то время ещё не было, она существенно упрощала расчёт планетных таблиц и была принята в практической астрономии. Но церковь отнеслась к ней недоброжелательно, опасаясь разрушения своей геоцентрической картины мира.

Для составления планетных таблиц, необходимых прежде всего мореплавателям, требовались непрерывные и точные наблюдения. Большой вклад в это внёс выдающийся астроном XVI в. Тихо Браге (1546–1601). Более 20 лет в своей обсерватории на острове Вен в Зундском проливе он измерял положения Луны и планет, используя инструменты собственной конструкции. Он открыл два неравенства в движении Луны — вариацию и годичное уравнение. Как доказал позже Ньютон, причиной вариации служит притяжение Солнца, действующее по-разному на Землю и Луну из-за регулярного изменения их относительного расстояния от Солнца вследствие движения Луны по орбите. А причиной годичного уравнения (т. е. годичной периодичности в неправильностях движения Луны) служит орбитальное движение Земли, изменяющее расстояние системы Земля–Луна от Солнца.

Точными измерениями Тихо доказал, что вспыхнувшая в 1572 г. в созвездии Кассиопеи звезда (теперь мы знаем, что это был взрыв сверхновой звезды, породивший Крабовидную туманность), находится далеко за пределами атмосферы Земли. Наблюдая кометы в 1577 г. и позже, он доказал, что и они не возникают в земной атмосфере, а движутся за орбитой Луны. Эти открытия разрушили схоластический тезис о неизменности небес и привели к отказу от космологии Аристотеля.

Законы Кеплера. Наблюдения Тихо Браге, обработанные после его смерти Иоганном Кеплером (1571–1630), способствовали триумфу учения Коперника. Более того, Кеплер представил движение планет в совершенно новом свете. Он нашёл, что каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце, что радиус-вектор, соединяющий планету с Солнцем, за равные промежутки времени заметает равные площади и что квадраты периодов обращения планет пропорциональны кубам их средних расстояний от Солнца. Публикация трёх законов планетных движений Кеплера (1609–1619) и рассчитанные им по этим законам планетные таблицы (1627 г.) значительно укрепили теорию Коперника. Однако попытки Кеплера дать физическое объяснение своим законам на основе механики Аристотеля оказались безуспешными.

Революция в механике началась благодаря великому современнику Кеплера итальянцу Галилео Галилею (1564–1642). Путём экспериментов он доказал, что не требуется прикладывать силу для поддержания равномерного и прямолинейного движения тела. Этот принцип инерции стал первым законом механики Ньютона, объяснившей движение планет. В 1610 г. Галилей усовершенствовал изобретённую незадолго до этого подзорную трубу и первым применил её в астрономии (см. *Телескоп, история развития*). В свой телескоп Галилей открыл горы на Луне, четыре крупнейших спутника Юпитера, фазы у Венеры, пятна на Солнце. Он увидел, что Млечный Путь состоит из отдельных звёзд, и обнаружил загадочные «придатки» у Сатурна (как позже выяснилось — кольцо). Эти открытия окончательно разрушили традиционное представление о Вселенной в пользу теории Коперника.

Вероятно, Рене Декарт в 1644 г. первым ясно сформулировал принцип инерции, Роберт Гук в 1666 г. приложил его к теории движения планет, а Исаак Ньютон (1642–1727) в своих «Математических началах натуральной философии» (1687) утвердил его как закон движения. Ньютон доказал, что движение Луны вокруг Земли подчиняется силе тяжести, убывающей обратно пропорционально квадрату расстояния. Идея о всемирном тяготении помогла объяснить эллиптические орбиты планет и прецессию земной оси.

Современная астрономия

В конце XIX в. астрономия преобразилась благодаря изобретению фотографии, позволившей объективно документировать небесные явления для их неоднократного дальнейшего изучения. Вторым важным изобретением стал спектроскоп. В 1672 г. Ньютон описал получение спектра солнечного света. Около 1814 г. Йозеф Фраунгофер открыл, что полоса спектра пересечена множеством тёмных линий. К середине XIX в. поняли, что раскалённые пары любого вещества дают характерный спектр из ярких линий. В 1848 г. Леон Фуко заметил, что пламя с натрием, помещённое перед электрической дугой, поглощает жёлтую часть её излучения. Совпадение линий излучения и поглощения для многих элементов было доказано Густавом Кирхгофом после 1859 г. Он понял, что горячее ядро Солнца покрыто более холодной атмосферой, создающей в спектре фраунгоферовы линии поглощения. Основанный на этом анализ содержания химических элементов в атмосферах Солнца и звёзд был развит Уильямом Хёггинсом (1824–1910).

Начатая Хёггинсом классификация звёзд по их спектрам была развита Пьетро Анджело Секки (1818–1878), Германом Карлом Фогелем (1841–1907) и в колоссальной работе гарвардских астрономов под руководством Эдуарда Чарлза Пикеринга (1846–1919). Используя эффект смещения линий в спектре движущегося источника, открытый Доплером в 1842 г., Фогель в 1892 г., а затем Хёггинс стали измерять скорости приближения и удаления звёзд.

Солнце. В 1843 г. Генрих Швабе сообщил, что количество пятен на Солнце изменяется с 11-летней периодичностью. Вскоре обнаружили сопутствующие этому изменения в геомагнитных явлениях. Начиная с 1866 Норман Локьер (1836–1920) стал использовать спектроскоп для изучения Солнца. Изобретённый Джорджем Хейлом (1890) и Анри Деландром (1891) спектрогелиограф дал возможность фотографировать Солнце в линии одного химического элемента; это позволило изучать распределение элементов и структуру пятен и протуберанцев.

Калориметрические измерения Джона Гершеля (1792–1871), Клода Пуйе (1791–1868) и Чарлза Аббота (1872–1973) позволили определить «солнечную постоянную» — поток солнечной энергии на единицу поверхности Земли — и, зная расстояние до Солнца, вычислить его полную светимость. На основании закона Йозефа Стефана (1879) о связи температуры тела с его излучением было найдено, что температура поверхности Солнца около 6000 °C. В 1848 г. Юлиус Роберт Май-

ер предположил, что источником энергии Солнца служит падение на него метеоритов, а Герман Гельмгольц в 1854 г. привлёк для этого сжатие Солнца. Но в 1939 г. Ганс Бете и Карл Вейцзеккер показали, что источником излучения Солнца служат термоядерные процессы в его недрах. Это позволило построить теорию внутреннего строения и эволюции звёзд, надёжно подтверждённую астрономическими наблюдениями (1960–1980) и измерениями нейтринного потока от Солнца (1968–2002). В последние годы строение Солнца успешно изучают методами гелиосейсмологии, регистрируя флуктуации солнечной поверхности, вызванные выходом из недр звуковых волн.

Планеты. За всю эпоху астрономических наблюдений в Солнечной системе были открыты лишь две большие планеты — Уран и Нептун. Вильям Гершель (1738–1822) случайно обнаружил Уран 13 марта 1781 г., заметив диск планеты. Дальнейшие наблюдения Урана указали на возмущения в его движении, которые были приписаны влиянию более далёкой планеты. Урбен Леверье (1811–1877) вычислил положение этой гипотетической планеты, и по его указанию она была открыта 23 сентября 1846 г. в Берлинской обсерватории Иоганном Галле. Её назвали Нептуном.

В ходе поисков планеты за Нептуном Клайд Томбо на Ловелловской обсерватории в 1930 г. нашёл Плутон, который в XX в. тоже считали планетой. Однако после 2004 г. на периферии Солнечной системы было обнаружено несколько тел, подобных Плутону, и в 2006 г. все они были выделены в особую группу планет-карликов. В нее же вошёл и крупнейший астероид Церера. Детальное изучение планет, астероидов и комет сейчас ведётся с борта автоматических аппаратов, но массовое обнаружение объектов Солнечной системы (открыто уже более 500 тыс.) и наблюдение за их движением осуществляется с помощью наземных телескопов.

Звёзды. Изучая небо в конце XVIII в., Вильям Гершель обнаружил двойные звёзды, т. е. пары звёзд, обращающихся под действием взаимного притяжения вокруг общего центра массы. Расстояния до звёзд были впервые измерены в 1835–1839 гг., когда В. Я. Струве, Ф. Бессель и Т. Хендерсон определили параллаксы ближайших звёзд.

Взамен распространённого в XIX в. взгляда, что звёзды только остывают в процессе эволюции, Джозеф Норман Локьер (1836–1920) предположил на основе «метеоритной гипотезы» небесных тел (1888), что в процессе аккумуляции и сжатия звёзды разогреваются, достигают максимальной температуры и лишь затем начинают остывать. Эту идею в 1913 г. поддержал Генри Н. Рассел, обнаруживший, что холодные красные звёзды составляют два класса с совершенно разной светимостью. Это же деление красных звёзд на гиганты и карлики независимо открыл Эйнар Герцшпрунг (1873–1967). На основе современной физики теория внутреннего строения звёзд начала развиваться с 1916 г. трудами Артура Эддингтона (1882–1944), Джеймса Джинса (1877–1946) и Эдуарда Милна (1896–1950). Мощный импульс эта теория получила с появлением компьютеров в середине 1950-х гг. Но и сейчас её нельзя назвать завершённой, поскольку наблюдаемые явления в жизни звёзд чрезвычайно разнообразны и не все из них находят объяснение.

Галактики. Томас Райт в 1750 г. и Вильям Гершель в 1784 г. объяснили явление Млечного Пути как наблюдаемую нами гигантскую совокупность звёзд, сосредоточенных в плоском слое, вблизи средней плоскости которого находится Солнце. Гершель начал подсчёты звёзд для изучения формы Галактики, а продолживший эти статистические исследования Якобус Корнелиус Каптейн (1851–1922) открыл в 1904 г. «звёздные потоки», указавшие на вращение Галактики. Харлоу Шепли (1885–1972) определил положение центра Галактики и оценил её размер по распределению в пространстве шаровых звёздных скоплений.

Гершель подозревал, что некоторые туманности являются далёкими звёздными системами, подобными Галактике. Однако Хёггинс обнаружил в спектрах многих туманностей яркие линии, указывающие на их газовую природу. Противоречие разрешилось в первой половине XX в., когда выяснилось, что существуют как газовые межзвёздные туманности, принадлежащие нашей Галактике, так и далёкие звёздные системы — галактики, изучение и классификацию которых выполнил Эдвин Хаббл (1889–1953). Он показал, что практически все галактики удаляются от нас со скоростями, пропорциональными расстоянию до них (закон Хаббла), и таким образом открыл «расширение Вселенной». Факт горячего начала процесса расширения — Большого взрыва — подтвердился открытием реликтового излучения (1965). Измерение расстояний до далёких галактик показало в 1998 г., что в последние миллиарды лет расширение Вселенной происходит с ускорением; причина этого «антигравитационного» эффекта пока не ясна.



Телескоп-рефлектор диаметром 182 см с фокусным расстоянием 17 м, построенный в 1845 г. ирландским астрономом Уильямом Парсонсом (третий лорд Росс) в его родовом поместье Бёр-Касл. Этот телескоп впервые показал структуру галактик

Перспективы астрономии

Новые каналы информации. Сейчас осваиваются два новых направления астрономии: нейтринная и гравитационно-волновая. Нейтрино от Солнца зарегистрированы надёжно, и уже сделаны важные открытия в этой области. Под землёй, под водой и во льдах Антарктиды идёт строительство крупных детекторов нейтрино («нейтринных телескопов»), которые позволят детально исследовать процессы в ядре Солнца, зарегистрировать нейтринные вспышки сверхновых звёзд, а также изучить неизвестные ранее свойства самих нейтрино — так называемые осцилляции.

Гравитационно-волновая астрономия пока не заявила о своём рождении: надёжных сигналов не зафиксировано. Но сомнений в существовании самих гравитационных волн практически нет: косвенно их влияние на движение нейтронных звёзд в двойном радиопульсаре B1913+16 надёжно зарегистрировано. Сейчас созданы и уже ведут наблюдения два типа детекторов гравитационных волн: 1) твердотельные «болванки», охлаждённые до сверхнизкой температу-

ры (например, ALLEGRO), способные регистрировать высокочастотные колебания; 2) лазерные интерферометры со свободно подвешенными зеркалами (например, LIGO), чувствительные к колебаниям более низкой частоты. Есть проекты космических интерферометров (например, LISA), состоящих из нескольких космических аппаратов, разнесённых на миллионы километров и способных к регистрации сверхнизкочастотных гравитационных волн.

Развитие традиционных инструментов. В целом развитие всех традиционных методов наблюдения (оптический, радио, рентгеновский и др.) идёт по пути увеличения размера объектива телескопа. Это позволяет увеличить чувствительность инструмента и чёткость изображения. Например, запланировано строительство оптического телескопа диаметром 42 м и прорабатывается проект 100-метрового телескопа. С их помощью надеются, например, исследовать планеты иных звёзд (экзопланеты).

Стремительно развиваются системы адаптивной оптики, позволяющие подавлять атмосферные помехи и дающие возможность использовать крупные телескопы в составе интерферометров. Телескопы малого размера автоматизируются до такого уровня, что почти без участия наблюдателя ведут поиск новых объектов и выполняют другую рутинную работу. Результативность работы телескопов-роботов превзошла ожидания: в Солнечной системе за прошедшие 10 лет обнаружено более полумиллиона новых объектов, в основном астероидов.

В области радиоастрономии продолжается освоение всё более коротковолновых диапазонов. В ближайшие годы лидером в этой области будет международная система ALMA — многоантенный интерферометр миллиметрового диапазона, создание которого к 2013 г. заканчивается на высокогорном плато Чахнантор в пустыне Атакама (Чили). Вполне вероятно создание крупного многоантенного телескопа сантиметрового диапазона с эффективной площадью 1 км^2 (проект SKA). Для достижения сверхвысокого углового разрешения создаются интерферометры с базами, превышающими размер Земли: отдельные их элементы располагаются на космических аппаратах — это проекты «Радиоастрон» (с 2011 г.) и «Миллиметрон» (планируется).

Последние десятилетия развития астрономии отмечены непрерывной чередой фундаментальных открытий, причём затухания этого потока пока не ощущается. Обнаружение принципиально новых видов материи (тёмная материя, тёмная энергия) и новых свойств элементарных частиц (осцилляции солнечного нейтрино) поставили современную астрономию в авангард физических наук.

АСТРОСЕЙСМОЛОГИЯ (от греч. *astron* звезда, *seismos* — землетрясение и *logos* — учение) — наука, известная также как звёздная сейсмология, которая изучает внутреннюю структуру звёзд путём исследования частотных спектров наблюдаемых колебаний их поверхности. Различные моды пульсаций проникают на разные глубины внутрь звезды. Из этих колебаний можно извлечь информацию о не наблюдаемых иными способами внутренних слоях звёзд таким же образом, как сейсмологи исследуют недра Земли и других твёрдых планет, — анализируя колебания поверхности, вызванные землетрясениями или специальными взрывами. Астросейсмология — это один из методов исследования внутреннего строения звёзд. Частоты колебаний дают информацию о профиле плотности в тех областях, где волны возникают и распространяются. Их спектр позволяет судить и о химическом составе этих областей.

Колебания, изучаемые астросейсмологами, вызываются потоком тепловой энергии из недр звезды, который под действием некоторых физических процессов преобразуется в кинетическую энергию колебаний. Для многих классов звёзд основным физическим механизмом является преобразование энергии излучения в энергию механических колебаний в поверхностных слоях. Возникающие в результате колебания, как правило, исследуются в предположении, что они малы и что звезда является изолированной и сферически симметричной. В системах двойных звёзд существенно повлиять на колебания звезды могут приливные силы. Важное применение астросейсмология находит при изучении нейтронных звёзд, внутреннюю структуру которых невозможно наблюдать непосредственно, но можно исследовать, изучая колебания их поверхности.

Одно из направлений астросейсмологии — гелиосейсмология, т. е. солнечная сейсмология, изучающая колебания Солнца, которые возбуждаются под действием конвекции в его внешних слоях. Развитие астросейсмологии началось именно с гелиосейсмологии, поскольку фиксировать колебания солнечной поверхности значительно легче, чем колебания поверхности далёких звёзд. Наблюдения колебаний, подобных солнечным, на других звёздах являются новой и активно развивающейся областью астросейсмологии.

Волны на солнцеподобных звёздах можно разделить на три типа:

— акустические моды, или моды давления (p), подобные звуковым волнам; они возбуждаются внутренними флуктуациями давления внутри звёзд, их динамика определяется локальной скоростью звука;

— гравитационные (g) моды (не путать с гравитационными волнами из ОТО) возбуждаются всплыванием более лёгких и погружением более тяжёлых элементов газа;

— поверхностно-гравитационные (f) моды подобны волнам на воде, они распространяются вдоль звёздной поверхности.

АСТРОФИЗИКА — раздел астрономии, изучающий астрономические объекты и явления физическими методами. По сравнению с лабораторной, экспериментальной физикой особенность астрофизики заключается в том, что с астрономическими объектами (кроме объектов Солнечной системы) невозможно экспериментировать: их можно только наблюдать, изучая приходящее от них излучение (свет, радиоволны и т. д.) и лишь в редчайших случаях — частицы вещества (например, космические лучи).

Астрофизика родилась благодаря изобретению спектрального анализа и фотографии в середине XIX в. Вместе с телескопом спектрограф до сих пор остаётся главным инструментом астрофизиков, хотя к нему добавились и другие приборы для анализа света — поляриметры, болометры, магнитографы и др. Фотопластинку в конце XX в. заменили электронные приёмники света.

С середины XX в. важным инструментом астрофизики стал радиотелескоп, оказавшийся чрезвычайно полезным для исследования процессов в межзвёздной среде, в магнитосферах планет, в активных ядрах галактик. Методами радиоастрономии в 1960-е гг. были сделаны важнейшие открытия: квазары, реликтовое излучение, нейтронные звёзды (радиопульсары).

Земная атмосфера препятствует наблюдению с поверхности планеты далёкого инфракрасного, ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения, приходящих из космоса. Поэтому новые возможности для астрофизики дала в 1960-е и 1970-е гг. космическая техника, позволившая создать на околоземных орбитах автоматические и пилотируемые обсерватории с телескопами указанных диапазонов излучения. Произошедший в те годы переход от оптической астрономии ко всеволновой изменил наши представления о Вселенной.

Хотя астрофизика является частью более общей науки — астрономии, её саму часто подразделяют на ряд дисциплин. Деление проводят либо по методам, либо по объектам исследования. В первом случае говорят о радиоастрономии, рентгеновской астрономии, гамма-астрономии, нейтринной астрономии, инфракрасной астрономии, астрономической спектроскопии, гравитационно-волновой астрономии и т. д. Во втором случае выделяют физику планет, физику Солнца, физику звёзд, физику межзвёздной среды, физику галактик, космологию и др.

АСТРЫ (лат. *astrum*, мн. *astra*) – формы рельефа с радиальным рисунком. Встречаются на Венере и Титане.

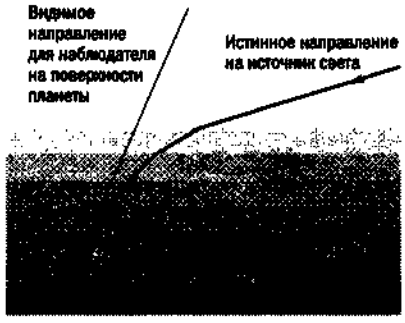
АСФЕРИКА – несферическая поверхность оптического элемента. Общее название поверхностей, близких к сферическим, образованных вращением кривых второго порядка (коникоидов) вокруг оси симметрии: например, эллиптические, параболические, гиперболические зеркала телескопов-рефлекторов. Термин употребляется также и в отношении линзовых элементов, имеющих форму поверхности, отличную от сферической.

АТЛАНТ (S XV, Atlas) – естественный спутник Сатурна. Автор открытия – Р. Террил (1980), по снимкам зонда «Вояджер-1». Большая полуось орбиты 137,67 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,6017 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0012. Наклонение орбиты к экватору планеты 0°. Размер 40,8×35,4×8,8 км. Альбедо около 40%. Блеск 19,0^m и максимальное угловое расстояние от планеты 22″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 81 К.

АТМОСФЕРА ПЛАНЕТЫ – газовая среда вокруг планеты, гравитационно связанная с ней. Например, атмосфера Земли – это её газовая «оболочка», состоящая (у поверхности) из азота (78%), кислорода (21%), аргона (менее 1%), углекислого газа, водорода, гелия, неона и др. В нижних слоях атмосферы присутствует водяной пар (до 3%); на высотах 20–25 км имеется слой озона, предохраняющий всё живое от губительного действия солнечных ультрафиолетовых лучей, которые ионизуют молекулы и атомы воздуха, образуя выше 100 км ионосферу. Форма внешних слоёв ионосферы контролируется магнитным полем Земли, которое под действием солнечного ветра имеет вид вытянутой капли.

АТМОСФЕРНАЯ РЕФРАКЦИЯ – преломление в атмосфере планеты световых лучей, приходящих от объектов наблюдения. В результате атмосферной рефракции направление лучей, достигших наблюдателя, отличается от их первоначального направления. Часто это явление называют также «астрономической рефракцией», имея в виду наблюдения с поверхности планеты удалённых объектов, находящихся далеко за пределом атмосферы. Вследствие рефракции наблюдаемая высота светила над горизонтом немного увеличивается.

Степень рефракции зависит от угла падения луча на границу атмосферы. При наблюдении светила в зените угол рефракции равен нулю. А у горизонта рефракция достигает максимального значения: для наблюдателя на уровне моря её угол составляет около 35′ (т. е. 35 угловых минут). Это чуть больше диаметра диска Луны или Солнца. Поэтому, когда мы видим сквозь атмосферу, что диск Луны или Солнца своим нижним краем коснулся горизонта, в действительности, если бы атмосфера не искажала направление лучей света, мы бы уже не увидели их диски, поскольку они скрылись бы под горизонтом. Таким образом, рефракция помогает нам заглянуть за горизонт. По причине атмосферной рефракции в момент полного лунного затмения солнечный свет частично попадает на диск Луны, пройдя сквозь атмосферу Земли. При этом в основном проходит красный свет, поскольку голубой рассеивается в атмосфере (см. *Атмосферная экстинкция*). Из-за этого во время лунного затмения диск Луны красный. Этим же эффектом объясняется явление зелёного луча Солнца (см. *Зелёный луч*).



Рефракция в плоской атмосфере. Изменение плотности воздушных слоёв для простоты показано ступенчатым. Величина рефракции значительно преувеличена

При не очень больших видимых зенитных расстояниях светил ($z<70°$) угол рефракции в визуальных лучах можно представить аналитически:

$$R = 58{,}2'' \operatorname{tg} z,$$

где число 58,2″ называют коэффициентом средней рефракции; оно равно рефракции при $z=45°$ при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) и температуре +10 °С. Так как преломление света зависит от плотности воздуха, для более точного вычисления рефракции надо учесть параметры атмосферы. Значение R меняется примерно на −0,36% на каждый градус температуры и на 0,14% на 1 мм давления. Точные значения R вычисляют для каждой обсерватории отдельно.

Поскольку угол рефракции зависит от зенитного расстояния светила и длины волны излучения (от которой зависит показатель преломления воздуха), то существует понятие дифференциальной атмосферной рефракции – разницы в углах рефракции двух светил (или частей одного протяжённого светила), зависящей от различия их зенитных расстояний (дистанционная часть) и цвета (хроматическая часть). Дистанционная дифференциальная рефракция отчётливо видна при наблюдении Солнца у горизонта: его диск сплющен по вертикали, причём снизу сильнее, чем сверху. Хроматическая дифференциальная рефракция (или атмосферная дисперсия) приводит к тому, что изображение звезды вытягивается в маленькую вертикальную полоску спектра, ориентированную голубым концом к зениту. Этот эффект вносит ошибку при измерении расстояний между звёздами, имеющими разный цвет (особенно важно учитывать этот эффект при измерении расстояний между компонентами двойных звёзд, чтобы верно определять их орбиты). Этот же эффект объясняет «зелёный луч» Солнца.

Описанные выше эффекты наблюдаются в сравнительно однородной атмосфере, плотность которой лишь плавно меняется с высотой. Однако бывают случаи резкого изменения плотности, например вблизи нагретой земной или водной поверхности, в результате чего могут наблюдаться миражи. Кроме этого, по причине турбулентного движения воздуха в атмосфере постоянно присутствуют мелкомасштабные флуктуации плотности, вызывающие мерцание и размытие астрономических изображений.

АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ – совокупность движений масс воздуха. Различают общую циркуляцию атмосферы в масштабе всего земного шара (или иной планеты) и местную циркуляцию атмосферы над отдельными территориями и акваториями. Последняя относится к воздушным течениям над сравнительно небольшими территориями и акваториями поверхности планеты и обусловлена географическими особенностями этих территорий или акваторий – характером рельефа, резкими контрастами температуры воздуха, подстилающей поверхностью и пр.

АТМОСФЕРНАЯ ЭКСТИНКЦИЯ – ослабление блеска небесных объектов по причине рассеяния и поглощения света в земной атмосфере. Экстинкция меняется при изменении состояния атмосферы в наблюдательном пункте и зависит от длины волны света, высоты пункта над уровнем моря и зенитного расстояния наблюдаемого объекта. При выполнении точных фотометрических работ необходимо измерять атмосферную экстинкцию и учитывать её влияние, корректируя результаты фотометрии. Чтобы иметь возможность сравнивать измерения одного объекта, проведённые в разных обсерваториях при различной высоте объекта над горизонтом, нужно непосредственно измеренные значения

«привести к зениту» и «вынести за атмосферу».

На уровне моря при наблюдении в зените в условиях чистого воздуха экстинкция составляет $0{,}5^m$ (т. е. 35%) для фиолетового, $0{,}2^m$ для жёлтого и $0{,}05^m$ (т. е. 5%) для глубокого красного цвета. Это и есть поправки для «выноса за атмосферу». С ростом зенитного расстояния (z) экстинкция (в звёздных величинах) растёт как секанс z (закон Буге):

$$m_\lambda = m_{\lambda,z} - a_\lambda \sec(z),$$

где m_λ — звёздная величина объекта на длине волны λ вне атмосферы, $m_{\lambda,z}$ — звёздная величина на длине волны λ и на зенитном расстоянии z, a_λ — коэффициент экстинкции на длине волны λ. Коэффициент экстинкции a_λ необходимо измерять несколько раз в течение ночи путём наблюдения одной или нескольких звёзд-стандартов. При $z > 60°$ зависимость более сложная: при больших зенитных расстояниях экстинкция возрастает нелинейно. В визуальной (жёлтой) области экстинкция достигает $1{,}2^m$ при $z = 80°$ и 5^m и даже более — у горизонта.

АТМОСФЕРНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ — см. *Атмосферная экстинкция*.

АТМОСФЕРНЫЕ ОКНА — ряд интервалов на шкале электромагнитных волн, в которых земная атмосфера полностью или частично прозрачна. Все спектральные области в какой-то мере искажены поглощением в атмосфере, но существуют две почти прозрачные области: оптическое окно и радиоокно. Кроме того, существует несколько узких, частично прозрачных инфракрасных окон.

Оптическое окно пропускает видимый свет в интервале от 295 нм (границей служит линия озона O_3) до 760 нм (граница — полоса молекулярного кислорода O_2). Более короткие волны блокируются атомами и молекулами кислорода, азота и других газов, а также водородом и гелием в геокороне.

Радиоокно простирается от длины волны 1 мм до 30 м. Более длинные волны отражаются ионосферой, а более короткие подвержены всё возрастающему молекулярному поглощению.

Несколько узких инфракрасных окон существует в области микрометров. В астрофотометрии эти области обозначены как J (1,25 мкм), H (1,6 мкм), K (2,2 мкм), L (3,6 мкм), M (5,0 мкм), N (10,2 мкм) и Q (21 мкм). Существуют два очень узких, но очень полезных окна на длинах волн 350 и 460 мкм. Поскольку одним из основных поглотителей в инфракрасной области являются пары воды, то телескопы для наблюдения в этой области должны располагаться в сухих и горных районах, где понижено содержание водяного пара и атмосфера более тонкая.

АТМОСФЕРНЫЙ ФРОНТ — переходная зона в тропосфере между смежными воздушными массами с разными физическими свойствами (температурой, влажностью). Атмосферный фронт возникает при соприкосновении масс холодного и тёплого воздуха в нижних слоях атмосферы или во всей тропосфере, охватывая слой мощностью (высотой) до нескольких километров, с образованием между ними наклонной поверхности раздела. Атмосферный фронт может находиться в стационарном состоянии или в движении. Различают тёплые и холодные фронты, а также фронты окклюзии — когда тёплый воздух, зажатый между двумя массами более холодного воздуха, вытесняется ими вверх, при этом формируется протяжённая зона облаков и осадков в виде устойчивых ливней. Основными атмосферными фронтами являются арктические, полярные и тропические.

АТОМНАЯ ЕДИНИЦА МАССЫ (а. е. м., или дальтон) — внесистемная единица массы, применяемая для выражения масс молекул, атомов, атомных ядер и элементарных частиц. Атомная единица массы равна $^1/_{12}$ массы нуклида углерода ^{12}C. Официально рекомендованными являются англоязычные термины *atomic mass unit* (a. m. u.) и более точный — *unified atomic mass unit* (u. a. m. u.), т. е. «универсальная атомная единица массы», но в русскоязычных научных и технических источниках он употребляется реже.

Рекомендованное на 2006 г. численное значение 1 а. е. м. $\approx 1{,}66054 \cdot 10^{-27}$ кг.

С другой стороны, 1 а. е. м. — это величина, обратная числу Авогадро, то есть $1/N_A$. Такой выбор атомной единицы массы удобен тем, что молярная масса данного элемента, выраженная в граммах на моль, в точности совпадает с массой этого элемента, выраженной в а. е. м.

Поскольку массы элементарных частиц обычно выражаются в электронвольтах, важным является переводной коэффициент между эВ и а. е. м.:

$$1 \text{ а. е. м.} \approx 0{,}931494 \text{ ГэВ}/c^2;$$

$$1 \text{ ГэВ}/c^2 \approx 1{,}073544 \text{ а. е. м.}$$

Здесь c — скорость света.

АФЕЛИЙ (греч. *aphelios* от *apo* — вдали и *helios* — солнце) — наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты или иного тела Солнечной системы.

АФОКАЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА — зрительная труба, дающая при наблюдении далёких объектов выходной пучок параллельных лучей. Таковы, например, все телескопы, предназначенные для визуальных наблюдений: изображение объекта на сетчатке глаза наблюдателя строит сам глаз, оптическая система которого (роговица, хрусталик) работает как положительная линза. Поскольку в афокальной оптической системе объектив и окуляр разделены расстоянием, равным сумме их фокусных расстояний, а значит, их фокусы совпадают, эту систему называют также конфокальной.

АХОНДРИТЫ — тип каменных метеоритов, которые образовались путём кристаллизации расплавленных каменных масс. Название указывает на отсутствие у них хондр, в отличие от метеоритов-хондритов. По сравнению с хондритами, для них характерно большее содержание богатых кальцием минералов. С другой стороны, в них намного меньше металлов и сульфидных минералов.

АХРОМАТ (от греч. *achromatos* — бесцветный) — сложная линза, состоящая из двух (собирающей и рассеивающей) линз, изготовленных из неодинаковых по дисперсии света сортов стекла и, как правило, склеенных между собой. По сравнению с одиночной линзой у ахромата существенно уменьшена хроматическая аберрация: путём подбора линз добиваются того, что лучи света каких-либо двух длин волн сходятся в один фокус точно, а остальные лучи сходятся в значительной степени. Передняя линза обычно положительная, имеет заметный хроматизм. Вторая линза отрицательная, имеет хроматизм другого знака, удлиняет фокусное расстояние объектива и уменьшает его хроматическую аберрацию, сводя красные и фиолетовые лучи в одном фокусе. Ахроматические объективы применяются для телескопов и биноклей.

Первый ахромат изобрёл в 1729 г. английский юрист и математик Честер Холл (Chester Moor Hall, 1703–1771). По его заказу в 1733 г. оптик Г. Бест построил несколько телескопов с объективами диаметром 2,5 дюйма, имеющими положительную линзу из крона и отрицательную из флинта. Но стекло, особенно флинт, было неоднородным, и качество этих объективов оказалось плохим. Патент на изобретение Холл получать не стал.

В 1754 г. английский оптик Джон Доллонд (1706–1761), основатель знаменитой династии конструкторов научных приборов, в 1754 г. самостоятельно построил ахромат, получил в 1758 г. патент и медаль от Королевского общества и стал изготавливать телескопы-рефракторы высокого качества. Его сын Питер Доллонд (1730–1820) изобрёл ахроматический триплет, объединив две выпуклые кроновые линзы и одну двояковогнутую из флинта. Такая комбинация — апохромат — свободна не только от хроматической, но и от сферической аберрации.

АХРОМАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТИВ — составной объектив (ахроматический дублет), в котором хроматическая аберрация

уменьшена по сравнению с одиночной линзой (см. *Ахромат*).

АХРОМАТИЧЕСКИЙ ОКУЛЯР РАМСДЕНА — см. *Окуляр Кёльнера*.

АЭРОЗОЛИ (греч. *aër* — воздух + англ. *sol(id)* от лат. *solidus* — плотный, твердый) — мелкие частицы твёрдого или капли жидкого вещества, находящиеся во взвешенном состоянии в газовой среде. Облака, дымы, смоги и туманы состоят из аэрозолей. Слово происходит от В общем случае золи — это коллоидные растворы, например гидрозоли, у которых растворитель — вода. У аэрозолей «растворитель» — газ, в котором плавают твёрдые или жидкие частицы.

АЭРОНОМИЯ (от греч. *aër* — воздух и *nomos* — закон) — наука, изучающая физические и химические процессы в верхних слоях атмосфер любых планет, в том числе и земной атмосферы и ионосферы на высотах от 50 до 500 км, где процессы диссоциации и ионизации газов имеют доминирующее значение.

Б

БААДЕ, Вильгельм Генрих Вальтер (Baade, Wilhelm Heinrich Walter) (24.3.1893, Шрёттингхаузен, Германия, — 25.6.1960, Гёттинген, Германия) — немецкий астроном, долго работавший в США. Открыл астероиды Гидальго и Икар. Изучал кометы, астероиды и переменные (в том числе сверхновые) звёзды. Установил звёздную природу ядра галактики Андромеды и её спутников. Разработал концепцию различных типов звёздного населения галактик. Автор (вместе с Цвикки) идеи о рождении нейтронных звёзд при взрывах сверхновых.



Вальтер Бааде

БАЗА ДАННЫХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ — электронный каталог, поддерживаемый NASA, содержащий данные об объектах за пределами нашей Галактики, т. е. о других галактиках, квазарах и т. п. Официальное название — NASA/IPAC Extragalactic Database (NED). Кроме физических данных (фотометрия, спектр, красное смещение, расстояние, светимость и т. п.) содержит также библиографические данные, интерактивные калькуляторы, толковый словарь, кросс-корреляцию и другие полезные инструменты для исследователей галактик. В 2011 г. эта база содержала данные о более чем 165 млн объектов, для которых приведено около 2 млн красных смещений, 2 млрд фотометрических измерений, 9 млн измерений диаметров, 2,3 млн изображений и карт. Для 210 тыс. объектов приведено 390 тыс. детальных классификаций. База доступна по адресу http://nedwww.ipac.caltech.edu.

БАЗА ДАННЫХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЛИОН–МЕДОН (Lyon-Meudon Extragalactic Database, LEDA) — электронный каталог данных о физических параметрах галактик. Создан в 1983 г. на Лионской обсерватории и в то время содержал данные о более чем 60 параметрах 100 тыс. галактик. В 2000 г. слился с базой Hypercat, и теперь вместе они носят имя HyperLeda и содержат данные о 3 млн небесных объектов, из которых 1,5 млн галактик. Адрес: http://leda.univ-lyon1.fr.

БАЙЕР, Йоган (Bayer, Johann) (1572, Райн, Бавария, — 7.03.1625, Аугсбург, Бавария) — немецкий астроном, автор «Уранометрии» (1603) — первого полного атласа неба, в котором видимые невооружённым глазом звёзды в каждом созвездии он обозначил буквами греческого алфавита, как правило, в порядке убывания их блеска. Эти обозначения используются и сейчас.

БАЛДЖ ГАЛАКТИКИ (англ. *bulge* — вздутие) — центральная, наиболее яркая часть сферической составляющей дисковой галактики; как и вся сферическая составляющая, балдж состоит из старых звёзд, движущихся по вытянутым орбитам. Внешне балдж выглядит как центральное утолщение диска галактики. В центре балджа обычно имеется очень плотное ядро.

БАЛЛОННАЯ АСТРОНОМИЯ — астрономические исследования, проводимые при помощи приборов (оптических телескопов, микроволновых и инфракрасных детекторов), поднятых с помощью аэростатов на высоту от 20 до 40 км, где влияние атмосферы на результаты наблюдений незначительно.

БАЛЬМЕРОВСКИЕ ЛИНИИ — серия спектральных линий атома водорода в оптической области спектра. Возникают при переходах с первого возбуждённого энергетического уровня атома водорода на высшие уровни и обратно. Обозначаются буквой H с добавлением греческих букв в алфавитном порядке, начиная с длинноволновой части: Hα (длина волны 656,3 нм), Hβ (486,1 нм), Hγ (434,0 нм) вплоть до границы серии Бальмера на 364,6 нм.

БАЛЬМЕРОВСКИЙ СКАЧОК — резкое падение интенсивности излучения в спектрах звёзд, начинающееся вблизи границы бальмеровской серии (3646 Å = 364,6 нм; $h\nu = 3{,}4$ эВ) и простирающееся в сторону более коротких длин волн. Скачок вызван резким увеличением коэффициента поглощения для квантов с энергией больше 3,4 эВ, которые ионизуют атомы водорода, находящиеся на первом возбуждённом энергетическом уровне. Далее коэффициент поглощения убывает пропорционально ν^{-3}, а интенсивность излучения в спектре возрастает (поскольку становятся видны более глубокие слои атмосферы звезды).

БАР — внесистемная единица давления, близкая к давлению земной атмосферы на уровне моря. 1 бар = 10^5 Па = 10^5 Н/м^2 = 10^6 дин/см^2 = 0,986923 атм ≈ 750 мм рт. ст. Иногда эту единицу называют «новым баром», поскольку существовал (в системе единиц СГС) ныне вышедший из употребления «старый бар», равный 1 дин/см^2.

БАР ГАЛАКТИКИ (англ. *bar* — перемычка) — элемент структуры многих спиральных и неправильных галактик; выглядит как вытянутое уплотнение из звёзд и межзвёздного газа, лежащее в плоскости диска. Центр бара обычно совпадает с центром диска. Если у галактики есть бар, то спиральные ветви начинаются от концов бара, а не из центра галактики.

БАРИОННОЕ ВЕЩЕСТВО — вещество, основой которого служат барионы — тяжёлые элементарные частицы, т. е. протоны и нейтроны, вместе называемые нуклонами, а также ряд короткоживущих частиц, которые при распаде порождают протоны. Всё вещество, с которым мы имеем дело в лаборатории и из которого состоим сами, является барионным.

БАРИОНЫ — общее название адронов (сильно взаимодействующих элементарных частиц) с полуцелым спином (выраженным в единицах $h = h/2\pi$, где h — постоянная Планка). К барионам относятся нуклоны, гипероны, барионные резонансы (короткоживущие частицы, распадающиеся на барионы и мезоны). Барионы состоят из трёх кварков, связь между которыми осуществляется глюонным полем. На расстояниях ~10^{-13} см (размер атомного ядра) между барионами действуют очень большие силы, экспоненциально уменьшающиеся с расстоянием. Это так называемое сильное взаимодействие, удерживающее, в частности, нуклоны в ядрах атомов, т. е. порождающее ядерные силы. Между заряженными барионами действуют также электро-

магнитные силы, однако на расстояниях меньше 10^{-13} см они оказываются значительно слабее ядерных сил.

Сильное взаимодействие имеет основное значение в ядерной физике. В космических явлениях оно может проявляться в нейтронных звёздах, при очень больших (ядерных) плотностях вещества (достигаемых в процессе гравитационного коллапса), а в прошлом — на ранних стадиях расширения Вселенной. Масса вещества в основном определяется массой барионов, поскольку кроме них в обычном веществе содержатся только электроны, а масса электрона примерно в две тысячи раз меньше массы нуклона. Антибарионы (антипротоны и др.) в значительном количестве во Вселенной не обнаружены.

Разность между числом барионов и антибарионов называют барионным числом, или барионным зарядом системы частиц. Во всех известных процессах, в частности во всех ядерных реакциях, барионный заряд системы сохраняется. Однако в связи с разработкой моделей единой теории поля высказывается предположение о возможном несохранении барионного заряда и нестабильности протона.

БАРИЦЕНТР (от греч. *baros* — тяжесть и *«центр»*) — центр масс физического тела сложной формы, а также системы двух или большего количества тел.

БАРН (англ. *barn*) (б, b) — внесистемная единица измерения площади, применяемая для выражения эффективного поперечного сечения ядерных процессов: $1\ б = 10^{-24}\ см^2 = 10^{-28}\ м^2$.

БАРНАРД, Эдуард Эмерсон (Barnard, Edward Emerson) (16.12.1857, Нашвилл, шт. Теннесси, США, — 6.02.1923, Уильямс-Бей, шт. Висконсин, США) — американский астроном, один из самых выдающихся астрономов-наблюдателей своего времени. Систематического образования не получил. Работал фотографом с детских лет. В 1883–1887 гг. учился и работал в университете Вандербилта в Нашвилле. В 1888–1895 гг. сотрудник Ликской обсерватории, с 1895 г. профессор практической астрономии Чикагского университета и астроном Йеркской обсерватории. В молодости открыл 5 новых комет, за что 5 раз получал премию Х. Уорнера размером в 200 долларов и построил на эти деньги дом для своей семьи. Всего обнаружил 16 комет. Визуально открыл пятый спутник Юпитера (1892). Положил начало широкому применению фотографии в астрономии. Он получил первые превосходные фотографии Млечного Пути, звёздных скоплений, тысячи фотографий комет. Широко известен его фотографический «Атлас избранных областей Млечного Пути». Открывал и изучал переменные, новые и двойные звёзды, туманности, наблюдал Эрос для определения астрономической единицы. Составил каталог 182 тёмных туманностей в Млечном Пути. Наблюдал редкое явление — затмение спутника Сатурна Япета креповым кольцом планеты (1 ноября 1889 г.). В следующий раз такое наблюдение смогли произвести 20 октября 1977 г. Открыл звезду, имеющую самое большое собственное движение (10″/год); её называют Летящей звездой Барнарда. Некоторые важные наблюдения, выполненные Барнардом, были возможны лишь благодаря уникальной остроте его зрения. Награды: золотая медаль Лондонского королевского астрономического общества (1897), медали им. Ж. Ж. Ф. Лаланда (1892), им. Д. Ф. Араго (1893) и им. П. Ж. С. Жансена (1900) Парижской АН, премия им. П. Ж. С. Жансена Французского астрономического общества (1906), медаль им. К. Брюс (1917) и три медали, присуждаемые за исследования комет, Тихоокеанского астрономического общества.

БАРНАРДА ЗВЕЗДА — звезда в созвездии Змееносец. Каталожные обозначения: BD+04°3561a, Gliese 699, HIP 87937 и др. Неофициальные названия: Звезда Барнарда, Летящая звезда Барнарда, Проксима Змееносца и др. Визуальная видимая звёздная величина $9{,}5^m$. Расстояние от Солнца: 1,83 пк (около 6 св. лет). По близости к нам это четвёртая звезда после трёх компонентов системы Альфа Кентавра (α Cen). Координаты Звезды Барнарда на эпоху и равноденствие J2000,0: $\alpha = 17^h57^m48{,}5^s$; $\delta = +04°41'36''$.

Звезда Барнарда знаменита тем, что обладает необычно быстрым (максимальным среди известных звёзд) собственным движением, которое впервые измерил в 1916 г. американский астроном Эдуард Барнард. За год эта звезда проходит на небосводе относительно более далёких «неподвижных» объектов путь в 10,3″, а за 180 лет смещается на величину поперечника лунного диска. Это холодный красный карлик спектрального класса M4Ve. Его масса $0{,}16\,M_\odot$, радиус $0{,}17\,R_\odot$, болометрическая светимость $0{,}0035\,L_\odot$, визуальная светимость $0{,}00043\,L_\odot$. Его металличность в несколько раз ниже солнечной, а возраст — вдвое больше. Хотя звезда очень старая, изредка она демонстрирует вспышечную активность. Звезда Барнарда стремительно приближается к нам: её лучевая скорость относительно Солнца составляет −111 км/с. Через 9 тыс. лет она окажется на таком же расстоянии от нас, как α Cen, но затем начнёт удаляться.

Поскольку масса Звезды Барнарда почти в 6 раз меньше массы Солнца, влияние на неё соседей-планет (если они есть) должно быть весьма заметным. Более полувека, начиная с 1938 г., движение этой звезды изучал американский астроном Питер ван де Камп (1901–1995). Он измерил её положение на тысячах фотопластинок и заявил, что у звезды обнаруживается волнообразная траектория с амплитудой покачиваний около 0,02″, а значит, вокруг неё обращается невидимый спутник. Из расчётов П. ван де Кампа следовало, что масса спутника чуть больше массы Юпитера (M_J), а радиус его орбиты 4,4 а. е. В начале 1960-х гг. это сообщение облетело весь мир и получило широкий резонанс. Ведь эти годы пришлись на первое десятилетие практической космонавтики и поиска внеземных цивилизаций, поэтому энтузиазм людей в отношении новых открытий в космосе был чрезвычайно велик. Продолжая наблюдения, П. ван де Камп позже настаивал на существовании у Звезды Барнарда двух или даже трёх планет. Уверенность в существовании планет у Звезды Барнарда была столь велика, что в середине 1970-х гг. детально разрабатывался проект запуска к ней ядерного звездолёта «Дедал» для поиска обитаемой планеты.

Но не все астрономы согласились с выводами П. ван де Кампа. Продолжая наблюдения и увеличивая точность измерений, американский астроном Джордж Гейтвуд и его коллеги к 1973 г. выяснили, что звезда Барнарда движется ровно, без колебаний, а значит, массивных планет в качестве спутников не имеет. Однако эти же работы принесли в 1996 г. новую находку: были замечены зигзаги в движении шестой от Солнца звезды Лаланд 21185, удалённой от Солнца на 2,5 пк. (На её волнообразное движение указывал и сам П. ван де Камп ещё в 1951 г.) По мнению Гейтвуда, вокруг звезды Лаланд 21185 обращаются две планеты: одна с периодом 30 лет (масса 1,6 M_J, радиус орбиты 10 а. е.) и вторая с периодом 6 лет (0,9 M_J, 2,5 а. е.). Но это открытие до сих пор не только не подтверждено, но и вызывает всё большие сомнения. Поиск планет у самой Звезды Барнарда продолжается, но результат пока отрицательный.

Как одна из ближайших звёзд, к тому же, как считалось, имеющая планеты, Звезда Барнарда намечалась в 1970-е гг. в качестве первоочередной цели для межзвёздной экспедиции. Существует несколько проектов термоядерных звездолётов, наиболее проработанный из которых — английский «Дедал» — позволяет за десятки лет достичь соседних звёзд. Но размер этого корабля (около 200 м) и его масса (десятки тысяч тонн) делают стоимость проекта фантастической. Вряд ли можно рассчитывать на создание такого корабля. В последние годы подобные проекты не обсуждаются.

БАРСТЕР (англ. *burst* — вспышка) — вспыхивающий космический источник рентгеновского излучения (рентгеновский барстер, X-ray burster, XRB) с интервалом повторения вспышек от нескольких минут

до нескольких десятков часов. Во время вспышки демонстрирует быстрое возрастание яркости (за 0,2–10 с) и более медленный спад (за 3–100 с). В максимуме вспышки светимость обычно увеличивается в 10 и более раз. Первый барстер был обнаружен в 1975 г. с помощью голландского спутника ANS (Astronomische Nederlands Satelliet). К 1985 г. уже было открыто свыше 30 барстеров, а к 2000 г. – более 50. Восемь из них находятся в шаровых звёздных скоплениях, что непропорционально много, учитывая, сколь малая доля звёзд Галактики содержится в этих скоплениях.

Большинство барстеров расположено в пределах 30° от направления на галактический центр, что свидетельствует об их принадлежности к сферической подсистеме Галактики. Следовательно, если считать среднее расстояние до барстера по порядку величины совпадающим с расстоянием до центра Галактики (8 кпк), то данные наблюдений позволяют оценить рентгеновскую светимость барстера во время вспышки ($L_X \approx 10^{30}$–10^{31} Вт) и полную энергию излучения за это время в рентгеновском диапазоне ($E_X \approx 10^{31}$–10^{32} Дж).

У некоторых барстеров наблюдались как рентгеновские, так и оптические всплески излучения, близкие по продолжительности, но с запаздыванием $\tau \approx 3$ с оптического всплеска относительно рентгеновского. Наличие оптического «эха» позволяет предположить, что барстер – тесная двойная звёздная система, в которой рентгеновское излучение одного компонента поглощается и переизлучается в оптическом диапазоне другим компонентом, находящимся на расстоянии $\Delta r \sim c\tau \approx 10^9$ м.

Вспышки подавляющего большинства известных барстеров объясняются термоядерными взрывами гелия в вырожденном веществе на поверхности нейтронных звёзд, входящих в тесные двойные системы. Максимальная светимость в процессе взрыва достигает эддингтоновского предела для объекта с массой порядка солнечной. Полная энергия одного взрыва обычно составляет 10^{32}–10^{33} Дж. Такие взрывы могут регулярно происходить в том случае, если в тесной двойной системе с поверхности нормальной звезды-донора на нейтронную звезду происходит непрерывная аккреция газа, масса которого там постепенно накапливается вплоть до критической. В результате аккреции газа выделяется также его гравитационная энергия, обеспечивающая постоянную рентгеновскую светимость на уровне порядка 10^{30} Вт. Между вспышками (в спокойной фазе) барстеры являются медленно меняющимися рентгеновскими источниками с энергией фотонов около 15 кэВ. Интервал между вспышками не остаётся постоянным: он может меняться в 3–4 раза. Если для описания спектра рентгеновской вспышки принять закон излучения Планка, то радиус излучающей области составит около 10 км.

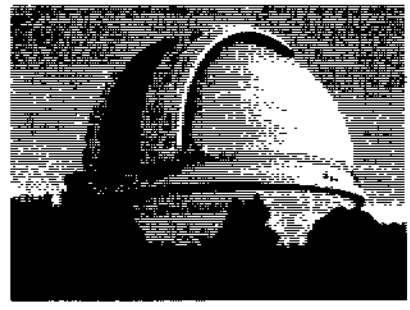
Иногда аккреция происходит неравномерно, и это тоже вызывает рентгеновские вспышки. У одного из барстеров (MXB 1730–335, названного Быстрым барстером) обнаружены оба типа вспышек – аккреционные и термоядерные: вспышки с интервалами около 100 с (вспышки 2-го типа) прерываются раз в 34 ч обычной вспышкой (1-го типа). Вероятной причиной неравномерной аккреции считают взаимодействие падающего газа с магнитосферой нейтронной звезды: накапливаясь поверх магнитосферы, газ время от времени прорывает её и падает крупными порциями на поверхность.

Анализ данных наблюдений позволил определить орбитальные периоды барстеров, которые оказались меньше 10 часов. Очевидно, что барстеры представляют собой тесные двойные системы из красного карлика (массой менее 1 $M_\odot$) и нейтронной звезды. В такой системе красный карлик, заполнив в процессе эволюции полость Роша, начинает терять вещество, которое перетекает на нейтронную звезду. В рамках данной модели рентгеновское излучение барстера в спокойной фазе обусловлено выделением гравитационной энергии вещества, аккрецируемого нейтронной звездой. Тепловая эволюция аккрецируемого слоя (до сгорания термоядерного топлива) определяется двумя процессами – адиабатическим сжатием вещества и его охлаждением за счёт лучистой или электронной теплопроводности. Если в момент загорания водорода или гелия вещество вырождено, то развивается тепловая вспышка, приводящая к быстрому увеличению температуры, что, в свою очередь, ускоряет процесс энерговыделения и способствует выделению за короткое время большого количества энергии, главным образом в виде рентгеновского излучения.

Существенным доводом в пользу термоядерной модели барстеров служит наблюдательный факт, что у барстеров отношение энерговыделения в период между вспышками (связанного с аккрецией) к энерговыделению во время всплеска рентгеновского излучения (термоядерный взрыв той же массы вещества) близко к 100. Такое же значение этого отношения следует из теории: оно практически совпадает с отношением гравитационной энергии вещества на поверхности нейтронной звезды (10^{16} Дж/кг) к энергии, выделяемой при термоядерном сгорании гелия (10^{14} Дж/кг).

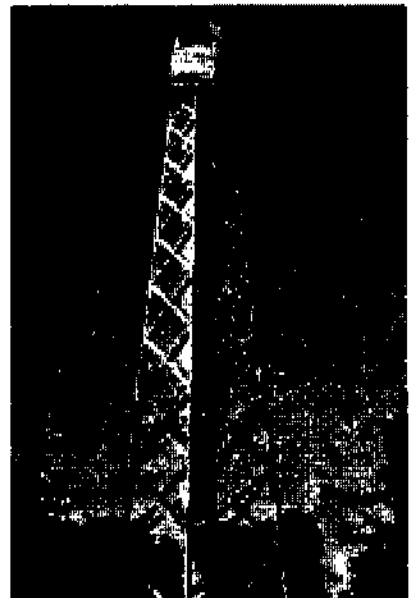
БАТТАНИ (абу Абдаллах Мухаммед ибн Джабир ибн Синан аль-Баттани) (858–929) – арабский астроном и математик. Родился в Баттане (Сирия). Первым предложил методы вычисления сферических треугольников, провёл множество астрономических наблюдений, составил таблицы движения Солнца и Луны. Точнее, чем Птолемей, определил наклон эклиптики к экватору и значение прецессии.

БАШНЯ ТЕЛЕСКОПА – помещение, в котором располагается стационарный телескоп. Служит как укрытие от непогоды, а во время наблюдений – от ветра. В верхней части обычно имеет поворачивающийся купол сферической, конической или цилиндрической формы с раскрывающимся люком («щелью»), сквозь который телескоп наблюдает небо.



Башня 200-дюймового рефлектора Паломарской обсерватории (Калифорния) с полусферическим куполом и раздвигающимися створками щели

БАШЕННЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ТЕЛЕСКОП – телескоп для наблюдения Солнца, труба которого выполнена в виде высокой неподвижной башни, ориентированной ли-



Башенный солнечный телескоп обсерватории Маунт-Вилсон (Калифорния)

бо вертикально, либо вдоль земной оси. Для ведения за Солнцем в верхней части трубы располагается целостат. Такая конструкция значительно удешевляет телескоп, позволяет делать его длиннофокусным и уменьшить влияние приземной турбулентности.

БЕЙЛИ, Фрэнсис (Baily, Francis) (28.04.1774, Ньюбери, граф. Беркшир, Англия, — 30.08.1844, Лондон, Англия) — английский астроном. Впервые описал (1836) появление ярких точек на краю лунного диска в начале и конце полной фазы солнечного затмения («чётки Бейли», Baily's beads). Оно возникает, когда солнечный свет проходит между горами на краю лунного диска.

БЕККЕРЕЛЬ (Бк, Bq) — единица радиоактивности в системе СИ, соответствует одному распаду в секунду. Названа в честь А. А. Беккереля (A. A. Becquerel), открывшего естественную радиоактивность (1896). 1 Бк = $2{,}703 \cdot 10^{-11}$ кюри = 10^{-6} резерфорда.

БЕЛАЯ ДЫРА — гипотетический физический объект, по своим свойствам во многом противоположный чёрной дыре. Как понятие в рамках теоретической физики белая дыра является одним из решений уравнений общей теории относительности Эйнштейна; при определённых условиях оно подобно решению для чёрной дыры, но с обращенной стрелой времени. Так, если чёрная дыра может только поглощать материю, то белая дыра — только извергать её. Для внешнего наблюдателя белая дыра должна выглядеть как взрывное рождение вещества и излучения из сингулярности.

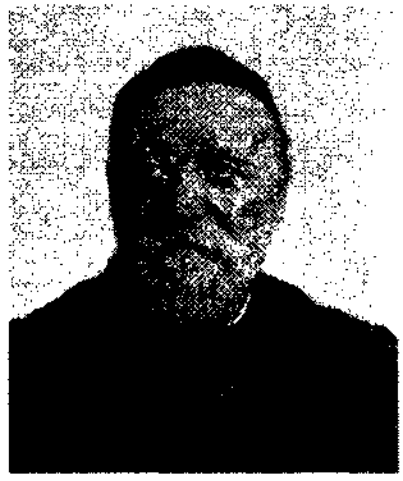
Теоретически белую дыру как особенность пространства-времени, возможную в рамках общей теории относительности, предсказал И. Д. Новиков в 1963 г. Он полагал, что белые дыры могут служить источником гигантской энергии, выделяющейся в квазарах. Позже Я. Б. Зельдович, В. П. Фролов и др. доказали, что белая дыра подвержена классической и квантовой неустойчивости. Поскольку данное решение уравнений Эйнштейна неустойчиво относительно возмущений метрики, белая дыра может быть только вечной, т. е. должна существовать во Вселенной с самого начала её расширения и не может родиться позже, например в процессе гравитационного коллапса. Поэтому пространственно-временную сингулярность белой дыры можно рассматривать как «задержавшуюся» начальную сингулярность Вселенной. В математическом смысле уединённое решение только с белой дырой не является полным, так как описывает не всё пространство-время, а только его часть. Поэтому вечная белая дыра может существовать, лишь будучи топологически связана с вечной чёрной дырой, тогда математическое описание пространства-времени становится корректным.

Сложная топология пространства-времени в принципе допускает существование коротких «горловин» («тоннелей»), связывающих чёрную и белую дыры, расположенные очень далеко друг от друга, даже в разных вселенных. Если ограничиться простой математической моделью, то оказывается, что, упав в чёрную дыру, можно вылететь из белой дыры, быстро преодолев огромное пространство. Но более детальные расчёты показывают, что горловины неустойчивы: попадающее в них вещество и даже излучение своей гравитацией заставляют «схлопываться» горловину, превращая её в сингулярность. А белые дыры под действием гравитации вещества, рождающегося внутри них и падающего на них снаружи, быстро превращаются в чёрные дыры. Поэтому астрофизики сейчас полагают, что белые дыры в природе в естественных условиях существовать не могут.

БЕЛИНДА (U XIV, Belinda) — естественный спутник Урана. Его открыл Стивен Синнотт 13 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 75 256 км. Орбитальный период 0,62352747 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00007. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,0306°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 128×64×64 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным, причём большая ось эллипсоидальной фигуры спутника постоянно ориентирована на планету. Масса около $3{,}6 \cdot 10^{17}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 14 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 34 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск $21{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 6″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

БЕЛЛ, Джоселин (Bell Burnell, Susan Jocelyn) (р. 15.7.1943, Белфаст, Сев. Ирландия) — английский радиоастроном. Вместе со своим научным руководителем Э. Хьюишем открыла радиопульсары (1967).

БЕЛОПОЛЬСКИЙ, Аристарх Аполлонович (1(13).7.1854, Москва, Россия, — 16.5.1934, Пулково, Ленинград, СССР) — российский астроном, академик (1903). Один из основоположников астрофизики. Исследовал Солнце фотографическим методом; получил фотографии солнечной короны. Всесторонне исследовал кометы, вращение Венеры, Юпитера и колец Сатурна. В числе первых определил элементы орбит нескольких переменных



А. А. Белопольский

и спектрально-двойных звёзд, исследовал спектры новых звёзд, лучевые скорости небесных светил, один из пионеров в фотографировании их спектров с помощью спектрографов. Используя эффект Доплера, измерял лучевые скорости звёзд; обнаружил периодическое изменение лучевой скорости у цефеид. Внёс существенный вклад в развитие и оснащение Пулковской обсерватории и её отделений.

БЕЛЫЙ КАРЛИК — маленькая звезда размером с Землю, но при этом весьма массивная (приблизительно как Солнце) и поэтому очень плотная: в среднем её вещество в миллион раз плотнее воды. Заметить в телескоп столь маленькую звезду обычно удаётся лишь в том случае, если её поверхность имеет очень высокую температуру, а значит — белый цвет. Но по мере остывания белого карлика его цвет, разумеется, меняется по закону Вина, постепенно перемещаясь в красный, а затем и в инфракрасный диапазон. Исторически название «белый карлик» связано с цветом первых открытых представителей этого класса — Сириуса B и 40 Эридана B — горячих белых звёзд. Позднее были открыты и более холодные жёлтые и красные белые карлики. Все они относятся к звёздам, находящимся на одной из конечных стадий эволюции.

Белый карлик представляет собой сжавшееся ядро нормальной звезды, которая после стадии красного гиганта и исчерпания топлива на заключительном этапе эволюции сбрасывает с себя оболочку (см. *Планетарная туманность*). Лишённый термоядерного источника энергии, белый карлик противостоит гравитационному сжатию лишь за счёт давления вырожденного электронного газа, возникающего при высокой плотности вещества в силу квантовомеханического принципа Паули. По этой причине белые карлики называют вырожденными звёздами. Теория указывает, что чем выше

масса, тем меньше размер белого карлика. Более того, для его массы существует верхний предел – так называемый предел Чандрасекара (около 1,4 массы Солнца), при котором белый карлик формально должен сжаться до нуля, а фактически – превратиться в нейтронную звезду. Сжатию нейтронных звёзд противостоит давление вырожденного нейтронного газа, поэтому их тоже называют вырожденными звёздами.

Впрочем, ни белый карлик, ни нейтронная звезда не являются звёздами в точном смысле этого слова, поскольку в их недрах не протекают термоядерные реакции. В действительности это остатки звёздной эволюции, Но по традиции их называют звёздами. Среди 100 ближайших к Солнцу звёзд (одиночных и кратных) обнаружено 8 белых карликов, а всего к 2010 г. их обнаружено более 10 тыс. По количеству белые карлики составляют от 3 до 10% всех звёзд Галактики.

Первый белый карлик (40 Eri B) в составе тройной звезды 40 Эридана обнаружил Вильям Гершель 31 января 1783 г. Разумеется, о природе этого объекта он не догадывался. Только в 1910 г. американские астрономы Генри Норрис Рассел, Эдуард Пикеринг и Вильямина Флеминг обнаружили, что у звезды 40 Eri B спектральный класс A, т. е. это белая горячая звезда, слабый блеск которой говорит об очень маленьком её размере. Термин «белый карлик» (англ. *white dwarf*) предложил в 1922 г. американский астроном Виллем Лёйтен (Willem Luyten, 1899–1994).

Физика белых карликов

Масса белого карлика (M) сравнима с массой Солнца $M_\odot = 2 \cdot 10^{33}$ г, но его радиус (R) примерно в 100 раз меньше радиуса Солнца $R_\odot \approx 7 \cdot 10^{10}$ см. Поэтому средняя плотность вещества белого карлика ($\sim 10^6$ г/см^3) в миллионы раз выше плотности нормальных звёзд. Белые карлики существуют благодаря устойчивому равновесию между силой гравитации и давлением вырожденного газа электронов, которое определяется практически только плотностью вещества и почти не зависит от его температуры и химического состава (поскольку в недрах белых карликов нет водорода, а у других элементов число электронов на единицу массы почти постоянно). Вследствие однозначной связи давления с плотностью теория предсказывает однозначное соотношение между M и R: чем больше масса белого карлика, тем меньше его радиус. Более того, должен существовать верхний предел массы – чандрасекаровский предел $M_{Ch} \approx 1{,}4 M_\odot$, превышение которого на поздних стадиях эволюции приводит к гравитационному коллапсу звезды.

Существование предела массы у белого карлика (он был рассчитан С. Чандрасекаром в 1931 г.) объясняется тем, что с ростом плотности скорость электронов приближается к предельной, т. е. к скорости света. Из-за этого давление p растёт с плотностью ρ недостаточно быстро ($p \sim \rho^{4/3}$), чтобы удержать звезду в устойчивом равновесии. Для устойчивости равновесия необходим более быстрый рост давления, чем при показателе степени $4/3$. Потере устойчивости способствуют также нейтронизация вещества и эффекты общей теории относительности.

По современным представлениям, белый карлик образуется из нормальной звезды с начальной массой в несколько масс Солнца после исчерпания термоядерного горючего в её центральной области, сжатия ядра и сброса внешних слоёв, окружающих это плотное ядро. Конечная масса белого карлика всегда меньше $1{,}4 M_\odot$. После сброса оболочки ядро звезды, практически лишённое источников термоядерной энергии, имеет очень высокую температуру поверхности ($T_п \approx 2 \cdot 10^5$ К) и постепенно остывает, превращаясь в белый карлик. У наиболее горячего среди известных белых карликов $T_п \approx 1{,}5 \cdot 10^5$ К, у наиболее холодных – около $4 \cdot 10^3$ К. Основным источником светимости белого карлика служит просто остывание, т. е. расход тепловой энергии ионов, запасённой в недрах звезды. На стадии образования и начального остывания существенную роль в эволюции белого карлика играют нейтринные потери. Теория остывания одиночных белых карликов предсказывает связь светимости (L) с возрастом, в общих чертах подтверждаемую наблюдениями ($L \sim 10^{-3} L_\odot$ соответствует возрасту $\sim 10^9$ *лет*). При очень низких светимостях ($< 10^{-4} L_\odot$) в недрах белого карлика должна происходить кристаллизация, однако точность наблюдений пока недостаточна, чтобы заметить её эффекты. Если белый карлик входит в тесную двойную систему, то существенный вклад в его светимость может давать термоядерное горение на поверхности карлика вещества, аккрецируемого со звезды-спутника. Это горение имеет, повидимому, нестационарный характер, что, возможно, объясняет вспышки новых и новоподобных звёзд.

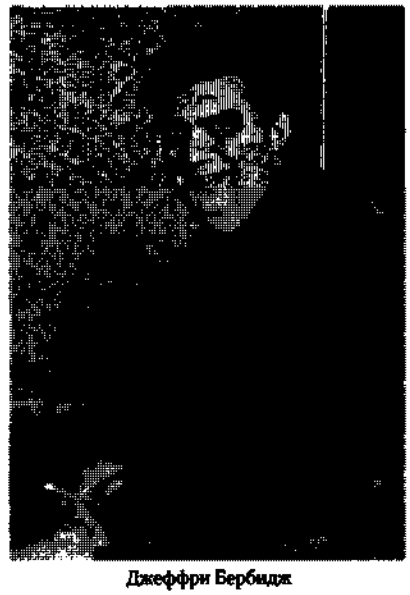
Спектры белых карликов сильно отличаются от спектров обычных звёзд. Линии поглощения в спектрах белых карликов сильно уширены. Кроме того, они испытывают гравитационное красное смещение, эквивалентное скорости в несколько десятков километров в секунду. Оба эффекта помогают проверить теоретическое соотношение «масса–радиус». Химический состав атмосфер белых карликов, определяемый по спектрам, также очень необычен. У большинства из них атмосферы состоят почти из чистого водорода, содержание других элементов в десятки и сотни раз снижено по сравнению с нормальными звёздами. В то же время в недрах этих белых карликов водорода не должно быть, иначе они бы взорвались из-за быстрого выделения энергии при термоядерном горении водорода.

У других белых карликов основной элемент в атмосферах – гелий, а водорода в сотни тысяч раз меньше. Различия в составе атмосфер белых карликов объясняются эффектами эволюции, аккреции и разделения вещества в сильном гравитационном поле (ускорение свободного падения на поверхности белых карликов $\sim 10^6$ м/с^2).

У некоторых белых карликов обнаружена сильная поляризация излучения, или расщепление спектральных линий, вследствие эффекта Зеемана, что указывает на существование у них магнитных полей от 10^6 до 10^8 Гс. У нескольких белых карликов обнаружены оптические пульсации с периодами 10^2–10^3 с.

БЕЛЫЙ ШУМ – шум (хаотический сигнал), имеющий одинаковую интенсивность на всех частотах, то есть подобный белому свету, в котором в равной степени представлены все цвета.

БЕРБИДЖ, Джеффри (Burbidge, Geoffrey Ronald) (24.09.1925, Чиппинг-Нортон, Оксфордшир, Англия, – 26.01.2010, Ла-Хойя, Калифорния, США) и **Элинор Маргерит** (Burbidge, Eleanor Margaret, урождённая Peachey) (р. 12.08.1919, Давенпорт, близ Манчестера, Англия) – американские супруги-астрономы, оба из Англии. Одни из создателей теории строения и эволюции звёзд и теории происхождения химических элементов во Вселенной (совместно с Уильямом Фаулером и Фредом Хойлом, 1957). Джеффри Бербидж, вместе с Ф. Хойлом и Дж. Нарликаром, не поддерживал теорию Большого взрыва, предлагая вместо неё теорию квазистационарной Вселенной, в которой расширение происхо-



Джеффри Бербидж



Маргерит Бербидж

дит вечно, а уменьшению средней плотности противостоит «творение» материи из неизвестного пока С-поля (здесь «С» от creation) время от времени в случайных местах в виде «мини-взрывов».

БЕРГЕЛЬМИР (S XXXVIII, Bergelmir) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2004 г. Большая полуось орбиты 19 372 тыс. км. Орбитальный период 1006,66 сут. Эксцентриситет орбиты 0,152. Наклонение орбиты к эклиптике 156°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск $24{,}2^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 58′55″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

БЕССЕЛЕВ ГОД — тропический год, за начало которого принимается момент времени, когда эклиптическая долгота среднего солнца с учётом аберрации в точности равна 280°. Бесселев год введён американским астрономом Саймоном Ньюкомом и назван в честь немецкого астронома XIX в. Фридриха Бесселя. Начало бесселева года приходится на один и тот же момент времени для любого пункта Земли. Продолжительность бесселева года равна продолжительности тропического года (т. е. одному полному обороту среднего солнца по прямому восхождению) и в сутках составляет 365,24219878 – 0,000006147, где T — число столетий, прошедших с 1900 г.

В прошлом стандартные эпохи привязывали к началу бесселева года, поэтому в их обозначении присутствовала буква «B». Так, в конце XIX и первой половине XX в. использовалась стандартная эпоха B1900 — начало бесселева 1900 года. Чтобы подчеркнуть точность, астрономы часто пишут это обозначение в форме B1900.0. При этом B1900.0 = JD 2415020,3135 = январь $0{,}8135^d$, 1900 г. Во второй половине XX в. обычно использовалась стандартная эпоха B1950 — начало бесселева 1950 года: B1950.0 = JD 2433282,423 = январь $0{,}923^d$, 1950 г. Ныне бесселев год не употребляется, а стандартной эпохой считается юлианская эпоха J2000,0.

БЕССЕЛЬ, Фридрих Вильгельм (Bessel, Friedrich Wilhelm) (22.07.1784, Минден, Германия, — 17.03.1846, Кёнигсберг, Германия) — немецкий астроном и математик, ученик К. Ф. Гаусса. В 1810 г., прославившись вычислением орбиты кометы Галлея, Бессель был назначен профессором астрономии и директором обсерватории в Кёнигсберге (которую он сам и создал). Понимая, что наблюдения его предшественников должны быть пересмотрены, он разработал теорию учёта инструментальных ошибок. Определив параллакс звезды 61 Лебедя, он в результате впервые измерил расстояние звезды от Солнечной системы. Изучив нерегулярности собственного движения Сириуса, Бессель в 1844 г. заключил, что у этой звезды, как и у некоторых других, должен быть спутник. В 1862 г. этот спутник действительно обнаружил американский оптик Алван Кларк (1804–1887) при испытании нового телескопа. Спутник Сириуса оказался первым белым карликом. Благодаря наблюдениям Бесселя число звёзд с точно измеренными координатами возросло до 50 000. Его последней работой была попытка найти планету за Ураном.

Как математик Бессель известен введением функций Бесселя (цилиндрических функций), которые нашли широкое применение в физике и астрономии.

БЕСТЛА (S XXXIX, Bestla) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2004 г. Большая полуось орбиты 20 192 тыс. км. Орбитальный период 1088 сут. Эксцентриситет орбиты 0,518. Наклонение орбиты к эклиптике 147°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 7 км. Видимый блеск $23{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°37′28″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

БЕСЩЕЛЕВОЙ СПЕКТРОСКОП — спектроскоп, не имеющий входной щели. Используется для наблюдения объектов, имеющих линейчатый эмиссионный спектр, например газовых туманностей с областями HII или же солнечной хромосферы. Роль входной щели в этом случае играет изображение самого объекта, а результирующий спектр представляет собой не серию эмиссионных линий (как это обычно бывает), а серию соответствующих монохроматических изображений объекта.

БЕТЕ, Ханс Альбрехт (Bethe) (2.7.1906, Страсбург, Германия, — 6.3.2005, Итака, США) — американский физик немецкого происхождения. Разработал (1929) теорию кристаллического поля, предсказал (1934) обратный бета-распад. Открыл (1938–1939) циклы термоядерных реакций в звёздах на стадии главной последовательности. Вывел (1951) уравнение для системы двух взаимодействующих частиц. Нобелевская премия по физике (1967).

БЕТЕЛЬГЕЙЗЕ — α Ориона, пульсирующая полуправильная переменная звезда, изменяющая свой блеск от 0,3 до 1,2 визуальной звёздной величины с периодом около 2070 сут. Расстояние от Солнца около 650 св. лет (200 пк), болометрическая светимость в 140 тыс. раз больше солнечной. Бетельгейзе — сверхгигант спектрального класса M2lab. Если поместить эту звезду на место Солнца, то при минимальном размере она заполнит орбиту Марса, а при максимальном достигнет орбиты Юпитера! Формально радиус звезды составляет около 1180 $R_\odot$, но намного дальше простирается её плотный звёздный ветер и несколько созданных им оболочек. Масса звезды 18–19 $M_\odot$.

Бетельгейзе находится на заключительном этапе своей эволюции, её возраст около 10 млн лет. Когда она взорвётся как сверхновая, её блеск на земном небосводе в несколько раз превысит блеск полной Луны.

БЕФИНД (S XXXVII, Bebhionn) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2005 г. Большая полуось орбиты 16 898 тыс. км. Орбитальный период 820,13 сут. Эксцентриситет орбиты 0,333. Наклонение орбиты к эклиптике 41°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размер около 6 км. Период вращения около 16 час. Видимый блеск $24{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°01′13″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

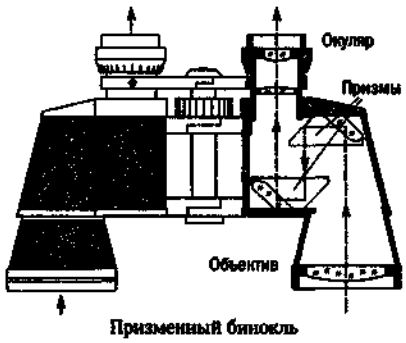
БЁРНХЕМ, Шербёрн Уэслн (Burnham, Sherburne Wesley) (12.12.1838, Тетфорд, шт. Вермонт, США, — 11.03.1921, Чикаго, США) — американский астроном. Окончил Тетфордскую академию и переехал в Чикаго, став там судебным репортёром. Но любовь к астрономии взяла своё: в Чикаго Бёрнхем создал собственную обсерваторию, оснащенную 15-см телескопом, и стал лучшим в мире наблюдателем двойных звёзд. Через несколько лет его взяли в штат Ликской обсерватории на горе Гамильтон (шт. Калифорния), а позже он работал в Йеркской обсерватории Чикагского университета в Уильямс-Бэй (шт. Висконсин). Открыл около 1300 двойных звёзд. Опубликовал несколько ката-

логов двойных звёзд, наиболее полный из которых, «Общий каталог двойных звезд» (1906), до склонения −31° содержит данные о 13 665 звёздах. В 1874 г. избран членом Лондонского королевского астрономического общества, а в 1894 г. удостоен золотой медали этого общества за открытие и изучение двойных звёзд. В 1904 г. получил премию им. Ж. Ж. Ф. Лаланда Парижской АН.

БИАНКА (U VIII, Bianca) — естественный спутник Урана. Его открыл Бредфорд Смит 23 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 59 166 км. Орбитальный период 0,434579 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0009. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,19°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 64×46×46 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным, причём большая ось эллипсоидальной фигуры спутника постоянно ориентирована на планету. Масса около $9{,}2 \cdot 10^{16}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 9 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 22 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск $22{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 4″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

БИНОКЛЬ, или бинокуляр (лат. *bini* — два, *oculus* — глаз) — пара одинаковых небольших зрительных труб, обычно дающая прямое изображение, объединённых механически и обеспечивающих наблюдение объекта одновременно двумя глазами. Бинокль — наиболее доступный оптический прибор, который могут использовать начинающие любители астрономии для наблюдения спутников Юпитера, морей и кратеров на Луне, некоторых туманностей, двойных и переменных звёзд и звёздных скоплений.

Простейший бинокль — театральный, состоящий из пары галилеевских труб прямого зрения с отрицательными окулярами. Более мощные призменные бинокли построены по схеме трубы Кеплера (окуляры положительные). В призменных биноклях две отдельные или склеенные призмы в каждом из оптических каналов используются для излома световых пучков и тем самым уменьшения длины трубы. Кроме того, такая система призм поворачивает изображение и делает его прямым. Главные характеристики бинокля обычно указаны на его корпусе: это увеличение (кратность) и диаметр объективов в миллиметрах. Например, полевой бинокль «7×35» имеет семикратное увеличение и объективы диаметром 35 мм. Иногда на корпусе указан и диаметр поля зрения: либо в градусах, либо в метрах



Призменный бинокль

на фиксированном расстоянии. Например, надпись «Field 8°, 140 m / 1000 m» говорит, что диаметр поля зрения составляет 8 градусов, что эквивалентно углу, под которым виден объект размером 140 м с расстояния в 1 км.

В основном бинокли используются для рассматривания земных объектов, но их смело можно рекомендовать и начинающим астрономам-любителям. Для общего знакомства с ночным небом вполне годится лёгкий театральный 2,5- или 3,5-кратный бинокль с большим полем зрения. Для более детального изучения отдельных областей неба подойдёт призменный бинокль с относительно небольшим увеличением, но большим диаметром объективов: «7×50» или «8×60». Такие бинокли называют ночными или морскими. Нередко любители астрономии используют монокуляры — половинки бинокля, хотя наблюдение двумя глазами более комфортно и позволяет заметить более тусклые объекты.

Применение бинокля может разочаровать тех, кто хотел бы получить большое увеличение для детального рассматривания небесных объектов, например поверхности Луны и планет. Однако в продаже имеются и гигантские бинокуляры, например 20×100, способные давать изображения небесных тел с большим увеличением, но их стоимость существенно превышает стоимость эквивалентного телескопа.

Нужно иметь в виду, что, хотя бинокль и считается ручным прибором, для получения качественного изображения необходимо применять специальные меры, устраняющие дрожание изображения. Для 7- и 8-кратных биноклей достаточно найти опору для локтей или кистей рук. Для биноклей с большим увеличением необходимы штативы. Недавно на рынке оптических приборов появились бинокли со стабилизацией изображения, позволяющие компенсировать дрожание рук и покачивание бинокля, удерживаемого наблюдателем. В этих биноклях используется датчики малых перемещений и контролируемая микропроцессором система оптической компенсации, позволяющая держать изображение неподвижным. Бинокли со стабилизацией изображения позволяют легко наблюдать «с рук» при увеличениях до 25 крат.

БИНОКУЛЯРНАЯ НАСАДКА — оптическое устройство, позволяющее рассматривать изображение в телескопе двумя глазами. Заменяет обычный окуляр и состоит из светоделителя и зеркал, направляющих свет в два отдельных окуляра, установленных параллельно, как в бинокле. Один из окуляров обычно имеет собственную фокусировку. Расстояние между осями окуляров можно регулировать. Насадка не даёт стереоскопического изображения, поскольку оба окуляра используют свет, собранный одним объективом. Тем не менее многие наблюдатели предпочитают работать с бинокулярными насадками, считая, что наблюдать двумя глазами легче и не столь утомительно для зрения, как при наблюдении одним глазом.

БИОАСТРОНОМИЯ — научная дисциплина, направленная на поиск внеземной жизни. Биоастрономия в значительной степени пересекается с астробиологией, но включает в себя наряду с биологическими аспектами также и поиск внеземных цивилизаций (Bioastronomy = Astrobiology + SETI). В рамках Международного астрономического союза (МАС) действует комиссия № 51 «Биоастрономия: поиск внеземной жизни».

БИРМАН, Людвиг Франц Бенедикт (Biermann, Ludwig F. B.) (13.03.1907, Хамм, Сев. Рейн-Вестфалия, Германия, — 12.01.1986, Мюнхен) — немецкий астроном. Учился в Мюнхенском (1925–1927), Фрейбургском (1927–1928) и Гёттингенском (1929–1932) университетах. В 1934–1937 гг. преподавал в Йенском университете, в 1937–1945 гг. — в Берлинском университете, в 1945–1947 гг. профессор Гамбургского университета. В 1947–1958 гг. директор Института физики в Гёттингене. В 1958–1971 гг. директор Института физики и астрофизики им. М. Планка. С 1975 г. — почётный сотрудник этого института.

Основные работы относятся к теории эволюции звёзд и физике космической плазмы. В 1930-е гг. построил модели внутреннего строения звёзд, учитывающие конвективный перенос энергии из ядра к поверхности; рассмотрел возможность существования звёзд с полным перемешиванием вещества. Рассчитал непрозрачность звёздного вещества, обусловленную ионизацией различных элементов; вычислил интенсивность линий для многих переходов в лёгких ионах, представляющих интерес для теории строения звёзд и их атмосфер. Изучил динамическую устойчивость звёзд и её связь с химическим составом звёздных недр; одним из результатов этой работы была модель вспышки новых звёзд.

В 1951 г. предсказал существование постоянного корпускулярного потока от Солнца, называемого теперь «солнечным ветром». Основой для этого предсказания стали наблюдения за газовыми хвостами комет, которые, согласно теории кометных форм Бесселя–Бредихина, должны испытывать очень сильное отталкивание от Солнца. В частности, структура хвостов I типа по Бредихину не может быть объяснена давлением солнечного света; для её объяснения требуются гораздо большие ускорения от Солнца, чем те, которые может обеспечить лучистое давление Солнца. Бирман предположил, что плазма в хвостах комет взаимодействует с магнитным полем солнечного ветра до тех пор, пока не приобретает его большую скорость – около 400 км/с, направленную от Солнца. Резкие искажения кометных хвостов и их «обрывы» Бирман объяснил пересечением кометой крупных неоднородностей солнечного ветра (её прохождением через границы магнитных секторов). Основываясь на этой теории, Бирман правильно оценил скорость и плотность частиц солнечного ветра. В 1964 г. он высказал предположение, что головы комет должны быть окружены очень протяжёнными оболочками из нейтрального водорода. В 1969 г. это подтвердилось при внеатмосферных наблюдениях излучения в ультрафиолетовой линии Лайман-альфа от такого облака вокруг кометы Беннета, а затем и других комет.

Ряд работ Бирмана посвящён солнечной хромосфере и короне. Произвел расчёт температуры короны по наблюдаемой степени ионизации. Предложил, независимо от М. Шварцшильда, механизм нагрева хромосферы и короны акустическими волнами, возникающими в конвективной зоне под фотосферой. В 1960–1970-е гг. Бирман активно работал в области космических исследований. Член Баварской АН, Германской академии естествоиспытателей «Леопольдина», Национальной АН США и других зарубежных академий. Награждён медалью им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1967), Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1974), медалью им. Вихерта Немецкого геофизического общества (1973), Золотой медалью Лондонского Королевского астрономического общества (1974), медалью им. К. Шварцшильда Немецкого астрономического общества (1980) и др.

БИРУНИ (Абу-р-Райхан Мухаммад ибн Ахмад ал-Бируни) (4.10.973, предместье г. Кят, Южн. Хорезм, ныне г. Бируни, Узбекистан, – 13.12.1048, по другим данным – после 1050 г., Газна, ныне Газни, Афганистан) – среднеазиатский учёный-энциклопедист. Кят, где прошли детство и юность Бируни, был одним из самых культурных и богатых центров Средней Азии эпохи феодализма. Бируни получил хорошее математическое и философское образование. Писал на арабском языке. Жил в Кяте и Кургане при дворах местных правителей, затем в Хорезме при дворе шаха Мамуна, возглавлял Академию, которая объединяла виднейших учёных, среди них Абу Али ибн-Сина (Авиценна), Мухаммад ибн-Муса (ал-Хорезми) – основатель алгебры. С 1017 г., после завоевания Хорезма султаном Махмудом Газневидом, Бируни жил в Газне при дворе султана Махмуда и его преемников Масуда и Маудуда, участвовал в походах Махмуда в Индию, где прожил несколько лет.

Сочинения Бируни относятся главным образом к математике и астрономии, а также к физике, ботанике, географии, геологии, истории, хронологии и другим наукам. Его представления об устройстве мира, движении Земли, силах тяготения намного опережали его время. Он высказывал сомнения в справедливости геоцентрической системы Птолемея. Присоединяясь к идеям древнеиндийских учёных о тождестве звёзд и Солнца, считал Солнце огненным шаром, в отличие от Луны и планет, отражающих солнечный свет. Объяснил явление утренней и вечерней зари как следствие свечения пылинок в лучах скрытого за горизонтом Солнца. Высказал мысль о «дымоподобной» природе светящихся хвостов возле диска Солнца во время его затмений (солнечная корона). Разработал астрономические методы геодезических измерений. Усовершенствовал основные астрономические инструменты, которыми пользовались в то время (астролябию, квадрант, секстант). Построил первый неподвижный (стенной) квадрант радиусом 7,5 м для точных (до 2′) наблюдений Солнца и планет, который в течение 400 лет был самым большим в мире. Проведённые им измерения наклона эклиптики к экватору в течение многих веков оставались непревзойдёнными по точности. Одним из первых после древнегреческих учёных начал развивать и широко применять плоскую и сферическую тригонометрию как математическую основу практической астрономии. Разработал новый, весьма точный метод определения радиуса Земли путём наблюдения положения горизонта с вершины горы. За 600 лет до В. Снеллиуса предложил тригонометрический метод измерения расстояний, сходный с современной триангуляцией.

Фундаментальные сочинения Бируни: «Индия» («Точное изложение индийских представлений, как удобно принимаемых, так и отвергаемых разумом»); «Канон Масуда по астрономии и звёздам», «Книга вразумления начаткам науки о звёздах». Избранные произведения в 10 томах изданы в Ташкенте (изд-во ФАН, 1970–1980).

БИСБРУК, Джордж ван (Biesbroeck G. A., van) (21.01.1880, Гент, Бельгия, – 23.02.1974, Тусон, шт. Аризона, США) – американский астроном, бельгиец по национальности. В 1902 г. окончил Гентский университет с дипломом инженера. Работал дорожным инженером, занимаясь также астрономией: проводил наблюдения двойных и переменных звёзд на обсерватории в Уккле. Затем два года изучал астрономию в Гейдельбергской и Потсдамской обсерваториях под руководством М. Вольфа и К. Шварцшильда. В 1908–1917 гг. работал в обсерватории в Уккле. В 1917 г. переехал в США и до 1945 г. работал в Йеркской обсерватории (с 1923 г. – профессор практической астрономии Чикагского университета). Уйдя в отставку, не оставил занятий астрономией. Проводил наблюдения на инструментах Йеркской обсерватории, с 1963 г. был консультантом в Лунно-планетной лаборатории Аризонского университета.

Основные научные работы относятся к наблюдательной астрономии. На протяжении 60 лет непрерывно производил измерения двойных звёзд на двух больших рефракторах Йеркской обсерватории; выполнил тысячи измерений относительных положений компонентов, используя нитяной микрометр. Наблюдал также кометы, малые планеты, спутники планет, определял их точные положения по фотографиям. Открыл 3 новые кометы и 11 астероидов, а также несколько звёзд очень низкой светимости в окрестностях Солнца. Одна из них, спутник звезды BD+4°4048, названа «звездой ван Бисбрука». Участвовал в нескольких экспедициях по наблюдению полных солнечных затмений для проверки эффекта Эйнштейна (отклонение лучей света от звёзд вблизи диска Солнца); в экспедициях по выбору места для строительства обсерваторий. Член многих астрономических обществ. Премия Национального географического общества США (1952) и им. Дж. К. Уотсона Национальной АН США (1958).

БЛАЖКО, Сергей Николаевич (17.11.1870, Хотимск бывш. Могилёвской губ., ныне Могилёвская обл., Республика Беларусь, – 11.02.1956, Москва) – русский и советский астроном. Окончил Московский университет (1892), с 1894 г. работал в обсерватории этого же университета, преподавал, с 1918 г. профессор, с 1929 г. член-корреспондент АН СССР. В 1920–1931 гг. директор обсерватории Московского университета, в 1931–1937 гг. заведовал кафедрой астрономии, в 1937–1953 гг. кафедрой астрометрии МГУ.

Основные научные работы посвящены исследованию переменных звёзд и практической астрономии. Создал московскую школу исследователей переменных звёзд. С 1895 г. систематически фотографировал звёздное небо с целью обнару-

жения переменных звёзд, чем положил начало богатой коллекции «стеклянной библиотеки» Московской обсерватории. Впервые проанализировал влияние потемнения к краю диска звезды на форму кривой блеска и на определение элементов орбиты, указал метод учёта этого эффекта. Обнаружил изменения периодов и формы кривой блеска ряда короткопериодических переменных звёзд типа RR Лиры; эти явления названы «эффектом Блажко».

В 1904 г. аппаратурой собственной конструкции одним из первых в мире сфотографировал спектры двух метеоров и дал правильное их толкование. Предложил новый метод обнаружения малых планет (1919). Участвуя в наблюдении полного солнечного затмения (1914), прибором собственной конструкции сфотографировал солнечную корону в поляризованном свете. Автор ряда оригинальных конструкций, таких как бесщелевой звёздный спектрограф, прибор для обнаружения переменных звёзд на астронегативах (блинк-микроскоп), приспособления в меридианных инструментах для ослабления блеска при наблюдениях моментов прохождений звёзд, специальная лупа для отсчитывания разделённых кругов и др.

Был выдающимся педагогом, читал курсы практической и общей астрономии, впервые в Московском университете стал читать курс общей астрофизики. Написал неоднократно переиздававшиеся учебники: «Курс практической астрономии» (1938, 1940, 1951), «Курс общей астрономии» (1947) и «Курс сферической астрономии» (1948, 1954). Обстоятельно описал историю развития астрономии в Московском университете в 1824–1920 гг. Свыше 20 лет возглавлял Комиссию по изучению переменных звёзд при Астрономическом совете АН СССР. Заслуженный деятель науки РСФСР (1934). Государственная премия СССР (1952). Его имя занесено на карту Луны.

БЛАЗАРЫ – очень компактные квазары, по-видимому, связанные со сверхмассивными чёрными дырами в центрах гигантских эллиптических галактик. Английское название *blazar* происходит от слова *blazing* (ярко горящий, пылающий) и имеет такое же окончание, как слово «квазар». Термин «блазар» в 1978 г. предложил американский астрофизик Эдвард Шпигель (Edward A. Spiegel), желая отразить тот факт, что у блазаров наблюдается комбинация свойств лацертид (объектов типа BL Lac) и быстро переменных в оптике квазаров (optically violent variable quasars, OVV quasars). Различие между ними в том, что OVV-квазары связаны с мощными радиогалактиками, тогда как лацертиды демонстрируют слабое радиоизлучение.

Считается, что один из двух релятивистских джетов блазара направлен почти точно в сторону Земли, поэтому мы заглядываем в самый центр активной области, откуда вырываются джеты (быстрые и тонкие струи плазмы). Именно поэтому источник излучения выглядит компактным и наблюдается его быстрая переменность. У многих блазаров в джетах видны детали, видимое перемещение которых в пределах нескольких центральных парсеков происходит со сверхсветовой скоростью. Считается, что это движение релятивистских ударных волн, направленных почти точно на наблюдателя. Знаменитый ближайший квазар 3C 273 относят к семейству блазаров.

БЛЕНДА – выступающая перед объективом часть трубы телескопа или иного оптического прибора, заслоняющая объектив от посторонних, падающих сбоку, лучей света. Это необходимо для избегания бликов – «оптических духов», паразитных изображений источников света, расположенных вне поля зрения объектива. Кроме того, бленда уменьшает циркуляцию влажного воздуха вблизи внешней оптической поверхности объектива, предотвращая этим конденсацию на ней капелек влаги, т. е. выпадение росы. Такую бленду астрономы называют «противороснико́м».

БЛЕСК – традиционный астрономический термин для обозначения потока оптического излучения, приходящего от звезды или другого небесного светила в единицу времени на единицу поверхности Земли. Примерно до 1940-х гг. интенсивность видимого света звёзд и метеоров астрономы называли «яркостью». До сих пор в астрономии употребляются такие выражения, как «яркая звезда», «яркий метеор». Но физики определяют яркость как количество света, приходящее от источника излучения в единице телесного угла (например, с квадратной минуты дуги). Эту величину астрономы раньше называли поверхностной яркостью, в отличие от интегральной яркости, обозначавшей количество света, приходящее от всего светила. Теперь и в астрономии термином «яркость» называют то, что ранее называли поверхностной яркостью, а для интегральной яркости потребовалось новое название. Так был введён термин «блеск». Таким образом, блеск – это освещённость, создаваемая светилами на плоскости, перпендикулярной к лучу зрения.

Точечные источники света (звёзды) имеют блеск, но не имеют яркости. Метеор имеет длину, но не имеет видимой ширины, поэтому термин «яркость» к нему также неприменим, и следует употреблять термин «блеск».

В астрономии блеск измеряется видимыми звёздными величинами (m), а в физике аналогичная величина – освещённость (J) – измеряется люксами. Связь между ними следующая:

$$m = -14{,}00 - 2{,}5 \lg J$$

Звезда с $m_V = 0$ создаёт на границе земной атмосферы освещённость $2{,}54 \cdot 10^{-6}$ лк. Полная Луна ($m_V = -12{,}74$ вне атмосферы), наблюдаемая в зените, создаёт у поверхности Земли освещённость около 0,25 лк.

БЛИЖНИЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ДИАПАЗОН – область спектра электромагнитных волн, расположенная в коротковолновой части инфракрасного диапазона. Со стороны коротких волн граница ближнего инфракрасного диапазона примыкает к видимому диапазону и имеет длину волны 700 нм. Со стороны длинных волн граница не имеет строгого определения и варьируется в пределах от 5 до 40 мкм.

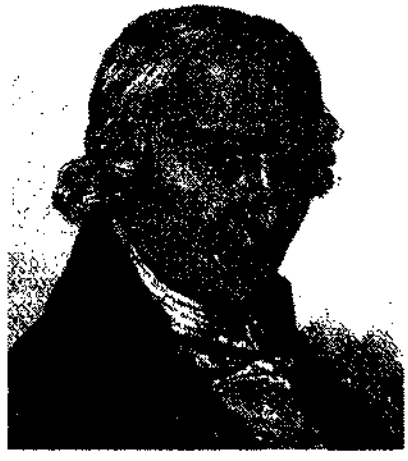
БЛИЖНИЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ ДИАПАЗОН – область спектра электромагнитных волн, расположенная в длинноволновой части ультрафиолетового диапазона и примыкающая к видимому диапазону. Длины волн излучения ближнего ультрафиолетового диапазона лежат в пределах от 200 до 350 нм.

БЛИЗНЕЦЫ – зодиакальное созвездие с фигурой, оправдывающей его название. Яркие звёзды Кастор («кучер», α Gem) и Поллукс («кулачный боец», β Gem), отстоящие друг от друга на 4,5°, представляют головы человеческих фигур, ноги которых стоят на Млечном Пути, примыкая к Ориону. Греки назвали эти звёзды именами сыновей Зевса – Кастором и Полидевком, который в латинизированной форме стал Поллуксом. Обозначая звёзды в каждом созвездии греческими буквами в порядке убывания блеска, немецкий астроном И. Байер (1572–1625) указал Кастор как α Близнецов, хотя сейчас он светит слабее Поллукса. Одно из двух: или Поллукс с тех пор стал ярче, или блеск Кастора ослаб. А может быть, Байер ошибся. Для невооружённого глаза Кастор выглядит как одна звезда, но в действительности это крохотное скопление из шести звёзд, удалённое от Солнца на 45 св. лет. Эти 6 звёзд сгруппированы в три пары, которые можно различить в небольшой телескоп или сильный бинокль. Два ярких бело-голубых компонента с видимыми величинами $2{,}0^m$ и $2{,}7^m$ составляют визуальную двойную с угловым разделением 6″, обращающуюся вокруг общего центра масс с периодом около 400 лет. Каждый из них – двойная система с орбитальными периодами 9,2 и 2,9 сут. Третий компонент удалён от них на 73″, состоит из двух красных карликов и является затменной двойной, изменяющей свой блеск от $8{,}6^m$ до $9{,}1^m$ звёздной величины с периодом 0,8 сут.

Созвездие Близнецы известно как «урожайное»: в его пределах в 1781 г. Вильям Гершель открыл планету Уран, а в 1930 г. Клайд Томбо нашёл Плутон. Из интересных для наблюдения объектов в нём находятся звёздное скопление M35 и планетарная туманность Эскимос (или Клоун, NGC 2392), состоящая из звезды 10-й величины, окружённой яркой оболочкой. У двойной звезды U Gem компоненты расположены так близко друг к другу, что вещество с одного из них перетекает на поверхность другого — белого карлика. В накопившемся на его поверхности веществе с промежутком в несколько месяцев начинаются термоядерные реакции, приводящие к взрыву: на 1–2 дня блеск звезды возрастает в 100 раз, с 14^m до 9^m. Поэтому звезду U Gem называют карликовой новой.

БЛИНК-КОМПАРАТОР — устройство, показывающее попеременно (с частотой порядка 1 Гц) два изображения одной и той же области неба, полученные в разное время. Когда изображения правильно совмещены, неподвижные звёзды постоянного блеска не смещаются и не «мигают», в то время как звезда, изменившая блеск, выделяется своим «подмигиванием», обращая на себя внимание и упрощая задачу поиска переменных объектов. Объект, сместившийся между моментами получения изображений, будет «прыгать» в поле зрения компаратора и поэтому тоже будет легко замечен. Прежние компараторы, создававшиеся в эпоху фотопластинок, представляли собой сложные оптико-механические устройства, позволявшие оператору попеременно видеть в окуляр микроскопа два участка фотографических изображений неба. Современные компараторы работают с цифровыми изображениями, выводимыми на экран монитора компьютера, и используют соответствующее программное обеспечение для быстрой смены кадров.

БОДЕ, Иоганн Элерт (Bode, Johann Elert) (19.01.1747, Гамбург, Германия, — 23.11.1826, Берлин) — немецкий астроном. С 1772 г. по приглашению И. Г. Ламберта работал в Берлинской обсерватории; с 1786 по 1825 г. — её директор. Открыл несколько комет. В 1772 г. изложил правило планетных расстояний на основе закономерности, установленной ранее И. Д. Тициусом (в настоящее время известно как «правило Тициуса–Боде»). Суть его состоит в том, что расстояния планет от Солнца близки к геометрической прогрессии. В 1776 г. Боде предложил теорию строения Солнца, близкую к той, которую в 1795 г. развил В. Гершель. Боде издал Атлас неба (Uranographia, 1801), содержащий 20 листов звёздных карт и каталог 17 240 звёзд и туманностей. Предложил название планеты Уран, открытой В. Гершелем. Основал широко известный астрономический ежегодник «Berliner astronomisches Jahrbuch» (1774, выходил с 1776 по 1959 г.) и в течение 51 года был его составителем и издателем. Член Берлинской АН (1786), а также иностранный почётный член Петербургской АН, член Шведской королевской АН, Датской королевской АН и Геттингенской АН. Его имя занесено на карту Луны.



Иоганн Боде

БОЗОН — частица с нулевым или целочисленным спином; подчиняется статистике Бозе–Эйнштейна. Как правило, бозоны являются частицами-переносчиками взаимодействий. Примеры: фотон (спин 1), глюон (спин 1), K-мезон (спин 0), гравитон (спин 2).

БОК, Барт Ян (Bok, Bart Jan) (28.04.1906, Хорн, Нидерланды, — 5.08.1983, Тусон, США) — американский астроном, родившийся и получивший образование в Голландии, в университетах Лейдена и Гронингена. Вместе со своей женой Присциллой Бок изучал строение, динамику и эволюцию Галактики. Их книга «Млечный Путь» неоднократно издавалась на английском языке и в переводе на русский. В 1947 г. Барт Бок совместно с Э. Рейли обнаружил в областях звёздообразования небольшие тёмные туманности округлой формы, глобулы Бока, сильно поглощающие свет и связанные с начальной стадией формирования звёзд.

БОКОВОЕ ЗРЕНИЕ (англ. *averted vision*) — метод визуального наблюдения тусклых небесных объектов, предельно низкая яркость которых делает их почти недоступными невооружённому глазу. Заметить их удаётся, слегка (на несколько градусов) отведя взгляд от точного направления на объект. В этом случае его изображение попадает не в центральную ямку сетчатки глаза, где располагаются малочувствительные к свету колбочки, а на боковую область, богатую светочувствительными палочками. При этом изображение получается бесцветным и размытым, но заметным.

БОКОВОЙ ЛЕПЕСТОК РАДИОАНТЕННЫ — диапазон направлений, отстоящий на значительный угол от главного лепестка диаграммы направленности антенны радиотелескопа, в которых эта антенна также чувствительна к источникам излучения. На полярной диаграмме чувствительности боковые лепестки, как правило, прилегают к главному лепестку, но их амплитуда заметно меньше по сравнению с главным лепестком, т. е. чувствительность радиотелескопа в направлении боковых лепестков ниже. Тем не менее попадание мощного источника излучения в боковой лепесток может существенно исказить результат измерения основного источника, находящегося в главном лепестке.

БОЛИД — очень яркий метеор ощутимого углового размера, нередко наблюдаемый даже днём, часто оставляющий после себя дымный след и сопровождаемый грохотом или гулом; иногда заканчивается падением метеоритов. Слово «болид» (франц. *bolide*) произошло от названия древнегреческого метательного копья (*bolis, bolidos*). Но у греков употреблялся и термин «сферапирос» — огненный шар.

БОЛОМЕТР — прибор для измерения потока энергии электромагнитного излучения, основанный на изменении физических параметров термочувствительного элемента в результате его нагрева при поглощении энергии измеряемого излучения (тепловой приёмник излучения). В астрономии болометр чаще всего используют для регистрации ИК-излучения.

Регистрируемое болометром излучение поглощается чувствительным элементом и преобразуется в теплоту. Для уменьшения тепловых потерь чувствительный элемент болометра имеет малую теплоёмкость и крепится на очень тонких проволочных контактах, через которые осуществляется слабая тепловая связь с резервуаром большой теплоёмкости (базой). Теплота распространяется через слабую тепловую связь к базе, температура которой практически не меняется. Через некоторое время $\sim\tau$ (где τ — постоянная времени прибора, зависящая от теплоёмкости чувствительного элемента и теплопроводности между ним и базой) температура чувствительного элемента приобретает равновесное значение, превышающее температуру базы. Величина этого превышения определяется произведением теплового потока, пропорционального мощности падающего излучения, на тепловое сопротивление между чувствительным элементом и базой. Изменение температуры чувстви-

тельного элемента приводит к изменению его электрических параметров, чаще всего сопротивления, которое можно измерить, включив болометр в цепь с внешним источником напряжения.

Предел чувствительности тепловых приёмников определяется термодинамическими флуктуациями температуры чувствительного элемента, которые быстро уменьшаются с понижением температуры. Поэтому в современной ИК-астрономии почти исключительно используются болометры, охлаждаемые до температуры жидкого гелия и имеющие чувствительность в тысячи раз выше, чем болометры, работающие при комнатной температуре. Рабочую температуру болометра можно довести до 1,3 К (жидкий ^{4}He с откачкой паров) и даже до 0,3 К (жидкий ^{3}He с откачкой паров).

В качестве чувствительных элементов болометров, охлаждаемых жидким гелием, обычно применяют полупроводниковые кристаллы, позволяющие получать высокое отношение изменения напряжения к изменению падающей мощности при малом уровне избыточных шумов. Материалом для болометров служат бериллий или германий, легированный галлием. Элемент болометра, предназначенный для измерения ИК-излучения, устанавливают на стенке или на днище гелиевого резервуара криостата в вакуумируемой полости, что устраняет конвективный теплоотвод от чувствительного элемента. Для увеличения эффективности поглощения излучения на полупроводниковый кристалл наносят чернящее покрытие, а субмиллиметровые болометры устанавливают в камеру с отражающими стенками («интегрирующая» камера).

Для уменьшения размеров чувствительного элемента (полупроводникового кристалла) и, следовательно, его теплоёмкости и шумов функция поглощения принимаемого излучения часто возлагается не на сам кристалл, а на тонкую пластинку значительно большей площади. Кристалл крепится в середине пластинки, за ним сохраняется лишь функция измерения температуры. Такие болометры называют составными или болометрами с выделенной площадкой. В планетных исследованиях с АМС применяются неохлаждаемые болометры, преимущественно металлические, в которых роль чувствительного элемента исполняют чернёные металлические ленты, работающие в естественном космическом вакууме.

Для астрономических наблюдений основной характеристикой болометра служит эквивалентная мощность шума (ЭМШ), определяющая порог его чувствительности. ЭМШ равна мощности падающего на приёмник излучения, при которой сигнал и шум на выходе прибора равны. Величина ЭМШ нормируется на полосу частот 1 Гц и выражается в единицах Вт/Гц$^{1/2}$. ЭМШ глубокоохлаждаемых болометров достигает 10^{-14} Вт/Гц$^{1/2}$, у лучших образцов составных болометров составляет 10^{-15} Вт/Гц$^{1/2}$ и ниже, а постоянная времени $\tau \sim 0{,}01$–$0{,}1$ с. ЭМШ неохлаждаемых металлических болометров $\sim 10^{-9}$–10^{-8} Вт/Гц$^{1/2}$.

Болометры являются широкополосными приёмниками излучения. Детальный вид их спектральной характеристики определяется спектральными свойствами поглощающих покрытий чувствительных элементов или выделенной площадки. Болометры используются практически во всём ИК-диапазоне: от длины волны $\approx 1{,}5$ мкм и до 1–2 мм. Для исследования излучения в определённых участках длин волн болометры применяют в сочетании с полосовыми спектральными фильтрами.

БОЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — звёздная величина звезды или иного небесного объекта, основанная на его полном излучении во всём диапазоне длин волн (см. *Звёздная величина*). Понятие «болометрическая величина» применимо как к наблюдаемой (видимой), так и к абсолютной звёздной величине. В первом случае она указывает полный поток излучения, приходящего к наблюдателю, а во втором — полную мощность излучения изотропного космического источника. Обычно болометрическая звёздная величина вычисляется по наблюдаемой (видимой) звёздной величине в спектральной полосе *V* с использованием болометрической поправки.

БОЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОПРАВКА (англ. *bolometric correction*) — разность между болометрической и визуальной звёздными величинами ($BC = m_{bol} - m_V$). Иногда указывается с обратным знаком, поэтому следует проявлять внимание к определению этой величины в каждом конкретном случае. Используется для оценки болометрической звёздной величины звёзд на основе измерений их блеска в полосе *V*. В редких случаях используются болометрические поправки и для измерения в других спектральных полосах, например *U* и *B*. Если фотометрическая полоса явно не указывается, имеют в виду полосу *V*.

Болометрическая поправка позволяет найти болометрическую звёздную величину, которая непосредственно из наблюдений обычно не определяется, так как часть излучения в УФ- и ИК-областях спектра поглощается земной атмосферой или не воспринимается приёмником. Болометрическую поправку получают из комбинации теоретических соображений и наблюдательных данных и используют для оценки болометрической звёздной величины звёзд на основе измерений их блеска в полосе *V*.

Значение болометрической поправки в основном зависит от температуры поверхности звезды, т. е. тесно связано с её спектральным классом. Оно близко к нулю для звёзд главной последовательности спектрального класса F0, равно -3^m для звёзд B0, и -4^m для звёзд M6. В меньшей степени значение болометрической поправки зависит от класса светимости звезды.

Спектр. класс	Главная последовательность	Гиганты	Сверхгиганты
O3	−4,3	−4,2	−4,0
B0	−3,00	−2,90	−2,50
A0	−0,25	−0,25	−0,25
F0	0,02	0,02	0,13
G0	−0,10	−0,13	−0,1
G5	−0,14	−0,34	−0,20
K0	−0,24	−0,42	−0,38
K5	−0,66	−1,19	−1,00
M0	−1,21	−1,28	−1,3
M5	−2,6	−3,1	−3,3

Для Солнца (спектральный класс G2 главной последовательности) значение $BC = -0{,}08^m$.

БОЛЬШАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА (Very Large Array, VLA) — система апертурного синтеза в радиодиапазоне, состоящая из 27 радиотелескопов с параболическими антеннами диаметром 25 м. Расположена на плато Сан-Агустин (высота 2124 м), в 80 км от г. Сокорро (шт. Нью-Мексико, США). Радиотелескопы могут перемещаться по трём рельсовым путям, расположенным в виде буквы «Y», на расстояния до 21 км, что даёт максимальный размер базы интерферометра в 36 км. Принимает излучение в диапазоне от 4 м до 7 мм. Имеет угловое разрешение от 0,05″ до 12″.

БОЛЬШАЯ ВСЕЛЕННАЯ — то же, что *Сверхвселенная*.

БОЛЬШАЯ МЕДВЕДИЦА — крупное северное созвездие. Широко известен греческий миф о том, как прекрасную нимфу Каллисто Зевс превратил в медведицу, чтобы спасти её от мести своей супруги — Геры. Погибшую вскоре от стрелы Артемиды медведицу-Каллисто Зевс вознёс на небо в виде созвездия Б. Медведицы. Однако это крупное созвездие гораздо старше греческого мифа о нём: вероятно, оно было первым выделено на небе древними людьми. Семь его ярких звёзд (все они 2^m–3^m) образуют астеризм Ковш, который был известен с древности и у разных народов именовался «Лось», «Повозка», «Тесло», «Плуг», «Семь Мудрецов» и т. п. У всех звёзд Ковша есть свои имена: Дубхе (α) по-арабски значит «медведь»; Мерак (β) — «поясница»; Фекда (γ) — «бедро»; Мегрец (δ) — «корень» (начало хвоста); Алиот (ε) — смысл не ясен; Мицар (ζ) — «кушак» или «набедренная повязка».

Последнюю звезду в ручке Ковша называют Бенетнаш или Алькаид (η); по-арабски «ал-каид банат наш» значит «предводитель плакальщиц»; в данном случае астеризм уже мыслится не медведем, а похоронной процессией: впереди плакальщицы, возглавляемые предводителем, а за ними следуют погребальные носилки. Прямая линия, проведённая через крайние звёзды Ковша (α и β), указывает на Полярную звезду, поэтому звезды Мерак и Дубхе называют «указателями».

Обозначая звезды в каждом созвездии греческими буквами в порядке убывания их блеска, И. Байер не стал придерживаться этой системы для звёзд Ковша: там порядок букв просто соответствует порядку звёзд. Поэтому самая яркая звезда в Ковше не α, а ε, которая, впрочем, всего лишь на $0{,}02^m$ ярче, чем α. Рядом с Мицаром зоркий глаз видит звезду 4^m Алькор (80 UMa), что по-арабски значит «забытая» или «незначительная». Любопытно, что 5 внутренних звёзд Ковша (кроме крайних α и η) действительно образуют в пространстве единую группу, довольно быстро перемещающуюся по небу; поэтому рисунок Ковша на небе за 100 тыс. лет заметно меняется. В Большой Медведице видна одна из крупнейших планетарных туманностей Сова (M97), а также много галактик и их скоплений. Спиральная галактика M101 видна плашмя, а спиральная M81 и пекулярная M82 образуют ядро одной из ближайших к нам групп галактик, расстояние до которой около 7 млн св. лет.

БОЛЬШАЯ МИЛЛИМЕТРОВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА в Атакаме (Atacama large millimeter/sub-millimeter array, ALMA) — строящаяся антенная решётка из шестидесяти шести 12-метровых и 7-метровых радиотелескопов с параболическими антеннами, работающих в режиме интерферометра с оптоволоконной связью. Максимальная база 14 км. Система предназначена для наблюдений в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах (0,3–9,6 мм). Угловое разрешение достигнет 10 миллисекунд дуги (0,01″), что в 5 раз лучше, чем у космического телескопа «Хаббл». Доплеровское разрешение по скорости будет не хуже 50 м/с. Чувствительность будет в 20 раз выше, чем у системы VLA.

Место строительства — плато Эль-Льяно де Чахнантор в пустыне Атакама (Чили) на высоте 5060 м. При равном участии эту систему создают Национальная радиоастрономическая обсерватория США и Европейская южная обсерватория. К работе подключены также японские, тайваньские и китайские астрономы. Стоимость системы к середине 2011 г. составляет 1,3 млрд долл. США. Начало наблюдений намечено на вторую половину 2011 г. Полный ввод в эксплуатацию намечен на конец 2012 г.

БОЛЬШАЯ ОСЬ — наибольший диаметр эллипса.

БОЛЬШАЯ ПОЛУОСЬ — половина наибольшего диаметра эллипса. Обычно значение большой полуоси используется для указания размера орбиты космического тела.

БОЛЬШИЕ ОБСЕРВАТОРИИ — программа NASA «Great Observatories», предусматривавшая запуск в космос четырёх крупных телескопов разного типа — оптического, рентгеновского, инфракрасного и гамма-диапазонов. Первым в 1990 г. стал оптический (+ близкие ИК- и УФ-диапазоны) телескоп «Хаббл» (Hubble Space Telescope, HST). Затем в 1991 г. была запущена обсерватория гамма- и жёсткого рентгеновского диапазонов «Комптон» (Compton Gamma Ray Observatory, CGRO). В 1999 г. на орбиту вывели обсерваторию «Чандра» (Chandra X-ray Observatory, CXO) с фокусирующим телескопом мягкого рентгеновского диапазона; до запуска этот спутник назывался AXAF (Advanced X-ray Astronomical Facility). Последним в программе «Большие телескопы» стал инфракрасный телескоп «Спитцер» (Spitzer Space Telescope, SST); до запуска в 2003 г. называвшийся SIRTF (Space Infrared Telescope Facility). В отличие от первых трёх спутников, выведенных на околоземную орбиту, аппарат «Спитцер» был запущен на околосолнечную орбиту: он движется практически по орбите Земли, немного отставая от неё.

Из четырёх Больших обсерваторий три продолжали функционировать в начале 2012 г. Завершила наблюдения только обсерватория «Комптон» (вышел из строя один из гироскопов): она работала до 4 июня 2000 г., когда, войдя в атмосферу Земли, разрушилась и упала в Тихий океан. Инфракрасный телескоп «Спитцер» работал в холодном режиме до 15 мая 2009 г., а когда жидкий гелий испарился, продолжил наблюдения в тёплом режиме. Оптический телескоп «Хаббл» и рентгеновский «Чандра» продолжают в 2012 г. наблюдения в полном объёме.

«БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ» — гипотеза о том, что в будущем расширение Вселенной прекратится, сменится сжатием и закончится коллапсом всего пространства и всей материи. Фактически это понятие, противоположное Большому взрыву. Универсального английского термина для этой гипотезы пока нет: её в шутку называют либо *Big Crash* (грохот, треск, удар, падение, столкновение), либо *Big Crunch* (кризис, перелом, развязка, раздавливание с хрустом). С открытием в 1990-е гг. того факта, что за последние миллиарды лет Вселенная расширяется ускоренно, интерес к гипотезе Большого сжатия ослаб.

БОЛЬШОЙ БИНОКУЛЯРНЫЙ ТЕЛЕСКОП (Large Binocular Telescope, LBT) — два телескопа системы Грегори, укреплённые на одной монтировке и предназначенные для кооперативного наблюдения в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра. Инструмент создан совместными усилиями астрономов Италии, США и Германии. Телескоп LBT установлен на горе Маунт-Грэхем (Аризона, США) на высоте 3200 м. Сплошные главные зеркала обоих телескопов LBT имеют диаметры 8,4 м и сотовую структуру тыльной поверхности. По суммарной площади своих двух зеркал телескоп LBT равен 12-метровому рефлектору, поэтому сейчас (2012 г.) он крупнейший в мире. Расстояние между осями зеркал 14,4 м, что позволяет выполнять наблюдения в режиме интерферометра с угловым разрешением как у 23-метрового телескопа, а также в режиме нуль-интерферометра с эквивалентным расстоянием 15 м. Главные зеркала телескопа были изготовлены в Стюардовской обсерватории по прогрессивной технологии центробежного литья. При диаметре 8,4 м масса каждого зеркала всего 16 т. Стоимость телескопа оказалась сравнительно скромной — около 88 млн долл. США. Благодаря высокому разрешению LBT позволяет видеть газово-пылевые диски, из которых формируются планетные системы. Наличие двух зеркал позволит подавить сияние ярких звёзд (метод нуль-интерферометрии), что сделает возможным прямое наблюдение планет за пределами Солнечной системы.

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ (англ. *Big Bang*) — первый эпизод в эволюции нашей Вселенной, имевший место около 14 млрд лет назад и положивший начало её расширению. Согласно космологической теории горячей Вселенной, развитой Г. Гамовым и др., обнаруженное Э. Хабблом взаимное удаление галактик и их скоплений отражает исходное состояние материи в первый момент существования Вселенной. Вещество тогда было очень плотным, горячим и быстро расширялось. В течение первых нескольких минут в нём происходили термоядерные реакции синтеза, в основном сформировавшие нынешний химический состав Вселенной, за исключением небольшой доли тяжёлых элементов, возникших позже в процессе звёздного нуклеосинтеза. Через несколько минут после начала Большого взрыва температура и плотность вещества снизились, и термоядерные реакции в нём прекратились. Позже из остывшего вещества сформировались звёзды, галактики и их скопления, а исходное расширение вещества сохранилось до сих пор в виде наблюдаемого «разбегания» галактик.

Термин «Большой взрыв» в шутку предложил противник этой теории, английский астрофизик Фред Хойл (1915–2001),

выступая на радио BBC 28 марта 1949 г. Но сейчас основные положения этой теории надёжно подтверждены наблюдениями и считаются общепризнанными. Тем не менее перед теорией Большого взрыва стоит несколько проблем, в основном связанных с самыми первыми мгновениями существования Вселенной. Теория должна объяснить, почему Вселенная состоит из вещества и почти не содержит антивещества; почему в больших масштабах пространства Вселенная чрезвычайно однородна; почему средняя плотность Вселенной очень близка к критической, разделяющей сценарии вечного и конечного существования Вселенной (см. *«Большое сжатие»*). Ответы на эти вопросы кроются в первых мгновениях Большого взрыва, последовательно описать которые современная физика не может. Требуется более общая теория, объясняющая поведение вещества, полей и пространства-времени при очень высоких энергиях. Первые шаги к ней уже сделаны в виде теории инфляции, теории струн и др.

БОЛЬШОЙ ЗЕНИТНЫЙ ТЕЛЕСКОП (Large Zenith Telescope, LZT) – оптический телескоп диаметром 6 м с жидким ртутным зеркалом, который в 2003 г. установлен в Мэпл Ридж (северная часть Ванкувера, Британская Колумбия, Канада). Во время работы главное зеркало телескопа вращается с постоянной скоростью для придания ему под действием центробежной силы необходимой параболической формы поверхности. Для предотвращения вредных испарений ртути поверх неё налит тонкий слой прозрачной синтетической жидкости. Фокусное расстояние зеркала при этом составляет 9 м. Вблизи главного фокуса установлен 4-линзовый корректор, обеспечивающий качественное поле зрения угловым диаметром 24′ при эффективном фокусном расстоянии 10 м. Среднее качество изображения у телескопа LZT около 0,9″. При фотометрических измерениях объект можно сопровождать 104 с. При этом в широкополосном фильтре *R* достигается предельная звёздная величина 25,4^m. Поскольку телескоп постоянно направлен в зенит, для наблюдения объектов вне зенита светоприёмник смещается в фокальной плоскости. Основной научной задачей телескопа считается регистрация спектров галактик и квазаров (до 100 тыс. объектов), а также обнаружение далёких сверхновых. Телескоп создан на средства Канады, Франции и США. В его конструкции использованы части 3-метрового телескопа «Обсерватории космического мусора» (NASA), также имевшего жидкое зеркало и функционировавшего в 1995–2002 гг. в Нью-Мексико.

БОЛЬШОЙ КРУГ – окружность на сфере, плоскость которой проходит через её центр.

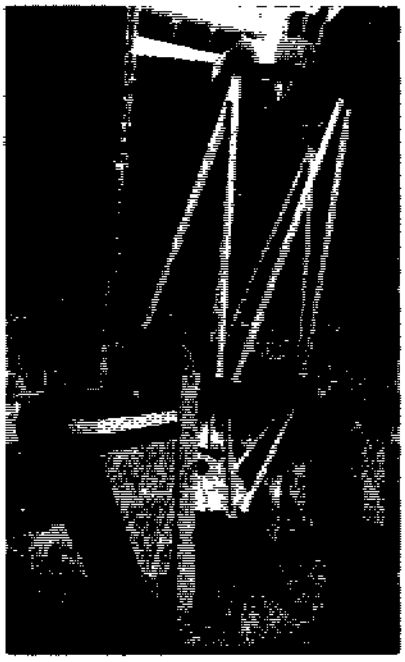
БОЛЬШОЙ ПЁС – зимнее экваториальное созвездие, лежит к юго-востоку от созвездия Орион. В нём находится ярчайшая звезда неба Сириус (–1,4^m). Сириус, как и само созвездие, уже 5000 лет назад ассоциировался с собакой; его древнейшее шумерское название – «собака солнца». В Египте же его звали «предвосхищающей звездой», звездой богини Изиды; утренний восход Сириуса предвещал разлив Нила. Арабы дали Сириусу имя, означавшее «ярчайшая звезда того, кто пересёк (Млечный Путь)» и связанное с легендой, в которой фигурировала также звезда Процион (α Малого Пса). Греки называли Сириус просто «собакой», а римляне – «собачкой», лат. *canicula*, отсюда название летнего периода отдыха – каникулы. Слово «Сириус», вероятно, произошло от греческого *seirios* – «ярко горящий». Истинная светимость Сириуса незначительно превосходит солнечную, всего в 23 раза (светимость многих других звёзд в сотни и тысячи раз выше солнечной). Почему же тогда эта бело-голубая звезда выглядит столь яркой? Причина в том, что Сириус – одна из ближайших к нам звёзд: расстояние до него всего 8,6 св. года.

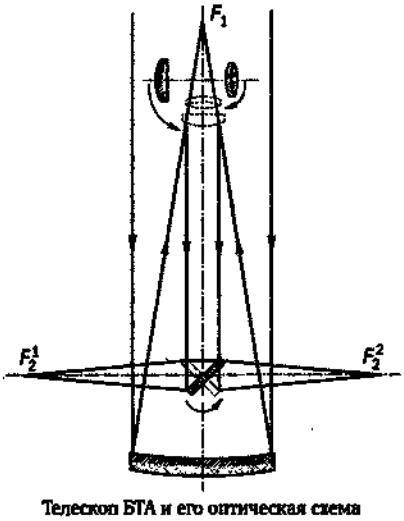
С Сириусом связано одно из замечательных открытий XIX в.: предсказание и обнаружение необычных компактных звёзд – белых карликов. В течение многих лет измеряя с высокой точностью положение ярких звёзд, немецкий астроном Фридрих Бессель (1784–1846) в 1836 г. заметил, что Сириус и Процион (α Малого Пса) в своём движении относительно более далёких звёзд отклоняются от прямой линии. Бессель заподозрил, что эти звёзды демонстрируют колебательное движение, и по этому признаку предсказал, что у Сириуса и Проциона есть невидимые спутники. Узнав, что он безнадёжно болен, Бессель в 1844 г. опубликовал свой прогноз, указав, что спутник Сириуса должен обращаться с периодом около 50 лет. В те годы мысль о существовании невидимых звёзд была столь необычной, что даже высочайший авторитет Бесселя не спас его от жёсткой критики коллег. Вспомним, что лишь в 1845–1846 г. Дж. Адамс и У. Леверье на основе отклонений в движении планеты Уран сделали предсказание о существовании в Солнечной системе невидимой до той поры планеты. К счастью, эта планета – Нептун – была сразу же обнаружена именно там, где её ожидали найти учёные. Но теоретическое открытие Бесселя не получало подтверждения почти 20 лет.

Первым был открыт компаньон Сириуса; его заметил американский оптик Алван Кларк (1804–1887) в 1862 г. при испытании нового телескопа. Спутник получил имя «Сириус B» и прозвище «Щенок». Его светимость в 10 000 раз слабее, чем у главной звезды – Сириуса A, радиус в 100 раз меньше солнечного, но масса почти такая же, как у Солнца. Поэтому Сириус B имеет колоссальную плотность: около 1 т в кубическом сантиметре! А в 1896 г. обнаружился и спутник Проциона. Так были открыты белые карлики – звёзды, закончившие свою эволюцию и сжавшиеся до размера небольшой планеты. Спутник виден на расстоянии от 3″ до 12″ от Сириуса A и обращается вокруг него именно с тем периодом, который указал Бессель. В 4° к югу от Сириуса находится красивое рассеянное скопление M41, удалённое от нас на 2300 св. лет. Другое звёздное скопление NGC 2362, несколько дюжин членов которого окружают звезду τ CMa, одно из самых молодых в Галактике: его возраст около 1 млн лет.

БОЛЬШОЙ ТЕЛЕСКОП АЛЬТ-АЗИМУТАЛЬНЫЙ (БТА) – крупнейший в Евразии телескоп с главным зеркалом диаметром 6 м. Служит основным инструментом Специальной астрофизической обсерватории (САО) Российской академии наук. Телескоп БТА был крупнейшим в мире с 1975 г., когда он превзошёл 5-метровый телескоп «Хейл» Паломарской обсерватории, вплоть по 1993 г., когда вступил в строй 10-метровый телескоп «Кек-1» (о. Гавайи). Главное зеркало диаметром 605 см имеет форму параболоида вращения с фокусным расстоянием 24 м. Вес зеркала без учёта оправы 42 т. Оптическая схема БТА позволяет работать в главном фокусе и двух фокусах Несмита. В обоих случаях можно применять корректор аберраций. Телескоп установлен на альт-азимутальной монтировке. Масса подвижной части телескопа – около 650 т. Общая масса телескопа около 850 т. Телескоп установлен на горе Семиродники у подножия горы Пастухова (2733 м) близ посёлка Нижний Архыз Зеленчукского района Карачаево-Черкесской Республики, РФ, на высоте 2070 м над уровнем моря.

Главный конструктор телескопа – Баграт Константинович Иоаннисиани. Новаторским было решение установить телескоп на альт-азимутальной монтировке (а не на обычной в то время экваториальной). Механические конструкции телескопа были изготовлены Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО). Главное зеркало изготовлено Лыткаринским заводом оптического стекла (ЛЗОС). Заготовка зеркала весила 70 т, что потребовало разработки методики плавки и отливки стекла и его охлаждения. Всего было изготовлено три заготовки. Первую предполагалось охлаждать девять месяцев, однако такая большая скорость изменения температуры привела к расколу диска. Вторая охлаждалась медленнее – 0,03 °C в час. Для полного охлаждения потребовалось 2 года и 19 дней. Для обработ-





Телескоп БТА и его оптическая схема

ки зеркала понадобилось 16,5 месяца и 15 тыс. карат алмазного инструмента, после чего болванка стала легче почти на 30 т. После тонкой полировки масса готового зеркала стала 42 т.

БОНД, Джордж Филлипс (Bond, George Phillips) (20.05.1825–17.02.1865) – американский астроном. Вместе со своим отцом У. К. Бондом открыл (1848) восьмой спутник Сатурна – Гиперион и креповое кольцо Сатурна (1850), впервые применил (1847–1851) фотографию в астрономии, в частности, в 1850 г. получил первую фотографию звезды – Веги. Ввёл понятие (1861) сферического альбедо (альбедо Бонда) как долю отражённого планетой солнечного излучения. Вслед за отцом возглавлял Гарвардскую обсерваторию (1859–1865).

БОНД, Уильям Крэнч (Bond, William Cranch) (9.09.1789, Портленд, шт. Мэн, США, – 29.01.1859) – американский астроном. Под руководством отца овладел искусством часового мастера. В возрасте 17 лет, увидев солнечное затмение, увлёкся астрономией и соорудил домашнюю обсерваторию. В 1815 г. по поручению Гарвардского университета изучал обсерватории Европы. В 1839 г. стал астрономом (без жалования) Гарвардского университета, а после 1843 г., когда началось строительство Гарвардской обсерватории, был назначен её первым директором. Бонд проводил разнообразные астрономические и метеорологические наблюдения, изучал магнитное поле Земли, открыл Большую комету 1811 г. Вместе с сыном, Дж. Ф. Бондом, открыл восьмой спутник Сатурна – Гиперион (1848) и креповое кольцо Сатурна (1850).

БОННСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ (Bonner Durchmusterung, BD), точнее, Каталог Боннского обозрения неба – звёздный каталог, составленный в Боннской обсерватории в 1863 г. под руководством Ф. Аргеландера. Содержит координаты и блеск около 450 тыс. звёзд до предельной величины $9{,}5^m$.

БОРОЗДА (лат. *fossa*, мн. *fossae*) – длинная, узкая, неглубокая депрессия. Обычно расположены группами. Могут быть прямолинейными или изогнутыми, но не извилистыми. Пример – борозды Элизий (Elysium fossae) на Марсе.

БОСС, Бенджамин (Boss, Benjamin) (9.01.1880, Олбани, шт. Нью-Йорк, США, – 17.10.1970, Олбани) – американский астроном. С 1905 по 1906 г. был связан с Морской обсерваторией США в Вашингтоне, а в 1906 г. стал директором Морской обсерватории на острове Тутуила (о-ва Самоа). Босс участвовал в экспедиции 1908 г. на остров Флинт для наблюдения солнечного затмения и в том же году назначен секретарём отдела меридианной астрометрии Института Карнеги в Вашингтоне. В 1912 г. он стал исполнять обязанности директора, а в 1915 г. его назначили директором. Он занимался определением положений и движений звёзд и в 1937 г. опубликовал «Общий каталог 33 342 звёзд».

БОЯРЧУК, Александр Алексеевич (р. 21.06.1931, Грозный, Россия) – российский астроном, академик Российской АН (1987), зам. директора Крымской астрофизической обсерватории АН СССР (1970–1987), председатель Астрономического совета и директор Института астрономии РАН (1987–2003), научный руководитель Института астрономии РАН (с 2003). Президент Международного астрономического союза (1991–1994). Исследовал химический состав и вращение многих звёзд, разработал модели атмосфер нестационарных звёзд.



А. А. Боярчук

БРАГЕ, Тихо (Brahe, Tycho) (14.12.1546, поместье Кнудструп, тогда Дания, ныне Швеция, – 24.10.1601, Прага) – датский астроном. Учился в университетах Копенгагена и Лейпцига. После солнечного затмения 1660 г., наблюдавшегося в точно предсказанное время, заинтересовался астрономией. Обнаружил, что основанные на системе Птолемея астрономические таблицы неточны. Начал практические наблюдения, используя довольно грубые инструменты. В 1572 г. наблюдал появление сверхновой, с тех пор называющейся Звездой Тихо. Это открытие нанесло удар по старым догмам, утверждавшим неизменность звёзд. На средства короля Фредерика II Тихо организовал и прекрасно оснастил обсерваторию «Ураниборг» на острове Вен в проливе Эресунн (Зунд), где проработал много лет. Его измерения положения Солнца, Луны, комет и планет были наиболее точными за всю эпоху дотелескопических наблюдений. Это позволило И. Кеплеру, использовавшему данные Тихо, открыть законы планетных движений. Тихо отрицал теорию Птолемея, но не принял теорию Коперника; он занял промежуточную позицию, в результате чего появилась «система мира Тихо». Он считал, что вокруг покоящейся Земли обращаются Луна и Солнце, а остальные планеты, в свою очередь, обращаются вокруг Солнца. В 1600 г. переехал в Прагу и познакомился с Иоганном Кеплером. Крупнейшим достижением Тихо стала большая серия наблюдений планет, которые он оставил Кеплеру.

БРАДЛЕЙ, Джеймс (Bradley, James) (март 1693, Шерборн, Глостершир, Англия, – 13.07.1762, Челфорд, Глостершир) – ан-

глийский астроном. Окончил Оксфордский университет. Под руководством своего дяди Джеймса Паунда (1669–1724), опытного астронома, Брадлей проводил первые астрономические наблюдения. Он был избран в Королевское общество в 1718 г. В 1719 г. принял церковный сан и получил место священника в Бридстау, но в 1721 г., когда был назначен профессором астрономии в Оксфорде, отказался от церковной карьеры. С 1729 по 1760 г. был лектором в Музее Ашмола. Самым блестящим достижением Брадлея стало открытие аберрации света, о котором он сообщил Королевскому обществу в январе 1729 г. После смерти Э. Галлея в 1742 г. занял пост Королевского астронома, т. е. директора Гринвичской обсерватории. Наблюдая 20 лет за склонением звёзд, он открыл нутацию (1748). Между 1750 и 1762 гг. выполнил 60 тыс. позиционных наблюдений звёзд, результаты которых были опубликованы в 1798 и 1805 гг. В 1818 г. Ф. Бессель использовал эти данные при создании своего каталога 3222 звёзд. В 1752 г. Брадлею была пожалована Королевская пенсия в 250 фунтов стерлингов в год.

БРАНА — любой протяжённый объект в теории струн. 1-брану называют струной, 2-брану — мембраной; у 3-браны имеются три протяжённых измерения. В общем случае *p*-брана имеет *p* пространственных измерений.

БРАУН, Роберт Хэнбери (Brown, Robert Hanbury) (31.08.1916, Аруванкаду, Индия, — 16.01.2002, Эндовер, Англия) — английский и австралийский астроном. В Лондонском университете получил образование радиоинженера, во время Второй мировой войны занимался радиолокационной техникой. В 1950 г. первым обнаружил радиоизлучение нормальной галактики — Туманности Андромеды. Один из изобретателей радиоинтерферометра (1952) и оптического интерферометра интенсивностей (1956) для измерения углового размера звёзд.

БРАУН, Эрнест Уильям (Brown, Ernest William) (29.11.1866, Гулль, Англия, — 22.07.1938, Нью-Хейвен, США) — английский математик и астроном. Получил образование в Кембридже, начал свою научную карьеру под руководством Джорджа Дарвина, но вскоре перебрался в США, где жил и работал до конца своих дней. Его фундаментальная книга «Таблицы движения Луны» (1919) считается наиболее авторитетным источником по теории движения Луны. Фактически по ним астрономы производили расчёт положения Луны вплоть до 1983 г. Браун обнаружил вариации в скорости вращения Земли, исследовал проблему трёх тел, движение планет и астероидов (в частности — троянцев), развивал теорию резонансов.

БРЕДИХИН, Фёдор Александрович (26.11(8.12).1831, г. Николаев Херсонской губ., Россия, — 1(14).5.1904, Санкт-Петербург, Россия) — российский астроном. Создатель московской астрофизической школы. Разработал теорию кометных форм, учитывающую отталкивающее действие солнечного излучения и солнечного ветра. Одним из первых стал изучать по оптическим спектрам химический состав газовых туманностей и комет. Президиумом АН СССР учреждена премия им. Бредихина (1946).

БРИЛЛИАНТОВОЕ КОЛЬЦО — последняя фаза чёток Бейли. Наблюдается непосредственно перед началом полной фазы солнечного затмения, когда становится видимой солнечная хромосфера, а последний фрагмент фотосферы ещё просвечивает через неровности края лунного диска. В результате в течение нескольких секунд видно слабое красное кольцо хромосферы с ослепительным точечным «бриллиантом».

БРИТАНСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ (British Astronomical Association) — Ассоциация любителей и профессиональных астрономов Великобритании.

БРИТАНСКАЯ КАМЕРА ШМИДТА — зеркальный астрограф системы Шмидта диаметром 1,2 м, установленный в 1973 г. на Англо-австралийской обсерватории. Поле зрения 6×6°.

БРИТАНСКИЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ТЕЛЕСКОП — телескоп UKIRT (UK InfraRed Telescope) с зеркалом диаметром 3,8 м, предназначенный для наблюдений в инфракрасном диапазоне, на волнах длиной от 1 до 20 мкм. Установлен на обсерватории Мауна-Кеа. Этот телескоп был первым из больших телескопов с тонким главным зеркалом.

БРИТАНСКОЕ МЕЖПЛАНЕТНОЕ ОБЩЕСТВО (British Interplanetary Society) — Британское общество, поддерживающее и развивающее интерес к проблемам космоса и космонавтики; базируется в Лондоне.

БУГЕР, Пьер (Bouguer, Pierre) (16.02.1698, Ле-Круазик, Франция, — 15.08.1758, Париж) — французский физик, астроном, геодезист. Основоположник визуальной фотометрии. Открыл закон ослабления света в поглощающей среде (1729), изобрёл гелиометр (1748), измерил потоки света от Солнца и Луны (1726).

БУРЫЕ КАРЛИКИ — то же, что *Коричневые карлики*.

БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ — алгоритм для быстрого и эффективного вычисления прямого и обратного преобразований Фурье на компьютере. Для использования этого алгоритма размер входного массива данных должен быть кратен степени 2, поэтому реальные массивы данных обычно приходится дополнять до нужного размера путём прибавления нулей.

БЮРАКАНСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ находится в Армении, на южном склоне горы Арагац, вблизи села Бюракан (высота 1500 м), в 35 км от Еревана. Основана в 1946 г. известным астрофизиком акад. В. А. Амбарцумяном. Крупнейший телескоп — рефлектор диаметром 2,6 м.

В

«В МИРЕ НАУКИ» — ежемесячный научно-популярный журнал, издающийся в Москве. Русскоязычная версия широко известного журнала «Scientific American» (в 2008 г. тираж на всех языках 733 тыс. экз.), уделяющего большое внимание астрономической тематике.

ВАН АЛЛЕН, Джеймс Альфред (Van Allen, James Alfred) (7.09.1914, Маунт-Плезант, Айова, США, — 9.08.2006, г. Айова, США) — американский астрофизик. В качестве главного исследователя на ИСЗ «Эксплорер-1 и -3» обнаружил (1958) заряженные частицы высокой энергии, образующие пояса радиации вокруг Земли («пояса Ван Аллена»).

ВАРИАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ — изменение потока и энергетического спектра космических лучей в зависимости от времени.

ВАРШАЛОВИЧ, Дмитрий Александрович (р. 14.08.1934, Ленинград, СССР) — российский физик-теоретик, доктор физ.-мат. наук (1968), академик РАН (2000), председатель Проблемного совета РАН по астрофизике и космическим исследованиям (с 2011), лауреат Государственной премии России в области науки и технологий (2008). Основные научные достижения относятся к астрофизике, космологии, теоретической спектроскопии, квантовой теории. Окончил физический факультет ЛГУ (1957) и с тех пор работает в Физико-техническом институте Академии наук (ныне им. А. Ф. Иоффе), зав. сектором теоретической астрофизики (1986–2010), профессор (с 1979) и зав. кафедрой (с 2003) «Космические исследования» Санкт-Петербургского политехнического института. Автор более 200 научных публикаций.

В 1960-е гг. обнаружил и исследовал новое для астрофизики явление — динамическое выстраивание спинов атомов,



Д. А. Варшалович

ионов и молекул в разреженной космической среде, обусловленное резонансным рассеянием анизотропных потоков излучения. Важность этого эффекта обусловлена тем, что он изменяет относительные интенсивности линий и существенно влияет на количественные оценки химического состава, степени ионизации и плотности облаков межзвёздного газа, оболочек звёзд и комет. Под руководством Варшаловича выполнены лабораторные эксперименты, доказавшие, что сложные органические молекулы в космосе образуются не только в газовой фазе, но и на поверхности межзвёздных пылинок; выполнен большой цикл работ по теме «Межзвёздные молекулы и космические мазеры», заложивший основы теории космических мазеров (изучена их энергетика, выяснены механизмы накачки, объяснена аномальная поляризация), предсказаны новые мазерные линии и предложены методы зондирования мазерных источников. Проведены исследования спектров квазаров, жёстко ограничившие возможные отличия постоянной тонкой структуры и отношения масс электрона и протона в космологически удалённых и даже причинно не связанных областях пространства-времени от их лабораторных значений.

Премия им. А. А. Белопольского АН СССР (1990 г., совм. с С. А. Левшаковым) за открытие нового класса внегалактических объектов – молекулярных облаков H_2 и HD с большими красными смещениями. Премия им. А. Ф. Иоффе РАН (2000) за цикл работ «Проверка космологической переменности фундаментальных физических констант на основе анализа спектров наиболее далёких квазаров». Премия им. В. А. Фока РАН (2001 г., совм. с А. Н. Москалёвым) за монографию «Квантовая теория углового момента».

ВЕГА – α Лиры, звезда 0,0 визуальной звёздной величины. Удалена от Солнца на 25 св. лет, имеет светимость в 50 раз выше солнечной. Через 12 тыс. лет в результате прецессии земной оси Вега станет полярной звездой. Вместе с яркими звёздами Денеб (в Лебеде) и Альтаир (в Орле) Вега образует известный астеризм – Летний треугольник.

ВЕДЕНИЕ – перемещение телескопа вслед за суточным движением объектов. Для ведения телескопа, установленного на экваториальной монтировке, достаточно вращать её полярную ось со скоростью 360° в звёздные сутки. Для ведения телескопа на альт-азимутальной монтировке требуется перемещение по обеим осям с переменными скоростями, для чего необходимы приводы с компьютерным управлением. Для точного удержания объекта в фиксированном месте поля зрения одновременно с ведением осуществляется гидирование. Иногда для отслеживания объектов при получении его изображения используют синхронное перемещение заряда от пикселя к пикселю ПЗС-матрицы, соответствующее перемещению изображения по её поверхности. Эту методику называют накоплением с задержкой во времени.

ВЕДУЩИЙ КРАЙ – передний, набегающий на объекты дальнего фона край диска движущегося протяжённого объекта – Солнца, Луны, планеты и т. п.

ВЕЕРНАЯ ДИАГРАММА – главный лепесток диаграммы направленности радиотелескопа, имеющий различную ширину по двум взаимно перпендикулярным направлениям: широкий вдоль одной координаты и узкий вдоль другой. Альтернативой служит карандашная диаграмма направленности, главный лепесток которой симметричен относительно оптической оси.

ВЕЙЦЗЕККЕР, Карл Фридрих фон (Carl Friedrich von Weizsäcker) (28.06.1912, Киль, Германия, – 28.04.2007, Штарнберг, Германия) – немецкий физик-теоретик и астрофизик. В 1933 г. окончил Лейпцигский университет. В 1936–1942 гг. работал в Институте физики кайзера Вильгельма в Берлине; в 1942–1944 г. профессор Страсбургского университета. В 1946–1957 гг. работал в Институте Макса Планка. В 1957–1969 гг. профессор Гамбургского университета; с 1969 г. директор Института Макса Планка.

Научные работы посвящены атомной и ядерной физике, квантовой теории, единой теории поля и элементарных частиц, теории турбулентности, ядерным источникам энергии звёзд, происхождению планет, теории аккреции на звёзды. Предложил полуэмпирическую формулу



Карл Вейцзеккер

для энергии связи атомного ядра (формула Вейцзеккера). Объяснил существование метастабильных состояний. Заложил основы теории изомерии атомных ядер. Независимо от Х. Бете открыл в 1938–1939 гг. углеродно-азотный цикл термоядерных реакций в звёздах. В квантовой электродинамике известен метод эквивалентных фотонов (метод Вейцзеккера–Вильямса). В 1940-е гг. Вейцзеккер выдвинул ряд оригинальных идей в области космогонии. Он предложил аккреционную теорию формирования звёзд; из переобогащенного космической пылью вещества за счёт лучевого давления формируются ядра звёзд, а затем на них происходит гравитационная аккреция более чистого газа, содержащего мало пыли, но много водорода и гелия. Пытаясь объяснить существование главной последовательности на диаграмме «температура–светимость» звёзд, Вейцзеккер и Ф. Хойл предположили, что звезды движутся вдоль главной последовательности вверх из-за аккреции межзвёздного вещества, вызывающей рост их массы. В 1944 г. Вейцзеккер разработал вихревую гипотезу формирования Солнечной системы. Он предложил теорию формирования планетной системы из пылевого вещества, довольно точно описывающую расстояния планет от Солнца. Эта теория, основанная на ранних идеях Канта и Лапласа, освободила космогонию от необходимости предполагать соударения (тесные сближения) звёзд для формирования планет (идея Дж. Джинса).

ВЕКОВОЕ УСКОРЕНИЕ ЛУНЫ – опережение Луной своего предвычисленного положения на небе для земного наблюдателя, использующего солнечное или звёздное время. Это явление связано с приливным взаимодействием Луны и Земли, вызывающим изменение лунной орбиты и тормозящим вращение Земли.

Мысль о том, что морские приливы, обегая Землю в направлении, противоположном её вращению, и встречая препятствия в виде материков и мелководья, могут тормозить вращение Земли, высказал ещё в 1754 г. И. Кант. Проверить это явле-

ние можно было бы, измеряя, как меняется со временем продолжительность суток. Но для этого необходимы были очень точные часы, которых в XVIII в. было. Правда, ещё в 1695 г. Э. Галлей, проанализировав древние и современные ему солнечные затмения, заподозрил, что угловая скорость движения Луны увеличивается по отношению к скорости вращения Земли. Дальнейшие наблюдения подтвердили это, а расчёты показали, что в действительности не Луна ускоряет свой бег, а Земля замедляет вращение.

Фактически вековое приливное ускорение Луны вызвано тем, что угловая скорость вращения Земли выше угловой скорости орбитального движения Луны. По этой причине приливные выступы на Земле «сносятся» вперед относительно линии Земля–Луна. Притяжение самой Луны к ближнему приливному выступу Земли сильнее, чем к дальнему выступу, поэтому на Луну постоянно действует сила, увлекающая её вперед по орбите. По этой же причине под действием притяжения Луны тормозится вращение Земли.

Поскольку приливные горбы на поверхности Земли увлекают Луну вперёд по орбите, её механическая энергия возрастает. При этом радиус её орбиты увеличивается, а угловая скорость орбитального движения уменьшается. Однако влияние самой Луны на приливные горбы Земли тоже тормозит вращение нашей планеты, причём угловая скорость вращения Земли при этом уменьшается быстрее, чем угловая скорость движения Луны. Поэтому при измерении скорости Луны относительно некоторых точек на поверхности Земли кажется, что Луна ускоряет своё движение. Вот почему астрономы всё же говорят о вековом ускорении Луны под действием приливного трения.

Достаточно точные часы были созданы лишь в XX в., и с их помощью действительно было обнаружено систематическое удлинение земных суток на крайне малую величину: лишь на 0,0015 секунды за 100 лет. Но в результате только за последние 2000 лет Земля «отстала» от идеальных часов на 3 часа. Это вполне можно заметить по отличию географической долготы мест на Земле, где происходили исторические солнечные затмения, от расчётов полосы затмения, сделанных в предположении постоянства скорости вращения Земли, что и удалось Э. Галлею три века назад.

ВЕКОВОЙ ПАРАЛЛАКС — видимое изменение положения небесного светила вследствие перемещения наблюдателя вместе с Солнечной системой в ходе её движения в Галактике.

ВЕЛИКАЯ РАВНИНА (*лат. vastitas, мн. vastitates*) — обширная по площади равнина на поверхности планеты. Пока известна только на Марсе: Великая Северная равнина (Vastitas Borealis). Возможна транслитерация названия — ваститас.

ВЕЛИКИЙ АТТРАКТОР (от англ. *attract* — притягивать) — предполагаемая гигантская концентрация массы, влияющая на движение многих галактик, включая и нашу. В 1986 г. обнаружилось, что вместе с окружающими галактиками наша звёздная система движется в сторону сверхскопления Гидры–Кентавра со скоростями, значительно отличающимися от тех, которые следуют из расширения Вселенной по закону Хаббла. Одним из возможных объяснений такого отклонения от однородного хаббловского расширения может быть наличие «Великого аттрактора» — области или объекта, оказывающего гравитационное влияние на окружающие звёздные системы. Его масса оценивается в десятки тысяч масс Галактики. Диаметр этой области около 300 млн св. лет, а центр удалён от нас на 150 млн св. лет.

ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ — класс физических теорий, объединяющих три негравитационных взаимодействия в рамках единого формализма. Теоретические модели великого объединения единым образом описывающие сильное, электромагнитное и слабое взаимодействия элементарных частиц. Эти три вида взаимодействий между частицами осуществляются за счёт испускания и поглощения ими частиц — переносчиков взаимодействия (так называемых промежуточных бозонов). Хорошо известным примером таких частиц служат кванты электромагнитного поля — фотоны, обмен которыми обеспечивает электромагнитное взаимодействие частиц, несущих электрические заряды.

Аналогично электромагнитному взаимодействию, слабое взаимодействие также осуществляется промежуточными бозонами, но уже не одним, а тремя: W^+, W^- и Z^0. Слабое взаимодействие тоже обусловлено существованием специфического заряда. Расстояния, на которых промежуточные бозоны могут осуществлять взаимодействие, обратно пропорциональны их массам. Так как силы электромагнитного взаимодействия медленно спадают с расстоянием, то говорят, что радиус действия электромагнитных сил бесконечен. Это эквивалентно утверждению, что масса фотона равна нулю. В отличие от фотона, промежуточные бозоны слабого взаимодействия довольно массивны, примерно в 100 раз массивнее протона. Этим объясняется малый радиус действия сил слабого взаимодействия, примерно равный комптоновской длине волны W-бозонов ($\sim 10^{-16}$ см), и малая вероятность обусловленных им процессов микромира. Однако в остальном свойства $W^{\pm}$- и Z^0-бозонов схожи со свойствами фотонов, так что на очень малых расстояниях ($< 10^{-16}$ см) или при больших энергиях (> 100 ГэВ), когда частицы $W^{\pm}$ и Z^0 могут свободно рождаться, обмен этими бозонами осуществляется столь же легко, как и обмен безмассовыми частицами. В этих условиях должна существовать полная симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействиями. Эти взаимодействия, имеющие, по существу, единую природу, часто называют электрослабым взаимодействием.

Сильные ядерные взаимодействия обусловлены обменом ещё одним типом промежуточных бозонов — глюонами. Глюоны, как и кварки, которые обмениваются глюонами, обладают т. н. цветовыми зарядами. Существует три типа цветовых зарядов и восемь видов глюонов.

Интенсивность каждого из трёх упомянутых взаимодействий характеризуется константой взаимодействия, которая медленно меняется с расстоянием между частицами, которое, в свою очередь, обусловлено энергией их взаимодействия. Так, константа сильного взаимодействия убывает с ростом энергии. Что касается констант электрослабого взаимодействия, то одна из них уменьшается с энергией, а другая, напротив, растёт. Удивителен факт, что все три константы становятся равными друг другу при одной и той же энергии, которую называют энергией объединения. По масштабам микромира она чрезвычайно велика ($\sim 10^{15}$ ГэВ). При $E > 10^{15}$ ГэВ (или на расстояниях $r < 10^{-29}$ см) сильные и электрослабые взаимодействия описываются единой константой, т. е. имеют общую природу.

Наряду с моделями великого объединения существуют также теоретические схемы, в рамках которых объединяются все известные типы взаимодействий, т. е. к электромагнитному, слабому и сильному взаимодействиям добавляется ещё гравитация. Их называют схемами супергравитации.

ВЕЛИКОЕ ПРОТИВОСТОЯНИЕ МАРСА (англ. *perihelic opposition*) — такое противостояние, когда расстояние от Земли до Марса составляет менее 60 млн км (см. *Противостояния*). Поскольку орбитальные периоды Земли и Марса несоизмеримы, при каждом противостоянии эти планеты встречаются в разных местах своих орбит, приближаясь друг к другу на разное расстояние (в основном из-за эксцентричности орбиты Марса). Если противостояние случается в период нашей зимы — с января по март, — то расстояние до Марса довольно велико, около 100 млн км. Но если планеты сближаются в конце нашего лета, когда Марс проходит перигелий своей орбиты, то его расстояние от Земли сокращается до 56–60 млн км. Такие благоприятные для астрономических наблюдений противостояния называют великими, они случаются через каждые 15 или

17 лет. Противостояние тем благоприятнее, чем ближе оно приходится к 28 августа, так как в этот день Земля проходит ближе всего к перигелию орбиты Марса.

Великие противостояния Марса с 1830 по 2035 г.

Дата		Расстояние от Земли до Марса	
Год	День	а. е.	млн км
1830	19 сентября	0,3885	58,12
1845	18 августа	0,3730	55,80
1860	17 июля	0,3927	58,75
1877	5 сентября	0,3771	56,41
1892	4 августа	0,3777	56,50
1909	24 сентября	0,3919	58,63
1924	23 августа	0,3729	55,79
1939	23 июля	0,3893	58,24
1956	10 сентября	0,3789	56,68
1971	10 августа	0,3759	56,23
1988	22 сентября	0,3931	58,81
2003	28 августа	0,3729	55,79
2018	27 июля	0,3862	57,77
2035	15 сентября	0,3813	57,04

Великое противостояние Марса 28 августа 2003 г. оказалось на редкость тесным: Земля сблизилась с Марсом до расстояния 55 758 005 км. В период подготовки к этому событию появился термин «величайшие противостояния Марса».

Величайшие противостояния Марса (сближения с Землёй менее чем на 56 млн км). Момент наибольшего сближения может предшествовать дате противостояния на сутки или даже двое

Дата противостояния		Минимальное расстояние	
Год	День	млн км	а. е.
1482	3 августа	55,809	0,373057
1561	7 августа	55,838	0,373253
1640	21 августа	55,87	0,37347
1687	8 августа	56,00	0,37434
1719	27 августа	55,951	0,37401
1766	13 августа	55,839	0,373260
1845	18 августа	55,803	0,373021
1924	23 августа	55,777	0,372846
2003	28 августа	55,758	0,372719
2050	14 августа	55,96	0,37405
2082	1 сентября	55,884	0,37356
2129	19 августа	55,841	0,373276
2208	24 августа	55,769	0,372794
2287	29 августа	55,688	0,372254
2366	2 сентября	55,709	0,372389
2445	5 сентября	55,795	0,372963
2492	24 августа	55,833	0,373217
2571	30 августа	55,708	0,372382

ВЕНЕРА — планета Солнечной системы, вторая от Солнца, удалённая от него на 108,2 млн км (0,723 а. е.). Синодический период обращения 583,92 сут. Наибольшая элонгация 48°. Сидерический период обращения (т. е. орбитальный период) составляет 224,7007 сут. Период осевого вращения (обратного по отношению к орбитальному) 243,02 сут. Поэтому солнечные сутки на Венере длятся 116,75 земных суток. Таким образом, в течение венерианского года успевает пройти всего около двух венерианских солнечных суток, т. е. за один оборот вокруг Солнца на Венере происходят два восхода и два захода Солнца. Впрочем, наклон экватора Венеры к плоскости её орбиты мал ($i = 2{,}7°$), а эксцентриситет орбиты незначителен ($e = 0{,}007$), так что сезонные вариации температуры почти отсутствуют.

Синодический период Венеры — это период её нижних соединений с Солнцем, равный периоду её максимального сближения с Землёй. Как видим, он с высокой точностью равен пяти солнечным суткам на Венере (583,92/116,75 = 5,0015), а это означает, что в каждом нижнем соединении Венера обращена к Земле одной и той же стороной. Причина этого, как и причина медленного обратного вращения Венеры, пока не ясна.

На земном небе Венера обычно видна как утренняя или вечерняя «звезда»; это самое яркое светило ночного неба после Луны; видимая звёздная величина Венеры временами достигает $-4{,}9^m$. Видимый угловой диаметр меняется от 10″ до 66″.

Венера не имеет естественных спутников. Её масса $4{,}869 \cdot 10^{24}$ кг (82% от массы Земли); радиус твёрдой поверхности 6052 км (95% от радиуса Земли); средняя плотность 5,24 г/см^3.

Планета обладает чрезвычайно плотной атмосферой, наличие которой установлено в 1761 г. М. В. Ломоносовым. У поверхности планеты в ней преобладают углекислый газ CO_2 (96,5%) и азот N_2 (3,5%) с незначительной примесью некоторых других газов: водяного пара H_2O, монооксида углерода CO, двуокиси серы SO_2, паров соляной кислоты HCl, паров фтористоводородной кислоты HF. Содержание H_2O в глубоких слоях атмосферы составляет всего около 0,002%, что очень мало по сравнению с количеством воды на Земле. Температура атмосферы у поверхности ночью и днём около 460 °C (733 K), давление около 93 бар, а плотность составляет около $^1/_{15}$ плотности воды.

Нижние конвективные слои атмосферы (тропосфера) у Венеры толще земных. На высотах 50–70 км постоянно дуют ветры, имеющие среднюю скорость около 100 км/с. Как и Земля, Венера обладает ионосферой. Максимум концентрации ионов и электронов находится на высоте около 150 км: днём электронная концентрация там около $3 \cdot 10^5$ электронов/см^3, а ночью — на порядок меньше.

На высотах 50–70 км Венеру окутывает трёхъярусный плотный слой облаков с температурой около 230 K, в которых имеются капельки серной кислоты. Облака образуют сплошной мощный слой, полностью скрывающий каменистую и гористую поверхность планеты.

Венера отличается высоким уровнем геологической активности и множеством вулканических базальтов и тектонических образований, специфичных только для Венеры, таких как венцы, куполообразные холмы, паутинные сети лавовых потоков и тектонических трещин, а также около 1000 ударных кратеров. (с. 10 цветной вкладки). Предполагают, что по внутреннему строению Венера похожа на Землю. Однако собственное магнитное поле у Венеры практически отсутствует.

ВЕНЦЫ как формы рельефа (лат. *corona*, мн. *coronae*) — кольцевые структуры диаметром от 150 до 600 км, образованные системами концентрических гряд и борозд и имеющих в плане форму круга или овала. Прежнее название — овоиды. Обнаружены на Венере и спутниках Урана. Предполагают, что формирование венцов связано с воздыманием или «расплыванием» над горячими точками, или, как их ещё называют, мантийными диапирами.

ВЕНЦЫ как оптическое явление — светлые туманные кольца на небе вокруг диска Солнца или Луны (реже — вокруг ярких звёзд и земных источников света), окружённые одним или несколькими радужными кольцами. Венцы появляются при прохождении перед светилом полупрозрачных облаков (чаще всего высококучевых) или тумана и отличаются от гало меньшим радиусом колец (не более 5°). Венцы объясняются дифракционным рассеянием лучей светила на водяных каплях, образующих облако или туман. По наблюдаемым угловым радиусам отдельных колец и разделяющих их тёмных промежутков можно определять поперечники капель в облаках и различать облака, состоящие из водяных и ледяных частиц. Радиусы колец зависят от длины волны света, поэтому наружный край кольца имеет красноватый цвет. При наличии в атмосфере капель всевозможных размеров кольца венцов, накладываясь друг на друга, образуют общее белое сияние (ореол) вокруг диска светила.

ВЕРОЯТНАЯ ОШИБКА — мера погрешности серии измерений. Отдельное измерение имеет равную вероятность оказаться внутри или вне границ, отстоящих от среднего значения на величину вероятной ошибки. Вероятная ошибка равна 0,6745 σ, где σ — стандартное отклонение.

ВЕРОЯТНОСТЬ ПЕРЕХОДА — вероятность того, что данный переход электрона с одного энергетического уровня на другой произойдёт. Имеется три различных вероятности для данного перехода: вероятность поглощения, вероятность спонтанного излучения и вероятность вынужден-

ного излучения (переход, индуцируемый другим фотоном с той же длиной волны). Значение вероятности перехода составляет от 10^8 $с^{-1}$ до 10^3 $с^{-1}$ для обычных переходов и 10^{-15} $с^{-1}$ и менее для запрещённых линий.

ВЕРТЕКС (лат. *vertex* – вершина, полюс) – точка небесной сферы, к которой преимущественно направлены остаточные (пекулярные) собственные движения некоторой совокупности звёзд.

ВЕРТИКАЛ, или **вертикальный круг**, – большой круг небесной сферы, проходящий через зенит и данную точку на сфере. Вертикал, проходящий через точки севера и юга, называют небесным меридианом, а через точки запада и востока – первым вертикалом. Вертикал, проходящий через светило, называют также «кругом высоты». Часто под «вертикалом» понимают лишь полукруг, проходящий через зенит, светило и надир; при этом первый вертикал делят на восточный и западный.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ КРУГ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ – см. *Вертикал.*

ВЕРХНЯЯ ИОНОСФЕРА ЗЕМЛИ – область ионосферы, в которой ионы и электроны замагничены (гирочастоты электронов и ионов больше частот их столкновений с нейтральными частицами), расположенная выше 140 км.

ВЕСЫ – зодиакальное созвездие, описанное в «Альмагесте» Птолемея как «клешни Скорпиона». Вначале это созвездие представляли как алтарь, затем его стали изображать как алтарь или лампу, зажатую в гигантских клешнях скорпиона, а позже клешни «отпустили» его. Лишь незадолго до начала христианской эры римляне дали ему нынешнее имя. До сих пор звёзды α и β Весов называют Южной и Северной Клешнями. Затменная переменная звезда δ Lib меняет блеск от $4{,}8^m$ до $6{,}0^m$ с периодом 2,3 сут.

ВЕЧЕРНЯЯ ЗВЕЗДА – традиционное название Венеры в период, близкий к её наибольшей восточной элонгации, когда её блеск близок к максимальному. В этот период Венера видна на вечернем небе, в его западной части, после захода Солнца. А в период западной элонгации Венеру называют «утренней звездой», причём в некоторые эпохи эти две «звезды» считали разными светилами.

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ – две или несколько близко расположенных галактик, заметно искажающих форму друг друга своим гравитационным влиянием. Взаимодействие нарушает симметричную форму галактик и приводит к появлению структурных элементов, не характерных для одиночных галактик: «антенн», «хвостов», перемычек. Часто оно вызывает усиленное звёздообразование и активность в ядре галактики.

ВИДЕОКАМЕРА – компактный оптический прибор, применяемый для получения киноизображений (движущихся картин), в котором в качестве приёмного элемента используется ПЗС-матрица. Камеры, применяемые профессиональными телевизионными компаниями, особенно для работы в студии, зачастую до сих пор оснащены электронно-лучевыми трубками типа «видикон».

ВИДИМАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА – логарифмическая мера потока излучения небесного источника вблизи наблюдателя (см. *Звёздная величина*). Фактически выражает воспринимаемый наблюдателем блеск (яркость) небесного объекта. В повседневной астрономической практике этот термин обычно упрощают и говорят просто «звёздная величина». Полностью его используют лишь в тех случаях, когда может возникнуть неопределённость и путаница с «абсолютной звёздной величиной», выражающей истинную мощность излучения небесного объекта. Определение «видимая» означает «непосредственно воспринимаемая, измеряемая», а вовсе не «визуальная». Видимую звёздную величину источника можно оценить как при наблюдении невооружённым глазом, так и в телескоп или на экране компьютера, получающего сигнал с ПЗС-приёмника. Но для точного измерения и последующего указания звёздной величины источника необходимо определиться со спектральным диапазоном. При грубых оценках видимую звёздную величину можно указывать как визуальную или фотографическую. Но при более точных измерениях следует приводить её к стандартным спектральным диапазонам: U, B, V и т. д. (см. *Фотометрическая система*).

ВИДИМОСТЬ, или **появление** (англ. *apparition*) – период времени, в течение которого небесный объект доступен наблюдениям с Земли. Нередко этим же термином – видимость – переводят англ. *seeing*, имея в виду качество изображения объекта, обусловленное состоянием атмосферы, например угловой размер изображения звезды, который из-за атмосферного размытия и дрожания всегда превышает размер диска Эри (см. *Разрешающая сила*).

ВИДИМЫЙ ДИАПАЗОН – область электромагнитного спектра, лежащая между инфракрасным и ультрафиолетовым диапазонами, в пределах которой чувствителен глаз человека. Длины волн видимого диапазона заключены в пределах от 350 до 700 нм, а соответствующие им частоты – в диапазоне от $4{,}3 \cdot 10^{14}$ до $8{,}6 \cdot 10^{14}$ Гц. Энергия фотонов излучения в видимом диапазоне составляет от 1,8 до 3,5 эВ. Видимый диапазон является частью оптического диапазона.

ВИЗУАЛЬНАЯ ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА – две звезды, наблюдающиеся на близком угловом расстоянии друг от друга – как правило, от нескольких угловых секунд до долей секунды. В большинстве своём это физические двойные системы, в которых компоненты разделены большим линейным расстоянием: от десятков до тысяч астрономических единиц.

ВИЗУАЛЬНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА – видимая звёздная величина объекта, оценённая при наблюдении глазом. Визуальная звёздная величина близка к звёздной величине в спектральной полосе V (см. *Фотометрическая система*).

ВИЛОЧНАЯ МОНТИРОВКА – конструкция экваториальной монтировки телескопа, в которой телескоп вращается по склонению между парой стоек – перьев вилки, укреплённых на поперечной балке на верхнем конце полярной оси. Небольшие телескопы системы Шмидта–Кассегрена, выпускаемые промышленно, как правило, имеют именно такую вилочную монтировку, поскольку она компактна и облегчает транспортировку телескопа.

ВИНЬЕТИРОВАНИЕ (франц. *vignette* – заставка) – частичное затенение пучка лучей, проходящего через оптическую систему, элементами её конструкции, например вторичным зеркалом в телескопе-рефлекторе. В широкоугольных системах эффективная площадь входной апертуры уменьшается с удалением от оптической оси в результате эффекта проекции. Виньетирование приводит к неравномерному освещению плоскости изображения. Обычно освещённость падает от центра к краю поля зрения.

ВИРТУАЛЬНАЯ ПАРА – пара частица–античастица, на мгновение рождающаяся в вакууме, но не способная превратиться в реальные частицу и античастицу при отсутствии дополнительного источника энергии (см. *Виртуальные частицы*).

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ – элементарные частицы, которые на мгновение извергаются из вакуума. В соответствии с соотношением неопределённостей они существуют за счёт «заимствованной» из вакуума энергии и быстро аннигилируют, возвращая тем самым «энергетический долг».

ВИСОКОСНЫЙ ГОД – календарный год, состоящий из 366 сут. В отличие от про-

стого года содержит дату 29 февраля. В юлианском (в пределах новой эры) и григорианском календарях високосным считается год, число лет которого делится на 4. Однако в григорианском календаре не считаются високосными те годы, число столетий в которых не делится на 4; к примеру, 1900 г. был простым, а 2000 г. — високосным. Название «високосный» связано с тем, что в Древнем Риме в качестве добавочного 366-го дня года дублировался 6-й день мартовских календ (за 6 дней до 1 марта), называвшийся *bisextus*, т. е. «второе шестое».

ВЛОЖЕННЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ — объектив телескопа для мягкого рентгеновского диапазона, состоящий из нескольких соосно вложенных друг в друга зеркал косого (скользящего) падения (см. *Телескоп Уолтера*). Внешне такая конструкция напоминает нижнюю половину матрёшки.

ВНЕАТМОСФЕРНАЯ АСТРОНОМИЯ (как метод исследований) — проведение астрономических наблюдений с помощью приборов, поднятых для устранения атмосферных помех за пределы плотных слоёв земной атмосферы — в стратосферу или космическое пространство. Внеатмосферные астрономические наблюдения проводятся с борта высотных самолётов, аэростатов, геофизических ракет, спутников Земли, пилотируемых орбитальных станций и межпланетных зондов. Основные разделы внеатмосферной астрономии: астрономия высоких энергий (в рентгеновских и гамма-лучах), оптическая и ультрафиолетовая астрономия, инфракрасная астрономия и космическая интерферометрия со сверхдлинной базой (радиоастрономия).

Прямое изучение объектов Солнечной системы и межпланетного пространства не входит в круг задач внеатмосферной астрономии. Если возможности приборов, которые в принципе могли бы работать с поверхности Земли, улучшаются лишь за счёт их приближения к объекту наблюдения (например, фотосъёмка и радиолокация поверхности планет с борта космических зондов), то такие исследования относят к космонавтике и называют «космическими исследованиями». Впрочем, формальную границу между внеатмосферной астрономией и космическими исследованиями провести довольно трудно.

Первые результаты в области внеатмосферной астрономии были получены в конце 1940-х гг., когда удалось сфотографировать ультрафиолетовый спектр Солнца в области длин волн менее 3000 Å. В этих экспериментах (1946–1947 гг.) использовались ракеты, способные достичь высоты около 100 км. С помощью высотных аэростатов (поднимающихся на высоту 30–40 км), ракет, искусственных спутников Земли и межпланетных зондов стало возможным проводить изучение космических объектов во всём диапазоне длин волн, начиная от жёсткого гамма-излучения и до километровых радиоволн. Благодаря успехам внеатмосферной астрономии в середине XX в. астрономия стала всеволновой.

По сравнению с наземной астрономией внеатмосферная астрономия обладает как неоспоримыми преимуществами, так и недостатками. Главные её преимущества связаны с отсутствием перед объективом телескопа толстого слоя воздуха, эквивалентного по количеству вещества слою воды толщиной 10 м. Поэтому внеатмосферные телескопы могут регистрировать излучение в тех диапазонах спектра, для которых земная атмосфера непрозрачна. Внеатмосферная астрономия даёт возможность устранить дрожание изображения в телескопах, вызванное атмосферными неоднородностями, и довести пространственное разрешение телескопа до его теоретически возможного (дифракционного) значения λ/D (радиан), где λ — длина волны, D — диаметр входного отверстия телескопа. С другой стороны, астрономические наблюдения из верхних слоёв атмосферы и тем более из космоса требуют немалых финансовых затрат. Так ли уж они необходимы?

Астрономам ясно, что сегодня такие наблюдения незаменимы: это неотъемлемая часть современной астрофизики. Звёзды, туманности и галактики излучают не только видимый свет, но и радиоволны, инфракрасное, ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение, несущее важнейшую информацию об излучающем объекте. Но к поверхности Земли, кроме видимого света, доходят только радиоволны и ближнее (т. е. коротковолновое, 1–4 мкм) инфракрасное излучение; атмосфера непрозрачна для высокоэнергичного излучения (гамма-, рентгеновского и ультрафиолетового) и почти непрозрачна для далёкого (длинноволнового) инфракрасного света. Поэтому для исследования этих видов излучения астрономы поднимают приборы над поглощающими слоями атмосферы.

Внеатмосферная астрономия нужна и для некоторых наблюдений в видимом свете. Проходя сквозь атмосферу, свет рассеивается на пылинках, поглощается молекулами озона и воды, преломляется на неоднородностях плотности, в результате чего изображения дрожат и становятся размытыми. В 1990-е гг. была создана техника адаптивной оптики, способная в реальном времени изменять форму оптической поверхности (дополнительного зеркала в телескопе) для компенсации атмосферного дрожания и размытия. Это существенно повысило чёткость изображений у наземных телескопов — до нескольких сотых долей угловой секунды. Но лучших результатов достичь не удаётся, да и те — лишь в небольшом поле зрения. К тому же собственное свечение ночной атмосферы и рассеянный в ней свет городских и дорожных огней мешают астрономам, даже находящимся на отдалённых горных обсерваториях, изучать объекты низкой поверхностной яркости — туманности и галактики. У телескопов, работающих на орбите, небо гораздо темнее, а изображения намного более чёткие и при этом широкоугольные. Таким образом, даже для оптической астрономии внеатмосферные наблюдения предпочтительнее наземных.

Перспективы внеатмосферной астрономии весьма многообещающие. Происходит постоянный рост углового разрешения. В оптическом диапазоне с помощью астрометрического спутника Hipparcos уже измерено положение и движение ярких звёзд с точностью 0,001″, а в ближайшей перспективе с помощью спутников GAIA и SIM, работающих в режиме оптического интерферометра, точность этих измерений достигнет миллионных долей угловой секунды. В принципе внеатмосферная астрономия позволяет получать с таким разрешением и оптические изображения объектов, что особенно привлекательно для исследования экзопланет.

В радиодиапазоне разрешение возрастает благодаря увеличению базы интерферометров; в этом смысле радиоастрономия становится не столько внеатмосферной, сколько «внеземной». Уже осуществляются наблюдения с базой, почти равной расстоянию до Луны («Радиоастрон» с 2011 г.), а в перспективе предполагается увеличение базы радиоинтерферометров до 1 а. е. и даже более, что даже в сантиметровом диапазоне даст разрешение до 10^{-9} угловой секунды.

В будущем внеатмосферной, а точнее — внеземной, должна стать и гравитационно-волновая астрономия. Чувствительность лазерных детекторов гравитационных волн на свободных массах прямо зависит от расстояния между массами (если оно не превышает длины волны). К тому же для работы таких приборов требуется вакуум и отсутствие механических шумов, т. е. вибрации, вызванной сейсмическими и индустриальными процессами. Всё это ограничивает возможности наземных детекторов, но практически не ограничивает их возможности в космосе. Наиболее реальным проектом космического гравитационно-волнового детектора считается проект LISA (Laser Interferometer Space Antenna), который развивался совместными усилиями NASA и ESA, но в 2011 г. стал испытывать финансовые трудности, поэтому сейчас его судьба не ясна.

ВНЕАТМОСФЕРНАЯ АСТРОНОМИЯ (основные достижения) — научные резуль-

таты, полученные при дистанционном исследовании космических объектов приборами, поднятыми за пределы земной атмосферы. Рассмотрим некоторые достижения, для которых внеатмосферные наблюдения были особенно важны.

Космология исследует Вселенную как целое. Одним из важнейших результатов в космологии стало исследование со спутника COBE фонового микроволнового излучения, заполняющего Вселенную с момента Большого взрыва и свободно распространяющегося по ней с того времени, как вещество остыло и стало прозрачным (эпоха разделения вещества и излучения). Теория предсказывает, что распределение энергии этого реликтового излучения по длинам волн должно быть представлено идеальной кривой, описывающей излучение так называемого абсолютно чёрного тела. К тому же это излучение должно иметь одинаковую интенсивность во всех направлениях на небе, если не считать мелких флуктуаций в сотые доли процента, которые должны наблюдаться в тех местах, где в эпоху разделения уже образовались уплотнения вещества, ставшие в дальнейшем галактиками и скоплениями галактик. COBE впервые надёжно доказал, что спектр реликтового излучения действительно чернотельный в широком диапазоне длин волн и что небольшие флуктуации существуют, как и предсказывает теория Большого взрыва.

Для выяснения основных свойств Вселенной большое значение имеет установление шкалы космических расстояний. Измеряя расстояния до объектов, чей свет добирался до нас большую часть жизни Вселенной, и применяя космологическую модель Фридмана–Робертсона–Уокера, входящую в теорию Большого взрыва, астрономы рассчитывают измерить возраст Вселенной и среднюю плотность её вещества и энергии. В 1960-е гг., когда разворачивалась работа, решение этой классической проблемы космологии казалось в принципе простым. Но на практике оно потребовало глубоких знаний о природе тех объектов, расстояние до которых измерялось. Сначала астрономы надеялись, что космический телескоп «Хаббл» позволит быстро решить проблему, но к середине 1990-х гг. поняли, что для окончательного решения потребуется много дополнительной работы. Тем не менее после починки в 1993 г. «Хаббл» позволяет очень точно измерять расстояния до близких и далёких галактик, решая этим важную промежуточную задачу. В сочетании с использованием наземных телескопов это позволило измерить темп расширения Вселенной за последние 10 млрд лет и открыть новое явление – ускорение расширения в последние 5 млрд лет, свидетельствующее о существовании тёмной энергии со свойством антигравитации. Эта работа удостоена Нобелевской премии по физике за 2011 г.

Внеатмосферные наблюдения чрезвычайно важны при исследовании диффузного межзвёздного и межгалактического вещества. Исследование поглощения света далёких квазаров в газе, встречающемся по пути от квазара до нас, стало важной областью космологии. Так, обнаружилось существование небольших облаков водорода, вероятно, находящихся в гало молодых галактик. Эти облака, принадлежащие далёким галактикам, можно наблюдать с помощью наземных телескопов, поскольку их ультрафиолетовые линии поглощения из-за красного смещения попадают в оптическую область спектра. Но менее далёкие облака можно наблюдать только с орбиты. А изучить их очень важно, поскольку у близких облаков легче заметить некоторые сопутствующие проявления, такие как слабые оптические линии излучения. Поглощение в спектре одного далёкого квазара, измеренное «Хабблом», и другого квазара, измеренное ультрафиолетовым телескопом во время полёта обсерватории «Astro-2» на шаттле (STS-67, «Эндевор», 2–18 марта 1995 г.), указывает на существование межгалактического вещества, которое астрономы уже давно искали, ибо подозревали, что чистый водородно-гелиевый газ остался с эпохи Большого взрыва и сейчас заполняет Вселенную.

У некоторых галактик есть компактный, но мощный источник излучения в самом центре – в ядре; по своей природе он отличается от звёзд, звёздных скоплений и туманностей, составляющих основную часть галактики. Эти источники, названные *активными галактическими ядрами* (АГЯ), светят нетепловым излучением в широком диапазоне энергий, а их спектр указывает, что движение газа в них происходит со скоростью в несколько процентов от скорости света. Существует много типов АГЯ, свойства которых различаются в деталях. У сейфертовских галактик АГЯ могут излучать столько же энергии, сколько вся остальная галактика. Другие АГЯ, называемые квазарами, могут быть такими мощными, что родительская галактика почти неразличима в ярком свете её активного ядра. Наблюдения, проведённые в 1970-е гг. рентгеновскими спутниками «Ариель-5», HEAO-1 и «Эйнштейн», показали, что сейфертовские галактики и квазары являются также мощными переменными рентгеновскими источниками. Наблюдения спутника IUE позволили изучить быстро движущийся газ вблизи АГЯ, а спутник IRAS нашёл, что квазары – ещё и яркие инфракрасные источники. Только при помощи внеатмосферных наблюдений удалось обнаружить, в каком широком диапазоне энергий излучают активные ядра галактик, и измерить распределение их энергии вдоль этого диапазона.

Рентгеновские наблюдения позволили обнаружить многие не известные ранее АГЯ. Данные IRAS указали, что инфракрасное излучение квазаров испускает теплая межзвёздная пыль, окружающая ядро. Внимательное наблюдение за вариациями ультрафиолетового излучения позволило понять, что светящиеся газовые облака, окружающие активные ядра, имеют меньший размер и более сложную структуру, чем казалось вначале. На изображениях близких АГЯ, полученных «Хабблом», центральный источник окружён диском, вдоль оси которого видны конусы излучения. Изображения и спектры радиогалактики M87, переданные «Хабблом», показали, что из вращающегося диска, как и ожидали теоретики, с большой скоростью выбрасывается струя вещества – джет.

Всё это укрепляет мнение, что удивительное разнообразие наблюдаемых проявлений у АГЯ и квазаров отчасти объясняется различием в углах наклона их дисков по отношению к земному наблюдателю. Квазары, у которых джет и диск повёрнуты прямо на наблюдателя, выглядят иначе, чем те, у которых диск виден с ребра. Это различие отчётливо проявляется в гамма-диапазоне: открытые спутником «Комптон» источники, по-видимому, развернуты точно на нас и поэтому особенно ярки из-за релятивистских эффектов. Таким образом, результаты внеатмосферных наблюдений подтверждают, хотя пока и не доказывают широко распространённую теорию, что квазары и активные галактические ядра черпают энергию из аккреции вещества на гигантскую чёрную дыру, масса которой может в миллиарды раз превосходить массу Солнца.

Космические телескопы вносят значительный вклад и в изучение *нормальных галактик* (т. е. галактик без ярко выраженной активности ядра). IRAS обнаружил сверхъяркие инфракрасные галактики, испытывающие грандиозные вспышки звёздообразования, какие прежде не наблюдались. Это заставило вообще по-новому взглянуть на эволюцию галактик. Полученные «Хабблом» изображения галактик с большим красным смещением демонстрируют, что несколько миллиардов лет назад многие из галактик, вероятно, все ещё находились в процессе формирования.

Важнейший вклад внеатмосферной астрономии во внегалактические исследования состоит в неожиданном открытии того факта, что скопления галактик заполнены разреженным газом с температурой в миллионы градусов. Этот газ излучает рентгеновские лучи, что впервые обнаружил спутник «Ухуру». Наблюдения показали, что в некоторых скоплениях этот газ холоднее в центре, в области максимального гравитационного по-

тенциала, куда оседают потоки остывающего газа, из которого там, возможно, формируются звёзды. Оказалось, что газ в скоплениях часто неоднороден, а значит, скопления все ещё не достигли равновесного состояния. Эти открытия не только помогают понять природу скоплений галактик, но прежде всего доказывают само их существование как самостоятельных физических объектов, что было далеко не просто сделать только на основании наземных оптических фотографий. Рентгеновский газ часто, но не всегда, концентрируется вокруг отдельной массивной галактики, расположенной в центре гравитационного потенциала скопления.

Рентгеновские спутники обнаружили также горячую межзвёздную среду в отдельных эллиптических галактиках, изменив этим представление о них как о старых, застывших системах. Составленные по данным IRAS каталоги нормальных спиральных галактик позволили лучше узнать распределение в них газа и пыли, понять роль звёздообразования и просто провести их поголовную перепись, не искажённую поглощением света в Млечном Пути.

Формирование звёзд и планет. IRAS исследовал самые внутренние части областей звёздообразования и обнаружил там множество новых источников. На полученных им в далёком инфракрасном диапазоне картах видны молекулярные облака и горячие уплотнения в них, где формируются массивные звёзды. Молодые звёзды малой массы, такие как T Тельца, также являются инфракрасными источниками, но IRAS обнаружил ещё более молодые звёзды, которые пока окружены пылевыми коконами и не видны в оптике. На переданных «Хабблом» изображениях туманности Ориона у некоторых недавно сформировавшихся звёзд обнаружились диски — возможно, протопланетные системы. Подобные же диски были замечены наземными телескопами у звёзд, которые, по данным IRAS'а, имеют избыточную инфракрасную светимость по сравнению с нормальными звёздами того же типа. На основе этих данных была развита новая картина формирования звёзд, согласно которой некоторые протозвёзды окружены веществом в виде экваториального диска и выбрасывают потоки газа из полярных областей. Это совсем не похоже на прежние представления о простом сферическом коллапсе; новая теория подчёркивает важную роль момента импульса в процессе звёздообразования.

Межзвёздная среда. Наблюдая в мягком рентгеновском и далёком ультрафиолетовом диапазонах, изучают близкую межзвёздную среду, в которой горячий разреженный газ неоднородно перемешан с более плотным и холодным. Ультрафиолетовая спектроскопия позволяет определить химический состав и состояние ионизации межзвёздного газа. IUE обнаружил высокоионизованный газ в галактическом гало; будущие исследования должны объяснить, как диск и гало Галактики обмениваются веществом.

Наблюдения в инфракрасном диапазоне дают информацию о плотном и холодном межзвёздном газе, с которым связано формирование звёзд. На инфракрасной карте неба доминирует полоса Млечного Пути. Однако в диапазоне 100 мкм небо покрыто инфракрасными циррусами — сетью клочковатых «перистых облаков», открытых IRAS'ом. Млечный Путь также чётко выделяется при наблюдении в гамма-диапазоне; полагают, что диффузное галактическое гамма-излучение вызвано взаимодействием с космическими лучами.

Нормальные звёзды. Ультрафиолетовая астрономия позволила детально изучить массивные звёзды, более горячие, чем Солнце, многие из которых испускают с поверхности мощный звёздный ветер — потоки ионизованного газа. IUE исследовал это явление у звёзд различного спектрального класса и возраста. Потеря массы играет важную роль в эволюции звёзд; именно внеатмосферная астрономия дала основные наблюдательные данные в этой области. Данные IUE дополнили наблюдения IRAS, обнаружившего много звёзд, так интенсивно теряющих вещество, что сами они совершенно не видны за сброшенными пылевыми оболочками. IRAS обнаружил окружённые плотной пылью звёзды асимптотической ветви гигантов — вероятных предков планетарных туманностей. IRAS также зарегистрировал излучение остатков этой пыли у тысячи планетарных туманностей, а IUE обнаружил, что их центральные звёзды все ещё выбрасывают звёздный ветер.

Оказалось, что у звёзд, менее массивных, чем Солнце, в короне происходят мощные рентгеновские вспышки. Некоторые звёзды, похожие на Солнце, гораздо сильнее его излучают в рентгеновском диапазоне, т. е. обладают активными коронами, чего трудно было ожидать по их оптическим свойствам.

Компактные объекты и остатки звёзд. Когда термоядерные реакции в звезде заканчиваются, её ядро под действием силы тяжести сжимается, а внешние слои обычно сбрасываются. Это может произойти относительно медленно и спокойно с образованием белого карлика, окружённого планетарной туманностью, но может случиться и в виде взрыва, как у сверхновых II типа, дав в результате нейтронную звезду или чёрную дыру.

Для изучения белых карликов, имеющих температуру поверхности порядка 100 тыс. К, требуются наблюдения в ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазонах. Когда белый карлик находится в тесной двойной системе с нормальной звездой, её вещество может перетекать на него, либо формируя аккреционный диск вокруг белого карлика, либо, захваченное его магнитным полем, падать на поверхность в области магнитных полюсов. Поскольку такие системы могут неожиданно увеличивать светимость во много раз, их называют катаклизмическими переменными, или, когда аккрецией управляет магнитное поле, — поляры. Аккреционный диск в основном излучает ультрафиолет, а газ, падающий на компактную звезду, светится в рентгене. Часто сама звезда слишком слаба, чтобы можно было заметить её оптическое излучение. Белые карлики в двойных системах, вероятно, являются предками сверхновых I типа, взрыв которых происходит, когда белый карлик захватывает слишком много вещества, становится неустойчивым и детонирует (см. *Предел Чандрасекара*).

Важным открытием первых рентгеновских спутников стали рентгеновские двойные звёзды, у которых компактным компаньоном является нейтронная звезда или чёрная дыра. Их более сильное притяжение вызывает разогрев газа до более высоких температур и его интенсивное излучение в жёстком рентгене. (Первым рентгеновским источником, обнаруженным за пределами Солнечной системы, был Скорпион X-1, рентгеновская двойная система.) Эти объекты делят на два класса: массивные рентгеновские двойные (high-mass X-ray binaries, HMXB), где в паре с компактной звездой движется нормальная звезда спектрального класса O или B, и маломассивные рентгеновские двойные (low-mass X-ray binaries, LMXB), где компаньоном является маленькая звезда спектрального класса K или M.

Массивные двойные излучают жёсткий рентген и обладают сильными магнитными полями. В некоторых из них нейтронные звёзды излучают пульсирующий рентгеновский поток. В других, таких как Cyg X-1 и LMC X-3, компактным объектом, вероятно, является чёрная дыра. Теоретически доказано, что нейтронная звезда не может превосходить по массе Солнце более чем в три раза. Поэтому тщательно определяют массы компактных объектов в двойных системах и для дальнейшего исследования отбирают такие, как Cyg X-1, масса у которых более чем втрое превосходит солнечную.

У маломассивных двойных спектр мягче, магнитное поле слабее, и в них нет рентгеновских пульсаров. Звезда-компаньон часто не видна, поскольку над её оптическим излучением доминирует переработанный рентгеновский поток от аккрецирующего вещества. У некоторых из них рентгеновское излучение демонстрирует квазипериодические колебания, вызванные неустойчивостью процесса аккреции.

Эволюция рентгеновских двойных сложна, поскольку две звезды часто обмениваются столь значительной массой, что более массивный компаньон после этого становится менее массивным. А поскольку скорость эволюции звезды сильно зависит от массы (чем выше масса, тем быстрее происходит эволюция), у таких тесных двойных звёзд эволюция протекает совсем не так, как у одиночных звёзд или у компонентов широких двойных систем.

Изолированные нейтронные звёзды обычно излучают радиоволны в результате процессов в их магнитосферах; в этом случае они наблюдаются как пульсары. Выяснилось также, что изолированные нейтронные звёзды могут быть источниками высокоэнергичного гамма-излучения. ROSAT зарегистрировал сверхмягкие рентгеновские источники, которые также считают связанными с нейтронными звёздами.

Рентгеновская обсерватория ROSAT, выведенная на орбиту в июне 1990 г. совместными усилиями Германии, Великобритании и США, закончила работу в 1998 г. Среди заслуг этой космической обсерватории — открытие рентгеновского излучения Луны и комет, детальное исследование структуры горячего газового гало, окружающего Галактику, обнаружение далёких массивных скоплений галактик. Всего за время своей работы ROSAT «подарил» астрономам 150 тыс. новых рентгеновских источников.

Особое внимание астрономы уделяют рентгеновскому излучению разреженного газа, окружающего места взрывов сверхновых. В этих старых остатках взрыва содержатся тяжёлые элементы, образовавшиеся в процессе взрыва сверхновой. Исследования состава и физического состояния выброшенного сверхновой вещества очень важны для понимания того, как рождаются химические элементы и эволюционирует Галактика. Многие ранее неизвестные остатки сверхновых были обнаружены с помощью рентгеновских наблюдений.

В число наиболее экзотических объектов, изучаемых рентгеновской астрономией, входят галактические двойные системы со сверхсветовым движением. Первая такая система, открытая рентгеновской обсерваторией «Гранат», демонстрировала расширение со скоростью больше световой: это оптическая иллюзия, связанная с релятивистским выбросом джета, случайно направленного почти точно в сторону Земли.

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, в рамках которого изучаются космические объекты — галактики, квазары и др., — находящиеся за пределами нашей звёздной системы — галактики Млечный Путь.

ВНЕЗАТМЕННЫЙ КОРОНОГРАФ ЛИО — оптический прибор для наблюдений солнечной короны в периоды между солнечными затмениями. Впервые он был создан в 1929–1931 гг. французским астрономом Бернаром Лио (B. Lyot, 1897–1952). Коронограф позволил существенно продвинуть вперед изучение Солнца. До изобретения этого прибора корону Солнца удавалось наблюдать лишь короткое время (в лучшем случае — несколько минут) в редчайшие моменты полных солнечных затмений, снаряжая для этого дорогостоящие экспедиции в отдалённые страны. Идея внезатменного коронографа Лио состоит в том, что за объективом телескопа располагается специальная заслонка — «искусственная Луна», которая закрывает изображение Солнца так же, как это делает настоящая Луна во время полного солнечного затмения. Однако для реализации этой, в сущности, простой идеи потребовался большой изобретательский талант. Поскольку яркость солнечной короны в миллион раз ниже яркости солнечной поверхности, малейший рассеянный свет Солнца препятствовал наблюдению короны. Поэтому коронограф Лно располагался высоко в горах, на обсерватории Пик-дю-Миди (Французские Пиренеи с. 5 цветной вкладки). где дневное небо слабо рассеивает солнечный свет. Позже в подобных условиях размещали и все другие коронографы. Однолинзовый объектив прибора был изготовлен с высочайшей тщательностью из идеального стекла, полностью лишённого оптических неоднородностей. Дополнительные диафрагмы отсекали рассеянный свет, а «искусственная Луна», отражавшая свет Солнца, охлаждалась изнутри проточной водой.

ВНЕЗЕМНЫЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ — сообщества разумных существ, обитающие за пределами Земли и не связанные с космической экспансией земной цивилизации. Достоверных данных о существовании внеземных цивилизаций пока нет.

Возможность существования внеземных цивилизаций на Луне, на планетах Солнечной системы и даже на планетах иных звёзд ещё много веков назад обсуждалась в философских и литературных произведениях. Но лишь в конце XIX в. поиск внеземных цивилизаций перешёл в практическую плоскость. Во время великого противостояния Марса 1877 г. астрономы обнаружили на его поверхности сеть прямых линий — «каналов». Это открытие вызвало к жизни гипотезу о существовании разумных марсиан. В XX в. идея поиска внеземных цивилизаций приобрела всеобщий интерес. Сначала он воплотился в научно-фантастической литературе и кинофильмах, а с появлением ракетно-космической техники — ещё и в ожидании визита на Землю представителей инопланетных цивилизаций.

Интерес учёных к этой проблеме появился в конце 1950-х гг., когда были созданы радиосистемы дальней космической связи, необходимые для управления межпланетными аппаратами, а также мощные радары для контроля космического пространства. Расчёты показали, что мощности имевшихся к тому времени передатчиков и чувствительности приёмников достаточно для поддержания радиоконтакта на межзвёздных расстояниях.

Много замечательных открытий сделали учёные в XX столетии: теория относительности и квантовая механика, ядерные реакции, сверхпроводимость, ДНК, кварки, нейтронные звёзды, чёрные дыры... Но одно открытие, давно и с нетерпением ожидаемое, способное изменить наше мировосприятие, до сих пор не состоялось: мы не смогли обнаружить космических братьев по разуму. Более 50 лет ведутся эти поиски, но результат пока отрицательный. С каждым годом человечество всё сильнее ощущает своё одиночество во Вселенной и задаёт себе всё более серьёзные вопросы: часто ли рождается во Вселенной жизнь? Всегда ли развитие жизни приводит к появлению разума? Обязательно ли разумная жизнь стремится к развитию техники? Способна ли долго существовать технически развитая цивилизация? Насколько безопасен для нас поиск братьев по разуму?

Эти и многие другие важные вопросы останутся без ответа до тех пор, пока мы не установим контакт с иными разумными существами, пока не обменяемся с ними знаниями о Вселенной, жизни, разуме и обществе.

Первые попытки вступить в контакт с внеземным разумом предпринял в 1960 г. американский радиоастроном Фрэнк Дрейк и его коллеги по «Проекту ОЗМА». Они направили радиотелескоп диаметром 26 м на звезды Тау Кита (τ Cet) и Эпсилон Эридана (ε Eri), ожидая, что у этих близких к нам и очень похожих на Солнце звёзд могут быть планеты, подобные Земле, населённые технически развитыми существами. Если бы эти существа имели такую же аппаратуру, как у Дрейка, то с ними можно было бы поддерживать радиосвязь. Однако никаких сообщений из космоса принять ни тогда, ни позже не удалось.

За «Проектом ОЗМА» последовали другие, гораздо более масштабные проекты. Радиоастрономы США, СССР, Англии, Австралии и других стран направляли свои чувствительные антенны на сотни близких и далёких звёзд, звёздных скоплений и даже иных галактик. Сначала эта работа получила название CETI (Communication with ExtraTerrestrial Intelligents — «Связь с внеземными цивилизациями»). Позже стали использовать более осторожное название — SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligents — «Поиск внеземных ци-

вилизаций»). Имелось в виду, что прежде чем налаживать радиосвязь с братьями по разуму, необходимо найти хотя бы какие-то следы их деятельности в космосе. Но главная проблема была, разумеется, не в названии работы, а в том, как её осуществлять. Каждый раз, приступая к эксперименту, учёный должен решить, на какой объект направить антенну, на какую волну настроить приёмник и как отличить разумный сигнал от космического шума.

Первую проблему обычно решали просто: направляли антенны на ближайшие звёзды, похожие на Солнце, в надежде, что рядом с ними есть планеты, похожие на Землю. (Любопытно, что в 2000 г. у звезды ε Eri действительно была открыта планетная система.) Вторая проблема оказалась сложнее. Когда мы «ловим» радиостанцию, то, изменяя настройку приёмника, «бродим» по всему диапазону волн. При этом мощная станция слышна сразу, но, чтобы найти слабый передатчик, нужно медленно переходить с волны на волну, внимательно прислушиваясь к шороху помех; на это уходит много времени. Ожидаемый из космоса сигнал настолько слаб, что, просто меняя настройку приёмника, его не найдёшь за разумное время. Поэтому у астрономических радиоприёмников вообще нет «ручки настройки». Каждый такой приёмник постоянно настроен на одну волну.

В 1960–1970-е гг. учёные пытались угадать, на какой волне можно ожидать передачу из космоса. Очень популярной была идея искать сигнал на волне длиной 21 см, поскольку именно на ней излучает межзвёздный водород, заполняющий всю Галактику. Ясно, что эту волну должен знать каждый радиоастроном на любой планете и иметь соответствующий приёмник. В принципе это хорошая идея: уже более полувека радиоастрономы Земли прослушивают нашу и соседние галактики на волне 21 см, изучая распределение и движение водорода в их теле. Однако стратегия поиска только путём «подслушивания» теперь выглядит наивной. Представьте: тысячи радиоастрономов по всей Галактике сидят у своих приёмников и ждут сигналов, а передачу ведёт... только межзвёздный водород.

Поэтому, когда появилась техническая возможность, радиоастрономы изменили стратегию поиска. Во-первых, начали не только принимать, но и передавать сигналы в космос: первая радиограмма была отправлена 16 ноября 1974 г. из обсерватории Аресибо в направлении шарового звёздного скопления Мессье 13. В нём около миллиона звёзд, подобных Солнцу, поэтому вполне вероятно, что наше сообщение будет кем-то принято, но не скоро — сигнал доберётся туда лишь через 25 тыс. лет.

Второе важное новшество связано с техникой радиоприёма. Вместо аппаратуры, у которой требовалось «крутить ручку настройки», теперь создают специальные радиоприёмники, фиксирующие сигнал сразу по нескольким каналам. В быту мы тоже пользуемся подобными приёмниками с фиксированной настройкой. Но наш приёмник может запомнить от 30 до 100 станций и при этом в каждый момент принимает лишь одну из них. А специальные многоканальные приёмники радиотелескопов во время экспериментов по SETI одновременно прослушивают десятки миллионов, а иногда даже миллиарды (!) каналов, перекрывая практически весь диапазон космического эфира.

Правда, до сих пор остаётся нерешённой проблема, в направлении каких звёзд (или не звёзд?) следует наводить радиоантенну. Наилучшее решение — прослушать все уголки Галактики, но для этого требуется немалое время. В 1992 г. американское космическое агентство NASA приступило к самой грандиозной программе поиска внеземных цивилизаций, рассчитанной на 10 лет. Этот проект назвали СЕРЕНДИП (SERENDIP, Search for Extraterrestrial Radio Emission from Nearby Developed Intelligent Populations, что значит «поиск внеземного радиоизлучения от соседних развитых цивилизаций»). По мере его проведения крупнейшие радиотелескопы мира прослушивают всё небо в надежде обнаружить что-то необычное.

Любопытно, что само слово «Серендип» пришло к нам из старинной персидской сказки, в которой повествуется о трёх знатных юношах с острова Серендип (так в старину называли остров Цейлон), которые как-то раз отправились на поиски неведомой красавицы. Юноши долго путешествовали по всему свету и попадали в невероятные приключения. Странствуя, они обнаружили столько удивительного и неожиданного, что даже забыли, зачем отправились в путь. В наши дни эта сказка стала популярной, и её читатели даже изобрели новое английское слово «серендипити» (serendipity), обозначающее счастливую способность человека легко совершать неожиданные открытия.

Давая новому проекту имя СЕРЕНДИП, учёные имели в виду, что оснащение крупных радиотелескопов новой умной аппаратурой если даже и не приведёт к обнаружению разумных сигналов, всё равно позволит открыть интересные космические явления. Так оно в действительности и происходит. А разумный сигнал из космоса может прийти в любой момент.

ВНЕОСЕВОЕ ГИДИРОВАНИЕ — метод гидирования, используемый для получения изображений очень слабых или протяжённых диффузных объектов, например галактик и межзвёздных туманностей низкой поверхностной яркости при отсутствии у них контрастных деталей. Этот метод применяется в тех случаях, когда основной телескоп не оснащён отдельным телескопом-гидом с подходящими характеристиками. Внеосевое гидирование выполняется с помощью внеосевого гида — устройства, помещённого между телескопом и камерой и имеющего небольшое зеркало или прямоугольную призму, вводимую в пучок лучей. С их помощью небольшая часть поля зрения телескопа переносится в окуляр с перекрестьем нитей, установленный под углом 90° к оптической оси. При наблюдениях вначале наводят телескоп таким образом, чтобы изучаемый объект находился в центре поля зрения камеры, затем внеосевой гид перемещается по полю зрения до обнаружения звезды, достаточно яркой для гидирования.

ВНЕОСЕВОЙ ТЕЛЕСКОП — телескоп-рефлектор, в котором входной пучок свободен от экранирования вторичным зеркалом. Впервые схему внеосевого телескопа независимо реализовали М. В. Ломоносов и В. Гершель. Отдельным видом внеосевых систем телескопов, называемых брахитами, являются системы, «выкроенные» из телескопов системы Кассегрена или Грегори, то есть представляющие собой сочетание внеосевых сегментов асферических зеркал; оптические оси главного и вторичного зеркал в брахитах по-прежнему совпадают. В отличие от брахитов, во внеосевом телескопе Куттера сфероидальное главное зеркало наклоняется таким образом, что вторичное зеркало смещается за пределы параллельного пучка, падающего на главное зеркало. В телескопе Куттера кома и астигматизм, вводимые в изображение вследствие наклона главного зеркала, частично компенсируются наклоном вторичного выпуклого сферического зеркала. Дальнейшее снижение влияния аберраций достигается за счёт увеличения относительного фокуса системы (~20 и более). Во внеосевом телескопе системы Йоло для уменьшения или полной компенсации аберраций вогнутые главное и вторичное зеркала деформируются путём приложения регулируемых нагрузок. Предложено много различных вариантов внеосевых систем телескопов; в некоторых из них применяются оптические поверхности, не являющиеся поверхностями вращения второго порядка.

ВНЕШНЯЯ ИОНОСФЕРА ЗЕМЛИ — область ионосферы, находящаяся выше области основного максимума концентрации электронов.

ВНУТРЕННЯЯ ТОЧКА ЛАГРАНЖА — в двойной звёздной системе точка, лежащая между двумя звёздами на прямой, соединяющей их центры, и являющаяся точкой соприкосновения двух частей предельной поверхности (полости) Роша.

Через внутреннюю точку Лагранжа вещество, заполняющее полость Роша одной из звёзд, может перетекать в полость Роша второй звезды.

ВОДОЛЕЙ — зодиакальное созвездие, расположенное между Козерогом и Рыбами. У древних шумеров Водолей был одним из священных созвездий, поскольку олицетворял бога неба Ана, дающего земле живительную воду. Согласно грекам, Водолей изображает сразу несколько мифических персонажей: Ганимеда — троянского юношу, ставшего виночерпием на Олимпе, Девкалиона, героя всемирного потопа, и Кекропа — древнего царя Афин. Римляне Арат и Птолемей называли его «водолеем» и представляли как юношу, льющего воду из кувшина в рот Южной Рыбе. Известный астеризм в Водолее — Кувшин, маленькая Y-образная группа из четырёх звёзд, лежащая точно на небесном экваторе. Центральная из этих звёзд, ζ Aqr, — очаровательная двойная. Интересны также шаровое скопление M2, планетарные туманности Сатурн (NGC 7009) и Улитка (NGC 7293). В Водолее лежит радиант метеорного потока Дельта Акварииды, активного в конце июля.

ВОЗДУШНАЯ МАССА — толща (т. е. поверхностная плотность) воздуха земной атмосферы на луче зрения наблюдателя. Иными словами, это масса воздуха, сквозь которую проходит луч света, идущий от звезды к телескопу сквозь атмосферу Земли. Атмосферная экстинкция (т. е. поглощение и рассеяние света) пропорциональна воздушной массе. Астрономам важно знать её для учёта поглощения света при его прохождении сквозь атмосферу.

При наблюдении объекта в зените воздушная масса минимальна. На не слишком больших зенитных расстояниях ($z<60°$) она изменяется как $\sec z \approx 1/\cos z$. Кроме этого, воздушная масса уменьшается приблизительно на 12% с увеличением высоты наблюдателя над уровнем моря на каждую 1000 м.

ВОЗДУШНЫЙ ТЕЛЕСКОП — конструкция телескопа-рефрактора, изредка использовавшаяся в середине XVII в. Для снижения отрицательного влияния аберраций однолинзового объектива его изготавливали чрезвычайно длиннофокусным, до 50–60 м, что и привело к появлению «воздушных» телескопов, не имевших жёсткой трубы. Объектив имел диаметр около 10 см и располагался отдельно на высокой мачте, а его высота регулировалась с помощью верёвки. Наблюдатель держал в руках окуляр и конец другой верёвки, соединённой с оправой объектива. Удерживая эту верёвку в натянутом состоянии, наблюдатель наводил объектив на светило и обеспечивал совпадение осей объектива и окуляра. Воздушный телескоп имел малую светосилу и использовался в основном для изучения Луны и планет.

ВОЗМУЩЕНИЕ — малое отклонение от нормального состояния, вызванное внешними причинами. В небесной механике это постороннее влияние, вынуждающее небесное тело отклоняться от его кеплеровской орбиты. Например, планета под действием только лишь притяжения к Солнцу двигалась бы вокруг него по эллиптической орбите, соответствующей законам Кеплера, однако притяжение со стороны других планет искажает простую эллиптическую форму орбиты. Обычно эти искажения невелики, поскольку притяжение к Солнцу гораздо сильнее возмущающего действия планет. Поэтому для вычислений удобно считать, что исходная планета всё же движется по эллипсу, параметры которого (большая полуось, эксцентриситет и др.) постепенно изменяются.

ВОЗНИЧИЙ — северное созвездие; звёздный пятиугольник, лежащий к северу от Близнецов. Это созвездие было выделено более 2500 лет назад. Возничим, имя которого носит созвездие, считается бог моря Посейдон. Значит, это одно из созвездий, связанных эпосом об Андромеде. Ярчайшую звезду в нём (α Aur) шумеры, а вслед за ними греки и арабы называли «звездой козы», а римляне назвали «маленькой козочкой», Капеллой. Для наблюдателей Северного полушария, живущих выше широты 44°, она является незаходящей околополярной звездой, т. е. видна каждую ясную ночь. Это спектрально-двойная звезда с периодом 104 сут, её светимость в 150 раз выше солнечной. На фоне Млечного Пути вблизи Капеллы плоским треугольником выделяются три звезды — η, ζ и ε Возничего; их также называют «козочками». Ближе всех к Капелле расположена звезда ε Aur — наиболее загадочная из трёх «козочек». Каждые 27,08 лет её видимый блеск ослабевает за шесть месяцев с $3{,}0^m$ до $3{,}9^m$; в таком состоянии она находится примерно год, а затем в течение 6 месяцев восстанавливает свой блеск до исходного уровня. Пока не ясно, что затмевает эту звезду. Менкалинан (β Aur) также является затменной переменной с периодом 3,96 сут; правда, заметить ослабление её блеска в момент затмения сможет лишь опытный глаз, поскольку яркость звезды ослабевает всего на 10%. При наличии хорошего бинокля в этом созвездии можно увидеть три изумительных рассеянных скопления — M36, M37 и M38.

ВОЗРАСТ ЛУНЫ — количество суток, прошедших с момента последнего новолуния.

ВОЗРАСТ НЕБЕСНОГО ТЕЛА — время, прошедшее с момента формирования этого тела. Возраст Земли и метеоритов, а отсюда косвенно и других тел Солнечной системы наиболее надёжно оценивается методами ядерной космохронологии, например по количеству изотопов свинца ^{206}Pb и ^{207}Pb, образовавшихся в исследуемых породах в результате радиоактивного распада изотопов урана ^{238}U и ^{235}U. С момента прекращения контакта исследуемого образца породы с возможными источниками ^{238}U и ^{235}U (например, после выделения породы из расплава в случае её вулканического происхождения или механической изоляции в случае метеоритов, которые могут быть осколками более крупных космических тел) образование изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb идёт за счёт имеющихся в образце изотопов урана. Поскольку скорость радиоактивного распада постоянна, количество накопившихся изотопов свинца характеризует время, прошедшее с момента изоляции образца до момента исследования.

Практически возраст породы определяется по отношению содержания изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb к содержанию природного изотопа ^{204}Pb, не порождённого радиоактивностью. Этот метод даёт для возраста древнейших пород земной коры оценку до 4,5 млрд лет. Анализ содержания изотопов свинца в железных метеоритах даёт обычно оценки до 4,6 млрд лет. Возраст каменных метеоритов, определяемый по радиоактивному превращению в них изотопа калия ^{40}K в изотоп аргона ^{40}Ar, колеблется от 0,5 до 5 млрд лет. Это указывает на то, что часть метеоритов возникла сравнительно недавно.

Анализ пород, доставленных с Луны на Землю, показал, что количество содержащихся в них инертных газов — продуктов радиоактивного распада — отвечает возрасту пород от 2 до 4,5 млрд лет. Таким образом, возраст лунных пород и древнейших пород земной коры примерно одинаков. Планеты Солнечной системы, по современным представлениям, возникли из вещества в конденсированной фазе (пылинок или метеоритов). Следовательно, планеты моложе некоторых метеоритов. В связи с этим возраст Солнечной системы оценивается обычно в 4,6 млрд лет.

Возраст отдельных звёзд и Солнца оценивают на основе теории строения и эволюции звёзд. Согласно этой теории, звёзды светят за счёт гравитационной энергии и ядерной энергии, выделяемых соответственно при сжатии звёзд и в термоядерных реакциях, протекающих в их центральной области (на разных стадиях эволюции преобладающую роль играет то один, то другой из этих источников энергии). Изменение типа термоядерной реакции знаменует переход к новой стадии эволюции (*см. Эволюция звёзд*). Длительность каждой стадии эволюции тем меньше, чем более массивна звезда, и с учётом зависимости между массой и све-

тимостью для звёзд главной последовательности длительность приближённо выражается следующими формулами.

Длительность стадии формирования звезды (первоначального сжатия от протозвезды до звезды главной последовательности):

$$t_c \approx 30\ M/L \text{ (миллионов лет)} \qquad (1)$$

Масса M и светимость L звезды в данной фазе эволюции выражаются в единицах массы и светимости Солнца — $M_\odot$ и $L_\odot$. Звёзды малых масс, находящиеся на этой стадии, могут иметь весьма большой абсолютный возраст. Так, древнейшие карликовые звёзды массой менее 0,1 $M_\odot$ (переменные типа UV Кита, $L \approx 5 \cdot 10^{-5} L_\odot$) ещё не завершили этой стадии. Формула (1) оценивает их максимальный возраст.

Длительность стадии горения водорода (пребывания звезды на главной последовательности) — самая продолжительная стадия в жизни звезды, когда источником её энергии служат термоядерные реакции водородного цикла:

$$t_H \approx 10\ M/L \text{ (миллиардов лет)} \qquad (2)$$

Сумма $t_c + t_H$ даёт максимальную оценку возраста звезды, пребывающей на главной последовательности.

Длительность стадии горения гелия (стадии красных гигантов) t_{He} составляет примерно $0{,}1 t_H$. Суммой $t_c + t_H + t_{He}$ оценивается максимальный возраст красного гиганта и сверхгиганта. Последующие стадии эволюции, связанные с «выгоранием» в звёздах углерода и кремния, скоротечны и характерны для массивных звёзд-сверхгигантов (они заканчивают свою эволюцию взрывом (см. *Сверхновые*). При этом могут образоваться нейтронные звёзды и чёрные дыры (см. *Гравитационный коллапс*). Звёзды с массами $M \lesssim 1{,}2\ M_\odot$ в процессе эволюции становятся, по-видимому, белыми карликами. Оценок длительности существования звёзд на этих стадиях нет.

Таким образом, возможно установить пределы возраста звезды данной массы, находящейся в той или иной стадии эволюции, но находится ли она в начале этой стадии или уже почти прошла её, выяснить значительно сложнее. Прямую оценку возраста звезды можно было бы получить, сравнив процентное содержание водорода и гелия в её ядре (находится расчётом внутреннего строения звезды) и оболочке (находится по спектру звезды). При условии неперемешивания внешних и внутренних слоёв по изменению состава звезды в центре, обусловленному термоядерными процессами, можно было бы определить её возраст. К сожалению, соотношение гелия и водорода в звёздах оценивается очень грубо, и то лишь у звёзд спектральных классов О и В, в спектрах которых наблюдаются сильные линии гелия. Для Солнца эта оценка очень приблизительна — 5 млрд лет со времени начала стадии горения водорода. Это согласуется с оценками возраста Солнечной системы, но не исключено также, что Солнце старше её на 1–2 млрд лет. Если возраст Солнца 5 млрд лет, то, согласно формуле (2), оно будет находиться на главной последовательности ещё около 5 млрд лет. Пройдёт ли оно затем стадию красного гиганта или же сразу станет белым карликом, пока неясно, хотя первое вероятнее. В старейших из известных звёздных скоплений звёзды с массой Солнца или несколько меньшей ещё занимают главную последовательность, и их дальнейшая эволюция пока с достаточной полнотой неизвестна. Судя по химическому составу, Солнце не является ровесником Галактики — оно моложе, хотя и относится к старейшим звёздам галактического диска.

Возраст звёздных скоплений и ассоциаций, в которых звёзды возникли почти одновременно, оценивается намного надёжнее, чем возраст отдельных звёзд. Наиболее массивные звёзды рассеянных скоплений быстро продвигаются в своей эволюции, уходят с главной последовательности и становятся красными гигантами или (наиболее массивные) — сверхгигантами. На диаграмме Герцшпрунга—Рассела такого скопления легко отличить те звёзды, которые заканчивают своё пребывание на главной последовательности и готовятся уйти с неё. Формула (2) даёт оценку возраста этих звёзд и, следовательно, всего скопления. У самых молодых рассеянных скоплений возраст оценивается в 1 млн лет. самые старые имеют возраст 4,5–8 млрд лет (при различных предположениях о количестве водорода, превратившегося в гелий).

Возраст шаровых звёздных скоплений оценивается аналогичным путём, хотя диаграммы Герцшпрунга—Рассела для них имеют свои отличия. Оболочки звёзд в этих скоплениях содержат значительно меньше химических элементов тяжелее гелия, так как скопления состоят из древнейших звёзд Галактики (в их состав почти не вошли тяжёлые элементы, синтезированные в других звёздах: все имеющиеся там тяжёлые элементы синтезированы в них самих). Оценки возраста шаровых скоплений — от 9 до 15 млрд лет (с погрешностью 2–3 млрд лет).

Возраст Галактики оценивается в соответствии с теорией её эволюции. Первичное газовое облако (протогалактика) за первый миллиард лет распалось, очевидно, на отдельные сгустки, положившие начало шаровым скоплениям и звёздам сферической подсистемы Галактики. В ходе эволюции взрывавшиеся звёзды первого поколения выбрасывали в пространство газ с примесью тяжёлых химических элементов. Газ концентрировался к галактической плоскости, и из него образовывались звёзды следующего поколения, составляющие более сжатую к плоскости систему (население). Обычно выделяют несколько населений, характеризующихся различием свойств входящих в них звёзд, содержанием в их атмосферах тяжёлых элементов (т. е. всех элементов, кроме H и He), формой занимаемого в Галактике объёма и разным возрастом.

Состав и возраст некоторых типов населения Галактики

Население Галактики	Содержание тяжёлых хим. элементов, %	Предельный возраст, млрд лет
Шаровые скопления, звёзды-субкарлики, короткопериодические цефеиды	0,1–0,5	12–15
Долгопериодические переменные, звёзды с большими скоростями	1	10–12
Звёзды главной последовательности солнечного типа, красные гиганты, планетарные туманности, новые звёзды	2	5–7
Звёзды спектрального класса А	3–4	0,1–5
Звёзды классов О и В, сверхгиганты	3–4	0,1

Возраст Галактики может быть оценён также по времени, необходимому для образования наблюдаемого в ней количества тяжёлых элементов. Их синтез прекратился, очевидно, в нашем районе Галактики с образованием Солнечной системы (т. е. 4,6 млрд лет назад). Если синтез произошёл внезапно, за сравнительно короткое время, то для образования современного соотношения изотопов тяжёлых элементов он должен был произойти за 4–6 млрд лет до возникновения Солнечной системы, т. е. 9–11 млрд лет назад. Относительная кратковременность периода интенсивного синтеза подтверждается как анализом относительного состава указанных элементов, так и астрономическими данными — звёздообразование в Галактике было особенно интенсивным в начальный период. Таким образом, возраст Галактики, определяемый по синтезу элементов, составляет от 9 до 11 млрд лет.

Возраст доступной для наблюдений части Вселенной (Метагалактики) оценивается по закону расширения Метагалактики. Согласно закону Хаббла, галактики удаляются друг от друга со скоростью около 72 км/с на Мпк. Если эта скорость мало изменилась с начала расширения, то величина, обратная скорости, даёт оценку возраста Метагалактики: 1/72 км$^{-1}$ с Мпк $\approx$ 13,6 млрд лет. Однако предполагают, что расширение Мета-

галактики сначала замедлялось со временем, а затем ускорялось. Поэтому определение точного возраста Вселенной в сильной степени зависит от точности измерения величин замедления и ускорения, т. е. от предполагаемой модели эволюции.

ВОКУЛЁР, Жерар Анри, де (de Vaucouleurs, Gérard Henri) (25.04.1918, Париж, Франция, – 7.10.1995, Остин, шт. Техас, США) – американский астроном французского происхождения. Исследовал Марс, разработал новую классификацию галактик, открыл вращение галактики Большое Магелланово Облако, описал Местное сверхскопление галактик. Автор книг «Физика планеты Марс» (1951, рус. пер. 1956), «Астрономическая фотография» (1961, рус. пер. 1975) и др.



Жерар де Вокулёр

ВОЛК – южное созвездие, лежит к югу от Весов. Эту мифическую фигуру шумеры называли «чудовище смерти», а греки просто – «зверь». Созвездие большей своей частью лежит в Млечном Пути, поэтому содержит много ярких звёзд. На широте Москвы оно никогда полностью не восходит над горизонтом, а потому практически недоступно для наблюдения.

Одной из первых отождествлённых исторических вспышек сверхновых была Сверхновая Волка 1006 г.

ВОЛНОВАЯ ПЛАСТИНКА – оптическое устройство, применяемое в поляризаторах для превращения излучения с круговой или эллиптической поляризацией в линейно поляризованное излучение и наоборот (четвертьволновая пластинка) либо для вращения направления линейно поляризованного излучения (полуволновая пластинка).

ВОЛНОВОД – передающая линия для высокочастотных радиоволн, представляющая собой металлическую трубку прямоугольного сечения.

ВОЛНОВОЕ ЧИСЛО – величина, обратная длине волны λ и численно равная количеству длин волн на единицу длины в направлении распространения волны. Чаще, однако, определяется как $2\pi/\lambda$.

ВОЛНОВОЙ ФРОНТ – поверхность, перпендикулярная направлению распространения электромагнитного излучения и проходящая через точки, в которых волна имеет одинаковые фазы. У пучка параллельных лучей волновой фронт плоский. У сходящихся лучей волновой фронт сферический с центром в точке схождения, т. е. в фокусе. Качество телескопов нередко оценивают по степени отклонения волнового фронта, сформированного оптической системой, от идеальной сферы. Подобные оценки для рефлекторов соответствуют удвоенному значению отклонения формы поверхности зеркала (системы зеркал) от идеальной. Для достижения рэлеевского предела разрешения отклонение волнового фронта от идеального не должно превышать $\lambda/4$.

ВОЛНОВОЙ ШУМ – шум (хаотический сигнал), вызванный флуктуациями потока, обусловленными квантовой природой электромагнитного излучения.

ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ – звуковые или какие-либо иные материальные волны, при прохождении через вещество вызывающие его периодическое сжатие и расширение. Так называемую теорию волн плотности впервые разработал шведский астроном Бертиль Линдблад (Bertil Lindblad, 1895–1965) около 1925 г. для объяснения спиральных рукавов галактик. Согласно этой теории, спиральные рукава – это области с избыточной плотностью (т. е. волны плотности), которые обращаются вокруг центра галактик обычно медленнее, чем звёзды и газ галактического диска. Когда газовые облака с большой скоростью «ударяются» о волну плотности, газ сжимается, и в нём начинается формирование звёзд. Некоторые из новорождённых звёзд – самые горячие и яркие – нагревают и освещают окружающий газ, поэтому рукава выглядят наиболее светлыми областями диска.

В более поздних работах американского астрофизика Лина с коллегами была сделана попытка объяснить крупномасштабную структуру спиралей малоамплитудными волнами, распространяющимися с постоянной угловой скоростью. При прохождении волны сжатия начинается формирование звёзд на краю спирального рукава. Считается, что волна плотности обязана своим появлением резонансу в гравитационном взаимодействии звёзд, движущихся по своим орбитам в диске галактики. В гораздо меньших масштабах спиральные волны плотности могут играть важную роль в ранней эволюции планетных систем.

ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА – тончайшие стеклянные волокна, обычно объединённые в гибкие жгуты и способные передавать оптический сигнал посредством многократного внутреннего отражения света в пределах каждого волокна. Оптоволоконные линии используются, например, для связи между компьютерами. Такие линии могут быть как пассивными, так и активными, усиливающими проходящий сигнал на основе лазерного принципа. В астрономии волоконная оптика используется для сопряжения телескопов и спектроскопов, в частности в многообъектной спектроскопии, перенося изображения множества объектов из фокальной плоскости телескопа на вход спектроскопа.

ВОЛОКНО (солнечное) – протуберанец, наблюдаемый в проекции на солнечный диск.

ВОЛОПАС – крупное и красивое экваториальное созвездие. Древние считали Волопас одним из важнейших созвездий; шумеры называли его созвездием преданного небесного пастуха, а греки – погонщиком волов и стражем медведя. В Северном полушарии его можно наблюдать всё лето. Его ярчайшая звезда Арктур («страж медведя») и несколько звёзд побледнее образуют фигуру в виде вытянутого ромба, напоминающую гигантского воздушного змея. Арктур легко найти, продолжив «хвост» Большой Медведицы на 30° к югу. Это ярчайшая звезда к северу от небесного экватора, имеющая визуальную звёздную величину $-0{,}06^m$, расстояние 37 св. лет и светимость в 110 раз выше солнечной. Арктур относится к довольно редкому типу звёзд – красным гигантам, т. е. сильно постаревшим звёздам, в молодости похожим на наше Солнце. На солидный возраст Арктура указывает и его движение: он быстро перемещается относительно Солнца, следовательно, принадлежит к сферическому гало Галактики. В то время как Солнце и многие другие звёзды движутся по почти круговым орбитам, лежащим в плоскости Галактики, Арктур обращается вокруг галактического центра по сильно наклонённой орбите, пересекая в нашу эпоху галактическую плоскость.

Особый интерес вызывает звезда τ Boo, весьма близкая (52 св. года) и похожая на Солнце. В 1990-е гг. рядом с ней была обнаружена планета – одна из первых, найденных за пределами Солнечной системы. При массе почти в 4 раза больше, чем у Юпитера, эта планета обращается вокруг звезды в 8,4 раза ближе, чем Меркурий вокруг Солнца. Её год (т. е. орбитальный оборот) длится всего 3,3 зем-

ных суток! Можно сказать, что эта гигантская планета живёт в короне своей звезды. Такие планеты астрономы называют «горячими юпитерами». Зарождение жизни на них маловероятно.

ВОЛОСЫ ВЕРОНИКИ – небольшое и весьма тусклое экваториальное созвездие, расположенное между Гончими Псами и Девой. Эратосфен называл его «волосами Ариадны», а Птолемей вообще относил эти звёзды к созвездию Льва. Но рождение созвездия имеет точную датировку: оно названо в честь Вероники – жены египетского фараона Птолемея III Эвергета (III в. до н. э.), которая, согласно преданию, отрезала свои прекрасные волосы и поместила их в храме Венеры в благодарность богине за военную победу, дарованную её мужу богами. А когда волосы из храма пропали, жрец-астроном Конон заявил Веренике, что Зевс взял их на небо. Лишь в 1602 г. созвездие было «официально» включено в каталог Тихо Браге. В безлунную ночь, вдали от городских огней в этом созвездии можно заметить невооружённым глазом рассеянное скопление Волосы Вероники, около 42 звёзд которого, удалённые от нас на 250 св. лет, составляют тонкий кружевной узор. Это скопление знал и поместил в свой каталог Птолемей. Небольшой телескоп позволит увидеть в этом созвездии близкие шаровые звёздные скопления M53 и NGC 5053, а также галактику Подбитый Глаз (M64) с огромным тёмным пылевым облаком вокруг ядра. Любопытно, что в границах этого скромного созвездия лежит северный галактический полюс, а значит, глядя в этом направлении, перпендикулярно полупрозрачному диску нашей Галактики, мы имеем шанс увидеть самые далёкие уголки Вселенной. Весьма удачно, что у южной границы созвездия начинается крупное скопление галактик Coma–Virgo, не очень далёкое от нашей Местной группы галактик (42 млн св. лет) и потому имеющее большой угловой диаметр (около 16°). Это скопление содержит более 3000 галактик, среди которых несколько спиральных: сильно наклонённая к лучу зрения M98, наблюдаемая почти плашмя M99, крупные спирали M88 и M100. Обычно это скопление называют Virgo, поскольку центральная его часть лежит в соседнем созвездии Девы, а также потому, что в Волосах Вероники наблюдается и другое, гораздо более далёкое (400 млн св. лет) и богатое скопление галактик, за которым закрепилось название Coma.

ВОЛЬФ, Макс (Wolf, Max), полное имя – Максимилиан Франц Йозеф Корнелиус Вольф (21.06.1863, Гейдельберг, Германия, – 3.10.1932, Гейдельберг) – немецкий астроном. Образование получил в Гейдельбергском и Страсбургском университетах, затем три года занимался небесной механикой в Стокгольме под руководством Й. А. Х. Гюльдена (1841–1896). Вольф рано заинтересовался астрономией. В 21 год он открыл комету, носящую теперь его имя (периодическая комета 14P/Вольф). В середине 1880-х гг. создал собственную небольшую обсерваторию, которая в 1897 г. вошла в состав Гейдельбергской обсерватории, а Вольф возглавил астрофизический отдел в ней. В 1890 г. назначен приват-доцентом Гейдельбергского университета. В 1893 г. стал профессором новой кафедры астрофизики в Гейдельберге, а 9 лет спустя был избран главой астрономического отделения. С 1909 г. до конца жизни он – директор Гейдельбергской обсерватории.

В 1891 г. приспособил фотокамеру на телескопе с часовым механизмом для поиска астероидов. Все предыдущие открытия делались с помощью систематических визуальных наблюдений. Вольф первым применил фотографию для поиска астероидов и открыл первый фотографический астероид (323 Брусия). По методу Вольфа фотографирование производилось в течение нескольких часов, при этом телескоп точно следовал за звёздами в их суточном движении. Поэтому звёзды получались на фотографиях в виде точек, а быстро движущиеся астероиды – в виде коротких линий. Этим методом сам Вольф открыл 228 малых планет. В 1906 г. он открыл астероид Ахилл, первый из семейства троянцев.

Применение фотографии для поиска астероидов дало замечательный результат: если в 1900 г. было известно всего около 450 астероидов, то с использованием метода Вольфа к 1938 г. уже более 1500.

С 1889 г. Вольф систематически фотографировал звёздное небо, впервые применив широкоугольные объективы для получения снимков больших участков, в частности Млечного Пути. Совместно с австрийским астрономом Иоганном Пализой (1848–1925) издал фотографические карты различных областей неба на 220 листах (1908–1922). Эти снимки, как и фотографии Млечного Пути, полученные Э. Барнардом в Ликской и Йеркской обсерваториях (США), служили на протяжении многих лет ценным материалом для исследования туманностей. По этим снимкам Вольф открыл много новых туманностей, более слабых и малых, чем объекты, включённые в «Новый общий каталог» Дж. Дрейера в 1888 г. Разработал способ определения расстояний до тёмных облаков межзвёздного вещества по видимым величинам звёзд фона, получивший название метода «кривых Вольфа».

Систематическое фотографирование неба позволило Вольфу изучать также переменные звёзды. Он первым использовал стереокомпаратор (прибор для визуального сравнения двух фотопластинок), чтобы обнаруживать на небе переменные и движущиеся объекты. Открыл несколько сотен переменных звёзд. В 1905 г. применил фотографический способ для обнаружения звёзд, обладающих заметным собственным движением (сравнивая две фотографии, относящиеся к разным эпохам), и разработал метод измерения этих движений. Открыл более 1000 звёзд с большим собственным движением. С 1923 г. – иностранный член-корреспондент АН СССР.

ВОЛЬФ, Рудольф (Wolf, (Johann) Rudolf) (7.07.1816, Фёлланден, близ Цюриха, Швейцария, – 6.12.1893, Цюрих) – швейцарский астроном. Учился в университетах Цюриха, Вены и Берлина. В 1838 г. посетил Брюссель, Бонн, Париж. Познакомился с К. Ф. Гауссом, Ф. В. А. Аргеландером и Д. Ф. Араго. С 1839 г. преподавал математику и физику в реальном училище в Берне, где в 1844 г. стал профессором астрономии. С 1847 г. – директор Бернской обсерватории и доцент астрономии и математики Бернского университета, с 1855 г. профессор астрономии в университете Цюриха и в Федеральном технологическом институте в Цюрихе; с 1864 г. также директор Цюрихской обсерватории.

Известен своими наблюдениями Солнца. В течение полустолетия изо дня в день, из года в год он занимался статистикой солнечных пятен. В 1849 г. разработал применяемый до сих пор метод оценки активности Солнца по наблюдаемому количеству солнечных пятен (n) и объединяющих их групп (N): активность Солнца при этом выражается одним «числом Вольфа» $W = k(n + 10N)$, где k – коэффициент, характеризующий в основном размер телескопа и условия видимости. Как выяснилось, число Вольфа приблизительно пропорционально общей площади, занимаемой солнечными пятнами; оно характеризует не только пятнообразовательную активность Солнца, но и другие проявления его активности. В 1852 г. Вольф подтвердил открытую Г. С. Швабе периодичность числа солнечных пятен и, используя ранние наблюдения, уточнил средний период цикла солнечной активности в 11,1 года. Он обнаружил связь между солнечной активностью и колебаниями магнитного поля Земли (по измерениям И. Ламонта). С 1845 г. начал печатать заметки по истории математики и физики в Швейцарии. Его монография по истории астрономии, а также справочник, охватывающий период от зарождения астрономии до начала 1890-х гг., принесли ему большую известность. С 1885 г. член-корреспондент Парижской АН.

ВОРОН – маленькое экваториальное созвездие в виде неправильного четырёхугольника к югу от Девы. Древние шумеры называли его «великий буревестник», а вавилоняне отождествляли с птицей-

богом Анзуд, похитившей таблицы судеб у верховного божества Энлиля. Звезда Альгораб (δ Crv) — очень красивая двойная звезда, легко различимая в бинокль. Среди далёких объектов безусловно интересна пара сталкивающихся галактик NGC4038 и 4039, известная как «Антенны»: в противоположные стороны от их ядер расходятся два длинных загнутых «хвоста», образовавшихся под действием гравитационного приливного эффекта.

ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ, Борис Александрович (14.02.1904, Екатеринослав, ныне Днепропетровск, Украина, — 27.01.1994, Москва, Россия) — советский астроном. В 1925 г. окончил Московский университет. Будучи студентом, организовал в 1921 г. коллектив наблюдателей «Колнаб», в который входили известные впоследствии астрономы: П. П. Паренаго, Э. П. Мустель, В. В. Федынский, С. К. Всехсвятский и др. С 1924 г. работал в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга (до 1931 г. — Астрофизический институт), где в 1940-е гг. организовал и десятки лет возглавлял «Отдел новых звёзд и газовых туманностей». Профессор МГУ с 1934 г. Наряду с научной работой более 30 лет (с 1931 г.) проводил большую педагогическую работу по подготовке кадров учителей астрономии. С 1947 г. член-корреспондент Академии педагогических наук СССР.

Научные работы посвящены различным вопросам астрофизики. Исследовал нестационарные звёзды, туманности, галактики, кометы. В 1930 г. впервые изучил распределение газов в голове кометы, доказал вращение ядра кометы. В 1933 г. предложил метод определения расстояний до планетарных туманностей, метод определения температур их ядер, разработал классификацию видимых форм планетарных туманностей, составил несколько каталогов этих туманностей. Результатами своих измерений блеска звёздных скоплений подтвердил существование поглощения в межзвёздной среде. Начиная с 1958 г. открыл 1200 систем галактик, демонстрирующих искажения формы, перемычки и хвосты; назвал их «взаимодействующими». Опубликовал два атласа, содержащих фотографии нескольких сот взаимодействующих галактик (1959, 1977). Вместе с сотрудниками составил и опубликовал в 1961–1974 гг. детальное описание морфологии 32 тыс. галактик. Автор монографий «Галактические туманности» (1935), «Новые звёзды и газовые туманности» (1948), «Внегалактическая астрономия» (1972, 1977), трудов «Очерки истории астрономии в России» (1956), «Очерки истории астрономии в СССР» (1960) и др. Автор многих учебников и учебных пособий, в частности учебника для средней школы «Астрономия», переиздававшегося многократно. Заслуженный деятель науки РСФСР. Премия им. Ф. А. Бредихина АН СССР (1962), медаль «За открытие новых астрономических объектов» № 1 Астрономического совета АН СССР. Был весьма разносторонним человеком, путешественником (открыл и описал в 1927–1928 гг. новый ледник на Кавказе, ныне носящий его имя), литератором (сочинял стихи). Исследовал корни своего рода на протяжении тысячи лет, выявив родственные связи с А. С. Пушкиным и Дмитрием Донским.



Б. А. Воронцов-Вельяминов

ВОСТОК (как точка горизонта) — точка пересечения восточной части математического горизонта с небесным экватором. Расположена справа от наблюдателя, стоящего лицом к северу, посередине между точками севера и юга. Обозначается как В (рус. восток), О (нем. *Ost*) или Е (англ. *East*).

ВОСХОД — астрономическое явление, которое состоит в пересечении светилом математического горизонта, когда оно переходит из невидимой части небесной сферы в видимую, т. е. появляется из-за линии горизонта. Моменты восхода и захода Солнца и Луны публикуют в астрономических ежегодниках, имея в виду математический горизонт и учитывая эффект атмосферной рефракции у горизонта, увеличивающей видимую высоту светила на 35′ (иногда составители ежегодника принимают 34′). При этом указывают момент восхода (или захода) верхнего края диска Солнца (или Луны), отстоящего от центра светила в среднем на 16′.

ВОСХОДЯЩИЕ И ЗАХОДЯЩИЕ ЗВЁЗДЫ — см. *Кульминация*.

ВРАЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ — вращение поля зрения при ведении телескопа за небесным объектом, свойственное некоторым типам монтировок и оптическим системам телескопов. Поле зрения вращается у телескопов на альтазимутальной монтировке, а также в фокусе кудэ у телескопов на экваториальной монтировке. Исправление этого недостатка достигается с помощью компенсатора вращения.

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ (суточное) — вращение Земли вокруг своей оси с запада на восток, т. е. против часовой стрелки, если смотреть с Северного полюса мира. Вращение Земли вызывает смену дня и ночи, определяет длительность суток. Происходит неравномерно: под влиянием главным образом лунных и солнечных приливов (приливного трения) длительность суток непрерывно возрастает на 1–2 мс в столетие, а из-за сезонных изменений (выпадения осадков и т. п.), тектонических процессов и других в течение года колеблется пределах 1–2 мс. Положение оси вращения Земли, а следовательно, и земных географических полюсов меняется из-за прецессии и нутации.

ВРАЩЕНИЕ ЗВЁЗД — круговое движение вещества звёзд вокруг их осей, проходящих через центр массы. Скорости вращения измеряются по эффекту Доплера и для обычных звёзд составляют на экваторе от нескольких километров в секунду до нескольких сотен километров в секунду.

Вращение Солнца открыл Г. Галилей в 1610–1611 гг. по движению солнечных пятен. Вращение других звёзд было обнаружено в 1909 г. при исследовании спектров затменных двойных звёзд. Скорость вращения звёзд изменяется в ходе их эволюции и на стадии главной последовательности сильно зависит от спектрального класса звезды, следовательно, от её массы. Типичная скорость вращения на экваторе у звёзд типов О–В–А–F составляет 100–200 км/с, а звёзд типов G–K–M составляет 1–4 км/с. Резкое уменьшение типичной скорости наблюдается между подклассами F0 и G0.

Вращение звёзд влияет на ход их эволюции и на наблюдаемые параметры. Под действием центробежных сил, возникающих при вращении, изменяется форма звезды (появляется небольшая сплюснутость), при этом температура поверхности звезды у полюсов оказывается немного выше, чем у экватора. Поэтому видимая звёздная величина звезды в определённой мере зависит от наклона её оси вращения к лучу зрения. Кроме того, центробежные силы частично уравновешивают силы тяготения, и в центральной области звезды, где происходит генерация энергии за счёт термоядерных реакций, уменьшаются давление и температура, а следовательно, и скорость выделения энергии. Отсюда вытекает, что вращающиеся звёзды должны обладать меньшей полной светимостью и эффек-

тивной температурой и медленнее эволюционировать. На стадиях эволюции, сопровождающихся значительным сжатием звезды, вращение звёзд может быть существенным фактором — например, если скорость вращения звёзд превысит первую космическую скорость, то силы притяжения не смогут удержать вещество, и оно должно оттекать от звезды, сама же звезда в этом случае тормозится.

Сравнение скоростей вращения звёзд одного спектрального класса, но разных возрастов демонстрирует, что чем старше звезда, тем медленнее она вращается. Наблюдения показывают, что скорость вращения звёзд сложным образом изменяется в ходе их эволюции. Так, звёзды спектрального класса G перед выходом на главную последовательность обладают скоростями вращения до 100 км/с. Затем, на ранних стадиях эволюции вдоль главной последовательности, их вращение замедляется. Особый интерес представляет эволюция вращения формирующихся звёзд (протозвёзд), так как, по-видимому, именно вращение определяет, во что превратится звезда — в одиночную, двойную или звезду с планетной системой.

Остатки звёздной эволюции — их ядра — при сильном сжатии ускоряют своё вращение. Особенно ярко это проявляется у нейтронных звёзд: скорости их вращения могут превышать 100 тыс. км/с. Радиопульсары (в большинстве своём это одиночные нейтронные звёзды) замедляют своё вращение, используя его энергию для излучения, а рентгеновские пульсары (они входят в состав двойных систем), наоборот, ускоряют вращение за счёт аккреции внешнего вещества.

ВРАЩЕНИЕ СОЛНЦА — движение фотосферы Солнца вокруг оси, проходящей через центр солнечного шара. Солнце принадлежит к медленно вращающимся звёздам: средняя скорость его вращения около 2 км/с. Вращение происходит в том же направлении, что и вращение Земли (с запада на восток), ось вращения образует угол 82° 45′ с плоскостью орбиты Земли (эклиптикой). Один оборот относительно Земли совершается за 27,275 сут (синодический период вращения), относительно неподвижных звёзд — за 25,38 сут (сидерический период обращения).

ВРАЩЕНИЕ СОЛНЦА В СИСТЕМЕ КЭРРИНГТОНА — система гелиографических долгот (т. е. географических долгот на условной поверхности Солнца), разработанная английским астрономом Ричардом Кэррингтоном (1826–1875). Считается, что нулевой меридиан кэррингтоновской системы прошёл через восходящий узел экватора Солнца в 12 час 00 мин UT 1 января 1854 г. Поскольку период вращения фотосферы Солнца зависит от гелиографической широты (возрастает от экватора к полюсам), в кэррингтоновской системе используется сидерический период вращения Солнца на широтах ±20°, который равен 25,38 сут (Carrington rotation). Количество оборотов Солнца выражается «числом Кэррингтона», которое возрастает на единицу после каждого синодического оборота Солнца, составляющего в среднем 27,2753 сут. Например, оборот № 1958 в системе Кэррингтона начался в 14 час 40 мин UT 1 января 2000 г.

ВРЕМЕНА ГОДА (весна, лето, осень, зима) — деление года на периоды в соответствии с видимым движением Солнца по небесной сфере (по эклиптике) и сезонными изменениями в природе. Смена времён года обусловлена движением Земли по орбите вокруг Солнца и наклоном её оси вращения к плоскости орбиты (под углом 66 °33′). Наклон оси и постоянство её направления в пространстве приводят к тому, что приблизительно полгода Солнце сильнее освещает Северное полушарие, а вторые полгода — Южное. Поэтому средняя температура каждого из полушарий периодически меняется, что и служит причиной смены времён года. Астрономическое начало времён года в Северном полушарии совпадает с моментами прохождения Солнца через точку весеннего равноденствия (20 или 21 марта, начало астрономической весны), точку летнего солнцестояния (21 и 22 июня, начало лета), точку осеннего равноденствия (23 сентября, начало осени) и точку зимнего солнцестояния (21 и 22 декабря, начало зимы). Длительность астрономических времён года: весны — 92,8 сут, лета — 93,6, осени — 89,8, зимы — 89,0. Но это формальное деление года на сезоны далеко не всегда соответствует реальной длительности времён года в разных климатических зонах.

ВРЕМЯ (методы измерения). Для измерения времени необходима эталонная единица времени и устройства, позволяющие с известной степенью точности воспроизводить эту единицу и осуществлять счёт единиц времени. Для получения эталонной единицы времени использовались следующие периодические процессы: вращение Земли вокруг своей оси; обращение Земли вокруг Солнца; излучение (поглощение) электромагнитных волн атомами или молекулами некоторых веществ при определённых внешних условиях.

Поскольку жизнедеятельность людей теснейшим образом связана со сменой дня и ночи, т. е. с вращением Земли вокруг своей оси, этот процесс и использовался для измерения времени на протяжении многих тысячелетий. Промежуток времени, в течение которого Земля делает один оборот вокруг оси относительно какого-нибудь ориентира на небе, называют сутками. Продолжительность суток различна в зависимости от того, какой ориентир используется в качестве точки отсчёта. Для этих целей служат: точка весеннего равноденствия; центр видимого диска Солнца; среднее Солнце — фиктивная точка, равномерно движущаяся по экватору со средней за год скоростью движения истинного Солнца по эклиптике. Определяемые таким образом три разных промежутка времени называют соответственно звёздными, истинными и средними солнечными сутками. Поскольку вращение Земли вокруг оси проявляется в видимом суточном движении небесной сферы, в астрономии сутки определяются как промежуток времени между двумя последовательными одноимёнными кульминациями (прохождениями через меридиан данного места) соответствующей точки на небе.

Эталоном времени, которым впервые научилось пользоваться человечество, стали истинные солнечные сутки. Для измерения долей истинных солнечных суток использовали солнечные часы, простейшим вариантом которых служит вертикальный шест и нанесённые на земле деления. Тень от шеста, отражая движение Солнца по небу, перемещается от деления к делению, показывая время.

Соперником солнечных часов были водяные часы — клепсидра, в которых уровень воды, перетекавшей по капле из одного сосуда в другой, показывал, сколько часов прошло с момента пуска клепсидры. Водяные и солнечные часы были известны в Древнем Египте, Китае, Греции, Месопотамии задолго до нашей эры.

Первые механические колёсные часы, снабжённые спусковым устройством, появились в Европе в XIII в. Они имели только часовую стрелку, в движение приводились гирей, а регулятором хода был воздушный тормоз — крыльчатка. Идея маятниковых часов с маятником в качестве регулятора хода была предложена и реализована голландским физиком Х. Гюйгенсом в 1656 г. Во второй половине XVI в. у механических часов появилась минутная стрелка, а в 1760 г. — секундная.

Усовершенствование часов — хранителей времени, создание астрономических маятниковых часов привело к тому, что истинные солнечные сутки больше не могли использоваться для контроля за ходом часов. Дело в том, что истинные солнечные сутки неодинаковы в течение года в силу двух причин: 1) истинное Солнце, в соответствии с обращением Земли по эллиптической орбите, движется по эклиптике неравномерно; 2) наклон эклиптики к экватору приводит к тому, что проекции одинаковых отрезков эклиптики на экватор не равны между собой, следовательно, часовой угол Солнца (отсчитываемый по экватору) изменяется неравномерно. Поэтому для измерения времени

стали использовать средние солнечные сутки, а поскольку среднее солнце представляет собой фиктивную точку, его положение на небе вычислялось теоретически, на основании многолетних наблюдений истинного Солнца. Местное среднее солнечное время на меридиане Гринвича (Великобритания) было названо Всемирным временем и обозначено UT (от англ. *Universal Time*). Разность между средним и истинным солнечным временем называют уравнением времени. Четыре раза в году уравнение времени бывает равно нулю, а его максимальное и минимальное значения равны примерно ±15 мин.

Недостатком солнечного времени является трудность его определения из астрономических наблюдений. Солнце имеет большой видимый диск, что затрудняет отсчёт положения его центра. Оно сильно нагревает телескоп, вызывая его деформацию и тем самым уменьшая точность наблюдений. Поэтому астрономические наблюдения в специальных службах времени производят ночью по звёздам.

Местное звёздное время на данном меридиане (т. е. время, прошедшее от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия) определяется по наблюдениям звёзд: оно равно прямому восхождению каждой звезды в момент её верхней кульминации (т. е. в момент, когда звезда пересекает меридиан южнее северного полюса мира). Таким образом, наблюдаются звёзды, а не сама фиктивная, невидимая точка весеннего равноденствия. Службы времени регистрируют моменты прохождения ряда звёзд через меридиан и по ним находят поправки своих часов. Использовать звёздное время непосредственно в повседневной жизни неудобно, так как вследствие годового движения Земли по орбите звёздные сутки короче среднесолнечных примерно на 3 мин 56 с. Звёздное время и среднесолнечное время быстро расходятся. Часы служб времени, как правило, идут по среднесолнечному времени, при вычислении их поправок производится пересчёт от звёздного времени к среднему солнечному.

Таким образом, из астрономических наблюдений определяется местное время для данного меридиана. По местному звёздному времени вычисляется местное среднее солнечное время, а по нему – с учётом долготы места наблюдений от Гринвича – Всемирное время, получаемое на данной обсерватории. Это время обозначают как UT0.

Движение полюсов Земли смещает земные меридианы, на которых ведутся наблюдения, и приводит к тому, что шкала UT0, получаемая в различных точках Земли, оказывается неодинаковой. Поэтому для получения более однородной шкалы времени, называемой UT1, в наблюдения отдельных служб времени вводятся поправки $\Delta\lambda$ за движение полюса, так что $UT1 = UT0 + \Delta\lambda$. Однако и шкалу UT1 нельзя считать достаточно точной: её искажают все виды неравномерности вращения Земли вокруг своей оси.

Неравномерности вращения Земли подразделяют на три вида.

1. Вековое замедление скорости вращения Земли, изменяющее продолжительность суток примерно на 0,002 с за столетие. Эта величина настолько мала, что обычно не принимается во внимание.

2. Сезонная (обусловленная в основном сезонной циркуляцией атмосферы) неравномерность вращения Земли, изменяющая продолжительность суток от их среднего за год значения на величину немного меньшую ±0,001 с. Учёт сезонной неравномерности даёт новую шкалу времени $UT2 = UT1 + \Delta T_{сезон}$.

3. Нерегулярные изменения скорости (являющиеся результатом действия различных факторов, в частности, по-видимому, нестационарных процессов внутри Земли), из-за которых продолжительность суток изменяется на величину $\sim 10^{-3}$ с на интервале от нескольких лет до нескольких месяцев. Эти изменения не могут быть прогнозированы заранее и почти целиком входят в UT2.

Учёт флуктуации в скорости вращения Земли проводится путём сравнения теоретически вычисленных (эфемеридных) координат небесных тел с их координатами, полученными из наблюдений. Найденные поправки ΔT_e дают возможность ввести шкалу эфемеридного времени $TE = UT2 + \Delta T_e$, которая является наиболее равномерной астрономической шкалой времени, получаемой из наблюдений. Время, отсчитываемое по этой шкале, называют эфемеридным. Его не следует путать с равномерным эфемеридным временем – математическим понятием, употребляемым в формулах небесной механики. Точность определения эфемеридного времени по отдельным наблюдениям из-за случайных ошибок меньше, чем точность определения UT2. Поэтому поправку ΔT_e вычисляют как среднюю по большому ряду наблюдений (обычно за год или за полгода). Таким образом, точные значения TE могут быть получены лишь задним числом. Экстраполяция TE вперёд не может быть эффективной.

Если до открытия неравномерности вращения Земли основная единица времени – секунда – определялась как $^1/_{86400}$ доля средних солнечных суток, то с введением эфемеридного времени в качестве его единицы была принята эфемеридная секунда. В 1956 г. Международное бюро мер и весов дало следующее определение секунды: «Секунда есть $^1/_{31556925,9747}$ доля тропического года для 1900 г. январь 0, в 12 часов эфемеридного времени».

Изобретение атомных стандартов частоты позволило получить новую шкалу времени, независимую от вращения Земли и имеющую значительно бóльшую точность. В качестве единицы атомного времени принята атомная секунда, определяемая как «время, равное 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133». Это определение принято в 1967 г. на XIII Генеральной конференции по мерам и весам. Атомная секунда служит одной из семи основных единиц Международной системы единиц (СИ). На практике Международная шкала атомного времени (TAI) реализуется путём усреднения показаний нескольких десятков атомных (цезиевых) часов служб времени различных стран. Показания всех часов анализируются и усредняются в Международном бюро времени в Париже.

Относительная погрешность современных промышленных атомных часов колеблется от $1 \cdot 10^{-14}$ до $1 \cdot 10^{-15}$, что позволяет отдельным службам времени сохранять шкалу TAI с погрешностью ~0,1 мкс за год. А в некоторых специальных конструкция атомных часов относительная погрешность составляет всего 10^{-17}.

Несколько отличная от TAI шкала используется при подаче сигналов точного времени. Эта шкала получила название Всемирного координированного времени (UTC). В основу UTC положена атомная секунда, а его отличие от TAI состоит в том, что когда разность между UT1 и UTC достигает 0,9 с, часы, с которых передаются сигналы времени в системе UTC, переводятся вперёд или назад на 1 с в зависимости от знака разности UT1 – UTC. Таким образом, отклонение системы UTC от астрономической шкалы времени не может превышать 0,9 с. Коррекции часов производятся в последнюю секунду суток, обычно 31 декабря или 30 июня по рекомендации Международного бюро времени. Шкала UTC, удовлетворяющая этим условиям, была введена с 1 января 1972 г.

Шкалу UTC надо считать некоторым компромиссом между атомным и астрономическим временем: она обладает высокой точностью и отражает вращение Земли. Для тех, кому знание астрономического времени необходимо оперативно и с точностью большей, чем ~1 с, в сигналы точного времени, передаваемые в Международной системе UTC, специальным кодом вносится информация о разности UT1 – UTC. Значения этой разности с точностью до 0,1 с можно получить, подсчитывая специально раздвоенные секундные сигналы времени. В системе сигналов России разность UT1 – UTC даётся с точностью до 0,02 с. С ещё большей точностью, до 0,0001 с, приводятся разности астрономической и атомных шкал времени в бюллетенях Междуна-

родного бюро времени. В них содержится также информация о вращении Земли, о подачах сигналов и эталонных частот, о точности хранения и передачи времени.

Особую группу составляют системы счёта времени, устанавливаемые на территориях отдельных государств или группы государств на основании правительственных декретов или международных соглашений. К этим системам относятся поясное, декретное и летнее время.

С 1884 г. во многих странах введено поясное время. Вся поверхность Земли разделена на 24 часовых пояса с границами по меридианам, отстоящим друг от друга по долготе на 15°. Во всех пунктах пояса часы показывают одно и то же время — местное время среднего меридиана пояса. При переходе в соседний пояс часовые стрелки переводятся на час вперёд или назад в зависимости от направления перехода. Такая система счёта устраняет неудобства местного времени, которое различно для всех точек земной поверхности, не лежащих на одном меридиане. В нашей стране поясное время было введено с 1 июля 1919 г.

В целях экономии электроэнергии в летние месяцы в некоторых странах весной стрелки часов переводятся на час вперёд. Это время получило название летнего времени. Осенью часы снова ставят по поясному времени. Летнее время неоднократно вводилось в СССР. Но с 16 июня 1930 г. декретом Советского правительства стрелки всех часов в стране были переведены вперёд и так оставлены. Это время, на час больше поясного, получило название декретного.

ВРЕМЯ, ВСЕМИРНОЕ — система счёта времени, основанная на периоде вращения Земли, равном в точности 24 часам. Всемирное время (UT — Universal Time) равно среднему солнечному времени на гринвичском меридиане. Всемирное время заменило собой в 1928 г. гринвичское среднее время (GMT — Greenwich Mean Time) во избежание путаницы с началом отсчёта суток: в GMT они начинались по астрономической традиции в полдень, а в UT сутки начинаются по гражданской традиции в полночь. В настоящее время используется три уровня всемирного времени: UT0, базирующееся непосредственно на наблюдениях; UT1, в которое включены поправки за перемещение полюсов Земли, и UT2, которое включает также поправки за изменение скорости вращения Земли. Фактически в наши дни под именем UT используют Координированное всемирное время (UTC).

ВРЕМЯ, ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОЕ — время события, зафиксированное гипотетическим наблюдателем, находящимся в центре Солнца. Гелиоцентрическое время в основном используется для обеспечения согласованной временной шкалы при наблюдениях переменных звёзд и других переменных объектов путём исключения влияния изменяющегося положения Земли на околосолнечной орбите. Пересчёт земного времени к гелиоцентрическому состоит в учёте времени распространения света, которое составляет не более 500 с (время прохождения светом расстояния от Земли до Солнца). Пересчёт земного времени к гелиоцентрическому состоит во введении поправки за конечность скорости распространения света. Эта поправка (световое уравнение) с точностью до секунды составляет

$$\Delta t = -499(\sin\delta \sin\delta_\odot + \cos\delta \cos\delta_\odot \times \cos(\alpha - \alpha_\odot)) \text{ секунд},$$

где α, δ — экваториальные координаты наблюдаемого объекта, а $\alpha_\odot$, $\delta_\odot$ — экваториальные координаты Солнца на момент наблюдения. Это выражение становится проще в эклиптических координатах:

$$\Delta t = -499 \cos\beta \cos(\lambda - \lambda_\odot) \text{ секунд}.$$

Если требуется более высокая точность, постоянный коэффициент «499 секунд» следует заменить на выражение «r/c», где r — текущее расстояние между Землёй и Солнцем, а c — скорость света.

ВРЕМЯ, ГРАЖДАНСКОЕ — устаревшее понятие, использовавшееся в ту эпоху, когда астрономы отсчитывали время от полудня, а простые граждане — от полуночи. В основе гражданского времени лежали средние солнечные сутки с началом в местную среднюю полночь. От астрономического среднего солнечного времени гражданское время отличалось началом счёта суток: в первом за начало суток принимался местный средний полдень. Гражданское время было равно среднему солнечному времени плюс 12 час. Например, 20 час 15 мин среднего солнечного времени 22 октября соответствовало 8 час 15 мин гражданского времени 23 октября. Современные астрономы также отсчитывают время суток от полуночи. О прошлом нам напоминает традиция, сохранившаяся в англоязычных и многих европейских странах, указывать время «до полудня» (например, 3:15 AM) и «после полудня» (например, 8:45 PM). Эти аббревиатуры, которые до середины XX в. писали как A.M. и P.M., происходят от латинских выражений «ante meridiem» и «post meridiem». Имеется в виду полуденное пересечение Солнцем местного небесного меридиана. В англоязычных странах в быту аббревиатуру AM часто интерпретируют как «after midnight», т. е. «после полуночи».

ВРЕМЯ, ДЕКРЕТНОЕ — основное, официально установленное время в данной местности. Например, зимой в России официальное время на 1 час опережает поясное, а летом (в период введения летнего времени) — на 2 часа. Как правило, декретным называют зимнее декретное время, а летнее декретное время называют просто «летним».

Декретное время вводят для более полного использования дневного света в летние месяцы года. Для этого во многих странах по специальному правительственному указу (декрету) переводят стрелки часов, идущих по поясному времени, на 1 час вперёд. Это делают либо только на летний период, либо на всё время. На летнее время ежегодно переходят страны Европы (за исключением Исландии), США, Канада, всего более 50 стран. Постановлением Совета Народных Комиссаров СССР от 16 июня 1930 г. на территории СССР стрелки часов постоянно переведены на 1 час вперёд против поясного времени — именно это время называют декретным. Кроме того, с 1981 г. на территории СССР стало вводиться летнее время, опережающее поясное ещё на 1 час против декретного. Обычно переход на летнее время происходит в последнее воскресенье марта, а переход на зимнее время — в последнее воскресенье октября.

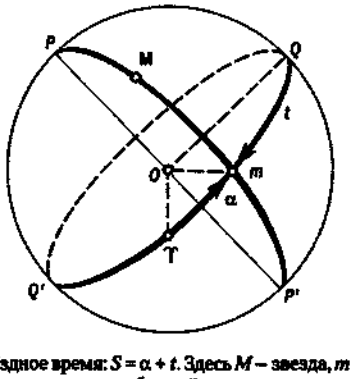
Однако с 1982 по 1986 г. решением правительства СССР декретное время было отменено в 30 областях и автономных республиках России, в республиках Прибалтики. В 1990 г. по решению местных властей его отменили на Украине, в Молдове, Грузии и Азербайджане. Весной 1991 г. правительство СССР было вынуждено отменить декретное время на всей территории страны. Отмену совместили с переходом на летнее время. Поэтому в марте 1991 г., переходя на летнее время, стрелки часов не переводили, и мы перешли на всемирное летнее время. Осенью же был отнят 1 час, и мы перешли на всемирное зимнее (т. е. поясное) время. Однако это принесло значительные экономические потери, и 23 октября 1991 г. Верховный Совет РСФСР принял решение о возврате к старому, «декретному» времени на территории России. Оно было осуществлено 19 января 1992 г.: все часы в России были переведены на 1 час вперёд. Это не было сделано лишь в Астраханской, Волгоградской, Самарской, Саратовской, Кировской областях и Удмуртской республике.

В 2011 г. в России вновь были отменены переходы на летнее/зимнее время, а в качестве постоянно действующего в году московского времени введено время = UTC + 4 часа (т. е. шкала, которая до этого использовалась в России как летнее декретное время второго часового пояса).

ВРЕМЯ, ДИНАМИЧЕСКОЕ (TDB, TDT) — физические шкалы времени, введённые в 1984 г. для замены эфемеридного времени как независимый аргумент в динамических теориях движения небесных тел,

используемых для расчёта эфемерид. Динамическое время реализуется, например, с помощью атомных часов (см. *Время, международное атомное*). Динамическое время, как и эфемеридное, представлено равномерной временной шкалой, учитывающей, однако, взаимосвязь пространства и времени в общей теории относительности. TDB – это барицентрическое динамическое время, т. е. время в центре масс Солнечной системы. TDT – это время, которое показывали бы часы в центре Земли. Время в обеих шкалах отличается друг от друга и от эфемеридного времени всего на несколько миллисекунд. Единицей TDT служит 86 400 секунд СИ на уровне моря. Для практических целей можно считать, что TDT = TAI + 32,184^s.

ВРЕМЯ, ЗВЁЗДНОЕ – часовой угол точки весеннего равноденствия; равен нулю в момент её верхней кульминации. Полный оборот точки весеннего равноденствия, как и любой другой точки небесной сферы (так называемые звёздные сутки, или «24 часа звёздного времени»), происходит за 23 час 56 мин 04 с среднего солнечного времени (см. *Сутки, звёздные*). Для светила с прямым восхождением α справедлива формула $s = t + \alpha$, где s – звёздное время, t – часовой угол светила. Таким образом звёздное время можно измерить по моменту кульминации светила с известным прямым восхождением.



Звёздное время: $S = \alpha + t$. Здесь M – звезда, m – её проекция на небесный экватор, α – прямое восхождение, t – часовой угол, Υ – точка весеннего равноденствия, PQP' – небесный меридиан, $PMmP'$ – круг склонения (часовой круг)

ВРЕМЯ, ИСТИННОЕ СОЛНЕЧНОЕ – часовой угол Солнца; измеряется к западу от небесного меридиана; 15 градусов (15°) соответствуют 1 часу. Момент пересечения Солнцем меридиана называют истинным полднем. Истинное солнечное время показывают простые солнечные часы.

ВРЕМЯ, КООРДИНИРОВАННОЕ ВСЕМИРНОЕ (UTC, Coordinated Universal Time) – время, передаваемое средствами массовой коммуникации – радио, телевидением и др. UTC отличается от TAI (см. *Время, международное атомное*) на целое число секунд и поддерживается в пределах ±0,90 секунды от UT путём введения, когда это требуется, добавочной секунды (leap second) между 60^s и 0^s. Обычно это делается не чаще двух раз в год – в конце июня или декабря. Координированное всемирное время объединяет преимущества равномерной шкалы атомного времени с удобством синхронизации всемирного времени с астрономическими циклами (солнечные сутки, год).

ВРЕМЯ, ЛЕТНЕЕ (англ. *Daylight saving time, DST* или *Summer time*) – система счёта времени суток, вводимая в летние месяцы в некоторых странах в целях экономии электроэнергии, потребляемой для освещения помещений. Для перехода на летнее время весной (обычно в последнее воскресенье марта) стрелки часов по всей стране переводят на час вперёд, а осенью (в последнее воскресенье октября) их снова ставят по поясному времени. Считается, что в странах, расположенных в средних широтах, где в течение года моменты восхода и захода Солнца существенно меняются, введение летнего времени позволяет полнее использовать естественное освещение (поскольку вынуждает людей летом раньше просыпаться и раньше ложиться спать).

В 2012 г. летнее время применяется в странах Западной Европы, в Турции, Иране и некоторых странах Африки и Южной Америки. В США, Канаде, Мексике и Австралии оно также применяется, но не во всех штатах и провинциях.

Летнее время неоднократно вводилось в СССР. Но с 16 июня 1930 г. декретом Советского правительства стрелки всех часов в стране были переведены вперёд и так оставлены. Это время, на час больше поясного, получило название декретного. В 1981 г. в СССР вновь было введено летнее время: с 1 апреля по 1 октября время для пунктов на территории СССР отличалось от поясного на 2 часа. С 1996 г. эти переходы стали осуществляться в последнее воскресенье марта и октября, с 2 до 3 часов ночи с субботы на воскресенье, чтобы не создавать трудностей в рабочее время.

ВРЕМЯ, МЕЖДУНАРОДНОЕ АТОМНОЕ (TAI) – непрерывная шкала времени, выводимая в Международном бюро мер и весов в Париже из анализа атомных стандартов времени многих стран. Основной единицей служит секунда СИ, а эпохой – 1 января 1958 г.

ВРЕМЯ, МЕСТНОЕ – это время, измеренное на данном географическом меридиане, т. е. в пунктах с одинаковой долготой. Для всех мест на одном и том же меридиане часовой угол точки весеннего равноденствия в какой-либо момент один и тот же. Поэтому на всём географическом меридиане местное звёздное время в один и тот же момент одинаково. То же можно сказать и о положении Солнца (местное истинное солнечное время) или среднего солнца (местное среднее солнечное время).

Если разность географических долгот двух мест есть $\Delta\lambda$, то в более восточном месте часовой угол любого светила будет на $\Delta\lambda$ больше, чем часовой угол того же светила в более западном месте. Поэтому разность любых местных времён на двух меридианах в один и тот же физический момент всегда равна разности долгот этих меридианов ($t_1 - t_2 = \Delta\lambda$), выраженной в часовой мере, т. е. в единицах времени, в которых 360° = 24 час.

Непосредственно из астрономических наблюдений получается местное время того меридиана, на котором эти наблюдения произведены. Местное среднее солнечное время нулевого (гринвичского) меридиана называют всемирным, или мировым, временем. Местное среднее время любого пункта на Земле всегда равно всемирному времени в этот момент плюс долгота данного пункта, выраженная в часовой мере и считаемая положительной к востоку от Гринвича.

В астрономических календарях моменты большинства явлений указывают по всемирному времени. Моменты этих явлений по местному времени легко определить по указанной выше формуле. Но следует помнить, что «местное время» (в астрономическом смысле) не совпадает с декретным временем, которое показывают обычные часы. Это нередко приводит к ошибкам, поскольку в быту часто «местным временем» называют декретное время данной местности (зимой – зимнее, а летом – летнее), т. е. то время, которое показывают часы местных официальных учреждений.

ВРЕМЯ, ПОЯСНОЕ – время, установленное по международному соглашению в областях и странах для того, чтобы по всей планете отличие местного времени от всемирного (UTC) составляло целое число часов. Вся поверхность Земли разделена приблизительно вдоль меридианов на 24 часовых пояса. Средние меридианы часовых поясов проходят по долготам 15°, 30°, 45°, ... к западу от Гринвича вдоль точек земной поверхности, в которых среднее солнечное время, соответственно, на 1, 2, 3, ... часа отстает от гринвичского (т. е. всемирного, UTC). Обычно города и прилегающие к ним области живут по времени ближайшего среднего меридиана. Линии, разделяющие зоны с различным официальным временем, называются границами часовых поясов. Обычно они не следуют строго вдоль меридианов, а совпадают с административными границами. К тому же не всегда официальное

время отличается от гринвичского на целое число часов; порой в различии присутствуют и полчаса.

В летние месяцы в некоторых странах для более полного использования светлого времени суток вводится летнее время, опережающее на 1 час поясное время. Кроме этого, в некоторых странах (в прошлом – в СССР, ныне – в России) в соответствии со специальным правительственным указом (декретом) стрелки часов постоянно переведены на час вперёд относительно поясного времени; это время называют декретным, или зимним, поскольку летом, когда вводится летнее время, стрелки переводятся ещё на час вперёд.

Московское время формируется следующим образом. Центр Москвы лежит на восточной долготе 37°42′ т. е. 12′ восточнее формальной западной границы 3-го часового пояса. Однако вместе со всей западной территорией России Москва и прилегающие к ней районы отнесены ко 2-му часовому поясу. Для этого административная граница между 2-м и 3-м поясами на территории России сдвинута от параллели Москвы до Мурома. Кроме этого, в России постоянно действует декретное время, добавляющее к поясному 1 час. Следовательно, зимнее московское время опережает всемирное (гринвичское) время на 3 часа. Кроме того, в летние месяцы добавляется ещё 1 час, поэтому летом московское время опережает всемирное уже на 4 часа.

Перевод стрелок на летнее время осуществляется в 2 часа ночи последнего воскресенья марта, а на зимнее (т. е. возврат к декретному времени) – в 3 часа ночи последнего воскресенья октября. Таким образом, зимой московское время опережает всемирное время на 3 часа, а летом – на 4 часа.

$T_{моск}$ (зимой) = UTC + 3 часа;
обозначение – MSK,

$T_{моск}$ (летом) = UTC + 4 часа;
обозначение – MSD или MSKS.

Замечание: Указом Президента Российской Федерации Д. А. Медведева переход на зимнее время 30 октября 2011 г. был отменён, и в дальнейшем переходы между зимним и летним временем были упразднены. В результате время в России с 30 октября 2011 г. и вплоть до настоящего момента (июль 2012 г.) является поясным декретным летним временем в течение всего года. При этом московское время постоянно опережает всемирное время на 4 часа: $T_{моск}$ = UTC + 4 часа.

Время в США. От восточного побережья к западному на континентальной территории США располагается 4 часовых пояса. Зимнее время считается основным (standard time); в летний период часы переводят на час вперед для экономии электроэнергии (daylight saving time).

Часовые зоны в США относительно всемирного времени (UTC)

Зимнее время		Летнее время	
EST, Eastern standard time	UTC – 5	EDT, Eastern daylight time	UTC – 4
CST, Central standard time	UTC – 6	CDT, Central daylight time	UTC – 5
MST, Mountain standard time	UTC – 7	MDT, Mountain daylight time	UTC – 6
PST, Pacific standard time	UTC – 8	PDT, Pacific daylight time	UTC – 7

Таким образом, время в Нью-Йорке и Вашингтоне (восточное время) летом отстает от московского на 8 часов, а зимой (с 30 октября 2011 г.) – на 9 часов.

ВРЕМЯ, СРЕДНЕЕ ГРИНВИЧСКОЕ (Greenwich Mean Time, GMT) – см. *Время, всемирное.*

ВРЕМЯ, СРЕДНЕЕ СОЛНЕЧНОЕ – время, измеряемое часовым углом некоторой воображаемой точки, называемой «средним солнцем» и движущейся равномерно по небесному экватору с периодом в год, причём положение среднего солнца совпадает с центром истинного Солнца в моменты осеннего и весеннего равноденствий. Среднее солнечное время – это часовой угол среднего солнца, увеличенный на 12 часов. Когда среднее солнце пересекает на юге небесный меридиан, среднее солнечное время равно 12 часам пополудни.

Среднее солнечное время отличается от истинного солнечного времени из-за эллиптичности земной орбиты и её наклона к экватору. Разность между средним солнечным и истинным солнечным временами равна поправке, называемой уравнением времени, не превышающей 16 минут, вычисляемой теоретически и приводимой в астрономических календарях.

ВРЕМЯ, ЭФЕМЕРИДНОЕ (ET) – время, определённое по орбитальному движению небесных тел, в основном Луны. Эфемеридное время имеет равномерную шкалу и используется для вычисления координат планет, комет и астероидов. Оно было введено, чтобы не зависеть от неравномерных и непредсказуемых колебаний вращения Земли – основы исчисления всемирного времени (UT). Разница между UT и ET по определению равнялась нулю в начале XX в., а к концу XX в. составила около 1 минуты. В 1984 г. на смену эфемеридному времени было введено динамическое время.

ВРЕМЯ ЖИЗНИ ВОЗБУЖДЁННОГО АТОМА – средняя продолжительность пребывания атома в возбуждённом состоянии до его самопроизвольного перехода в более низкое (обычно – в основное) состояние. Время жизни является обратной величиной вероятности перехода электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий. Значение времени жизни возбуждённого атома заключено в пределах от 10^{-8} с для обычных переходов электрона до 0,001 с и даже вплоть до 10^7 лет для переходов, приводящих к излучению запрещённых спектральных линий.

ВРЕМЯ КОГЕРЕНТНОСТИ – промежуток времени, в течение которого две или более волн остаются когерентными.

ВРЕМЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА – время, которое нужно свету, чтобы достичь Земли (свет проходит 1 а. е. за 499 секунд). Взаимное перемещение объектов Солнечной системы приводит к тому, что расстояние между ними, а значит, и время распространения света меняется. Это проявляется в различном запаздывании, с которым земной наблюдатель видит положение объектов в разные ночи. В силу небольших расстояний в Солнечной системе эффект различия во времени распространения света приводит к заметным угловым поправкам. На межзвёздных расстояниях этот угловой эффект незначителен. Однако если речь идёт о моменте события, например о моменте затмения в системе короткопериодической двойной звезды, о фазе пульсации переменной звезды или о моментах приёма сигналов пульсара, то расстояние до объекта не имеет значения, и эффект перемещения наблюдателя должен быть учтён. Это делается путём приведения момента наблюдения к барицентру Солнечной системы (фактически используется гелиоцентрическое время).

ВСЕЛЕННАЯ – весь окружающий нас мир. Астрономы и физики обычно подразумевают под этим ту его часть, которая в принципе доступна изучению естественнонаучными методами. Астрономическая Вселенная, или Метагалактика, – это часть Вселенной, доступная наблюдениям в настоящее время или в обозримом будущем. Возраст Вселенной – время, прошедшее от начала её расширения; по современным оценкам, он составляет около 14 млрд лет. Размер видимой части Вселенной зависит от методов и объектов наблюдений, но он не может превышать расстояние, которое излучение, распространяющееся со скоростью света, проходит за время, равное возрасту Вселенной, т. е. около 14 млрд св. лет. Этот предельный размер иногда называют радиусом Вселенной. При этом наблюдаемая часть Вселенной является лишь небольшой частью всей безграничной Вселенной. Наиболее далёкие из наблюдаемых галактик находятся на расстояниях,

превышающих 90% от предельно доступного размера.

ВСЕХСВЯТСКИЙ, Сергей Константинович (20.06.1905, Москва, СССР, – 6.10.1984, Москва, Россия) – советский астроном. В 1925 г. окончил Московский университет, в 1924–1935 гг. работал в Астрофизическом институте (в 1931 г. вошёл в состав вновь созданного Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга), в 1935–1939 г. сотрудник, зам. директора Пулковской обсерватории, в 1939–1981 гг. – профессор, зав. кафедрой астрономии Киевского университета.

Основные работы относятся к физике комет, Солнца и солнечной активности, к проблемам космогонии. Развил некоторые направления механической теории комет, доказал быстрое разрушение периодических комет. В 1932 г. на новой основе развил гипотезу Ж. Л. Лагранжа о выбросах комет с поверхности планет и их спутников. Автор фундаментального труда «Физические характеристики комет» (1958) и серии дополнений к нему (издавались до 1974 г.), содержащего историю всех комет с древнейших времён до 1971 г., их орбиты, сводки наблюдений, первый в мире каталог абсолютных величин комет. В 1960 г. высказал предположение о существовании кольца вокруг Юпитера, которое действительно было обнаружено зондом «Вояджер-1» в 1979 г. По результатам наблюдений солнечной короны во время затмений установил существование протяжённых корональных потоков (впоследствии названных «солнечным ветром»), вызывающих магнитные бури и возмущения в ионосфере Земли. В 1955 г. совместно с учениками разработал динамическую теорию короны Солнца. В ряде работ отстаивал мнение о влиянии планет на развитие солнечной активности. Автор книги «Природа и происхождение комет и метеорного вещества» (1967). Соавтор коллективного труда «Проблемы современной космогонии» (1969). Награждён премией им. Ф. А. Бредихина АН СССР (1977), медалью Астрономического совета АН СССР «За обнаружение новых астрономических объектов» (1979).

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЁЗДЫ – переменные звёзды, яркость которых резко и непериодически возрастает на короткое время, как правило, на несколько минут. Амплитуда вспышки может достигать 7^m, хотя обычно не превосходит 1^m–2^m. Начало вспышки очень резкое: блеск звезды может возрасти вдвое всего за несколько секунд. Спадание блеска происходит медленнее: у слабых вспышек за десятки секунд или минуты, у сильных – за десятки минут или часы. Среднее время между вспышками составляет от часа до суток. По своей природе эти вспышки сходны с солнечными вспышками. Большинство вспыхивающих звёзд – красные карлики спектрального класса М; их массы и светимости значительно меньше солнечных. Часто это молодые звёзды, ещё не достигшие главной последовательности. Прототипом этого класса и наиболее изученной вспыхивающей звездой является UV Кита (UV Cet).

ВСПЫШКИ НА СОЛНЦЕ – неожиданные и кратковременные возрастания яркости небольших участков хромосферы вблизи солнечных пятен или групп пятен, вызванные резким выделением энергии магнитного поля над фотосферой. Вспышки на Солнце представляют собой самое мощное из всех проявлений солнечной активности. За несколько минут в области мощной солнечной вспышки выделяется энергия около 10^{25} Дж, что приблизительно в 100 раз превышает тепловую энергию, которую можно было бы получить при сжигании всех разведанных на Земле запасов нефти и угля. Эта гигантская энергия, выделяющаяся на Солнце за несколько минут, соответствует средней за этот период мощности 10^{22} Вт. В отдельные моменты времени, в частности во время взрывной, или импульсной, фазы развития, мощность может быть ещё в несколько раз больше. Но при этом мощность вспышки не превышает сотых долей процента от мощности полного излучения Солнца $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Поэтому при вспышке не происходит заметного увеличения светимости Солнца. Лишь самые большие вспышки на Солнце можно заметить в белом свете, в континууме. Обычно вспышки наблюдаются как значительное увеличение яркости участков поверхности Солнца в свете хромосферных линий, в частности в линии водорода Hα. Как следствие этого факта, на протяжении многих лет широко использовался термин «хромосферная вспышка», который, однако, не соответствует сущности этого интереснейшего явления в атмосфере Солнца.

Характерная особенность солнечной вспышки состоит в том, что основная часть её энергии выделяется в виде кинетической энергии выбросов вещества, движущихся в короне и межпланетном пространстве со скоростями до 1000 км/с, энергии жёсткого электромагнитного излучения и потоков частиц, ускоренных до гигантских энергий (иногда десятки ГэВ). Радиоизлучение вспышки, в отличие от излучения спокойного Солнца, также свидетельствует о наличии ускоренных частиц и о нетепловом характере главного вспышечного процесса, или, как часто говорят, механизма вспышки.

Излучение солнечной вспышки наблюдается в широком диапазоне – от километровых радиоволн до жёстких гамма-лучей – с помощью наземных, орбитальных и межпланетных станций. Одновременно осуществляется непосредственное детектирование ускоренных во вспышках электронов, протонов, ядер более тяжёлых элементов и выбрасываемой в межпланетное пространство плазмы, а также вторичных ионосферных и геомагнитных эффектов. Многие из них ещё требуют детального научного изучения.

Характерные значения полной энергии E (Дж) и мощности F (Вт), выделяемых в различных каналах для больших и малых солнечных вспышек (по: Б. В. Сомов, 1986)

Излучение	Большие вспышки		Малые вспышки	
	E	F	E	F
УФ и мягкое рентгеновское	$4 \cdot 10^{24}$	$4 \cdot 10^{21}$	$2 \cdot 10^{22}$	$2 \cdot 10^{20}$
Оптически непрерывное	$2 \cdot 10^{24}$	$2 \cdot 10^{21}$	(?)	(?)
В линии Hα	$2 \cdot 10^{23}$	$2 \cdot 10^{20}$	10^{19}	$3 \cdot 10^{16}$
Жёсткое рентгеновское	$4 \cdot 10^{19}$	$4 \cdot 10^{16}$	слабое	слабое
Гамма-	$2 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^{15}$	(?)	(?)
Радио-	$\sim 10^{17}$	$\sim 10^{14}$	10^{15}	10^{13}
Ускоренные частицы				
Электроны (> 20 кэВ)	$4 \cdot 10^{24}$	$4 \cdot 10^{21}$	мало	мало
Протоны (> 20 МэВ)	$2 \cdot 10^{24}$	$2 \cdot 10^{21}$	(?)	(?)
Гидродинамические движения плазмы				
Межпланетные выбросы и ударные волны	$2 \cdot 10^{25}$	–	–	–
Движения над хромосферой	10^{25}	10^{22}	10^{22}	10^{19}

Исследование вспышек на Солнце имеет и прямое практическое значение. Солнечные вспышки оказывают сильное воздействие на ионосферу, вызывая нарушения радиосвязи, работы радионавигационных устройств и т. п. Вспышки существенно влияют на состояние околоземного космического пространства. В связи с пилотируемыми космическими полётами возникла серьёзная задача защиты космонавтов от ионизирующего излучения вспышек и необходимости прогнозирования возможной радиационной опасности. Имеются также свидетельства сильного влияния вспышечной активности на погоду и состояние биосферы Земли.

На протяжении многих десятилетий наблюдения вспышек велись только в видимом диапазоне излучения, главным образом в линии Hα. Накопленный за это время огромный материал позволил установить закономерности развития вспышки в хромосфере и, что особенно важно для понимания механизма вспышки, её тесную связь с магнитными полями на поверхности Солнца. Обычно большая вспышка наблюдается как увеличение яркости хромосферы, которое охватывает большую площадь (иногда до 0,1%

площади видимой полусферы Солнца) в виде двух вспышечных лент, как правило, расположенных в областях магнитных полей противоположной полярности на фотосфере. Уже первые внеатмосферные наблюдения на ракетах и спутниках показали, что солнечная вспышка, если иметь в виду её главный процесс, представляют собой специфически корональное, а не хромосферное явление. Это следует уже из относительно сильного рентгеновского и УФ-излучения вспышки. Её оптическое излучение, скорее всего, возникает как вторичный эффект вдали от сердцевины вспышки, точнее говоря, в основаниях петель, дающих рентгеновское и УФ-излучение.

Петли образуют своеобразные аркады и являются наиболее заметной наблюдаемой частью источника энергии вспышки. Таким образом, Hα-излучение, которое было исторически выбрано в качестве основного признака и положено в основу классификации солнечных вспышек, представляет собой лишь побочное явление.

Наблюдения и теоретические модели показывают, что главный вспышечный процесс обусловлен накоплением и последующим быстрым выделением свободной магнитной энергии в верхней хромосфере и нижней короне. Под свободной здесь понимается магнитная энергия, избыточная по сравнению с энергией потенциального магнитного поля (магнитное поле потенциально вне области, занятой его источниками), имеющего те же источники (солнечные пятна, фоновые магнитные поля) в фотосфере. Иными словами, свободная энергия активной области связана с токами, текущими в атмосфере Солнца над уровнем фотосферы (т. е. это энергия взаимодействия токов с магнитным полем), а процесс вспышки есть процесс быстрого изменения этих токов.

Возникновение избытка магнитной энергии (и порождающих его токов над фотосферой) может возникать различными путями. Возможен, например, такой. Медленные движения источников (токов) под фотосферой непрерывно изменяют потенциальное магнитное поле в атмосфере Солнца. В некоторый момент оно может стать достаточно сложным – в нём может появиться так называемая предельная силовая линия – общая для нескольких независимых магнитных потоков. Через предельную линию происходит перераспределение магнитных потоков, которое необходимо для того, чтобы магнитное поле имело наименьшую энергию, т. е. оставалось потенциальным при изменении его источников на фотосфере. Однако с момента появления такой линии электрическое поле, индуцируемое изменениями магнитного поля, вызывает вдоль неё ток, который из-за взаимодействия с магнитным полем принимает форму токового слоя. В условиях высокой проводимости солнечной плазмы токовый слой препятствует перераспределению магнитных потоков. В результате в верхней хромосфере и короне происходит накопление энергии в виде магнитной энергии токового слоя.

Трём стадиям развития токового слоя (в рамках модели С. И. Сыроватского) можно поставить в соответствие три фазы вспышки: начальную, взрывную и горячую.

Начальная фаза – сравнительно длительная (часы или даже десятки часов) стадия возникновения и формирования (расширения) токового слоя. В этот период преобладает джоулев нагрев плазмы током в слое. В принципе на этой стадии возможно установление квазистационарного режима, когда ширина слоя увеличивается настолько, что скорость диссипации магнитного поля в нём останавливает дальнейший рост магнитной энергии, а джоулев нагрев плазмы в слое оказывается уравновешенным потерями энергии на излучение. Через некоторое время из-за действия неустойчивостей такой баланс энергии нарушается, и начинается существенно нестационарная стадия развития токового слоя.

Взрывная фаза представляет наибольший интерес, поскольку за короткое время (секунды, десятки секунд) при разрыве токового слоя выделяется огромная энергия, запасённая в его магнитном поле. Она выделяется в виде энергии гидродинамических течений (разрыв слоя сопровождается быстрыми движениями плазмы), мощных потоков тепла из области разрыва токового слоя и в виде энергии ускоренных частиц. Причиной разрыва токового слоя, возможно, служит тепловая неустойчивость, приводящая к цепочке кинетических явлений: быстрому нагреву электронов плазмы, возбуждению плазменной неустойчивости и переходу слоя в турбулентное состояние. При этом из-за турбулентности резко увеличивается электрического сопротивление токового слоя, Появление в некоторой части токового слоя области высокого или аномального сопротивления приводит к быстрой диссипации тока и проникновению магнитного поля через токовый слой. Последнее явление сопровождается пересоединением силовых линий магнитного поля, в силу чего оно получило название «магнитное пересоединение». Возникает сильное магнитное поле поперёк токового слоя, которое создаёт магнитную силу, стремящуюся разорвать токовый слой. Под действием этой силы плазма выбрасывается из области слоя с большой скоростью.

Горячая фаза вспышки соответствует стадии существования высокотемпературной корональной области магнитного пересоединения. Здесь главным каналом выделения энергии служит джоулев нагрев плазмы с аномальным сопротивлением. В охлаждении такого высокотемпературного турбулентного токового слоя играют важную роль насыщенные тепловые потоки.

Итак, источник энергии вспышки – токовый слой – расположен на предельной силовой линии магнитного поля в короне. Потоки тепла и ускоренных частиц распространяются вдоль магнитных силовых линий и вызывают нагрев хромосферы по разные стороны от нейтральной линии фотосферного магнитного поля. Так образуются вспышечные «ленты», наблюдаемые в линии Hα и других хромосферных линиях. Сама нейтральная линия фотосферного поля остаётся тёмной, так как потоки энергии к ней не поступают. Это обусловлено тем, что она почти всегда не связана силовыми линиями с токовым слоем.

Наличие нескольких каналов освобождения энергии в токовом слое (теплота, излучение, гидродинамические течения плазмы, ускоренные частицы) определяет большое многообразие физических процессов, вызываемых вспышкой в атмосфере Солнца, например тепловые и ударные волны, радио- и жёсткое рентгеновское излучение ускоренных электронов, ядерные реакции и порождаемое ими гамма-излучение. Разным процессам выделения энергии соответствуют различные характерные времена и мощности, что наряду с другими факторами (пространственная неоднородность токового слоя, неодновременность эволюции различных его частей, конфигурация реального магнитного поля и т. д.) приводит к сложной картине вспышек на Солнце и их богатому разнообразию.

ВСЯ ВСЕЛЕННАЯ – то же, что *Сверхвселенная*.

ВТОРИЧНОЕ ЗЕРКАЛО – дополнительное зеркало в оптической схеме телескопа, обычно имеющее меньшие размеры по сравнению с главным зеркалом. Простейшей функцией вторичного зеркала является перенос фокуса в удобное для наблюдателя положение, как, например, в телескопе Ньютона или в фокусах Несмита и куде. Во всех этих случаях используются плоские вторичные зеркала. Вторичное зеркало может участвовать в построении конечного изображения в телескопе, как, например, в телескопе Кассегрена и подобных системах, где вторичное зеркало не только отражает лучи, собранные главным зеркалом, но и увеличивает относительный фокус и фокусное расстояние системы. В этих случаях применяются неплоские вторичные зеркала.

ВТОРИЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ – космические лучи, образовавшиеся в результате взаимодействия первичных кос-

мических лучей со средой (обычно с земной атмосферой). То есть это энергичные элементарные частицы, образующиеся в земной атмосфере под действием попадающих в неё ещё более энергичных первичных космических лучей, приходящих от Солнца и из глубин космоса. Вторичные космические лучи рождаются в ходе ядерных реакций при соударении первичных космических лучей с ядрами атомов атмосферы.

ВТОРИЧНЫЙ КОМПОНЕНТ – менее яркая из двух звёзд, образующих двойную звёздную систему. См. *Двойная система.*

ВТОРИЧНЫЙ СПЕКТР – остаточная хроматическая аберрация в ахроматическом объективе. По сравнению с одиночной линзой ахроматический объектив существенно уменьшает хроматическую аберрацию, но не устраняет её полностью. Поэтому даже при наблюдениях с ахроматическим объективом вокруг изображений ярких звёзд заметны слабые цветные ореолы.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ – закон физики, согласно которому энтропия замкнутой системы постоянно растёт.

ВУАЛЬ – повышенный фон (шум) фотографической эмульсии. Вуаль состоит из проявленных, но не экспонированных светом кристаллов галоидного серебра, рассеянных по всему объёму фотоэмульсии.

ВЫИГРЫШ ПО СВЕТУ – увеличение блеска точечных источников, наблюдаемых через телескоп, по сравнению с их блеском при наблюдении невооружённым глазом. Исходя из того, что диаметр зрачка адаптированного к темноте глаза составляет около 7 мм, выигрыш по свету (G) можно приближённо оценить как $G = 20\,000 \cdot D^2$, где D – диаметр объектива телескопа в метрах. При этом увеличение должно быть не меньшее равнозрачкового, чтобы весь собранный объективом свет попал в зрачок глаза.

ВЫИГРЫШ ТЕЛЕОБЪЕКТИВА – сокращение габаритов некоторых систем телескопов, например Кассегрена, Шмидта–Кассегрена или Максутова, имеющих существенно меньшую общую длину трубы по сравнению с эффективным фокусным расстоянием. Выигрыш достигается за счёт элемента (обычно вторичного зеркала), уменьшающего сходимость светового пучка от главного зеркала.

ВЫРАВНИВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПО ПОЛЮ – стандартная процедура, применяемая при обработке ПЗС-изображений. Её необходимость вызвана тем, что локальная (между соседними пикселями) и глобальная (между удалёнными участками матрицы) чувствительность ПЗС немного варьируется. Неравномерность чувствительности необходимо учесть для получения истинного распределения поверхностной яркости наблюдаемого объекта. Коррекция выполняется путём получения вспомогательного изображения равномерно освещённого объекта («плоского поля») и деления на него обрабатываемого изображения. «Плоское поле» даёт более яркое изображение в тех областях ПЗС, где чувствительность выше; таким образом, процесс деления пропорционально ослабляет слишком яркие области в обрабатываемом изображении. Вспомогательные изображения «плоского поля» получают путём съёмки равномерно освещённого белого экрана в башне телескопа или участков сумеречного неба.

ВЫРОЖДЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ – звёзды, в которых гравитации противостоит давление вырожденного газа; к ним относятся белые карлики и нейтронные звёзды.

ВЫРОЖДЕННЫЙ ГАЗ – газ из элементарных частиц с полуцелым спином (так называемый ферми-газ, т. е. состоящий из фермионов – электронов, нейтронов, протонов, нейтрино...), имеющий столь низкую температуру или столь высокую концентрацию частиц, что его физические свойства (давление, теплоёмкость и т. п.) в значительной мере определяются квантовомеханическим взаимодействием частиц.

Согласно принципу запрета Паули, частицы с полуцелым спином могут заполнять фазовое пространство (шестимерное пространство координат и импульсов) строго определённым образом: в каждом квантовом состоянии может находиться одновременно не более одной частицы данного сорта, т. е. в одной элементарной «ячейке» фазового пространства могут размещаться не больше двух частиц с противоположно направленными спинами. Если в одной ячейке координатного подпространства скапливается много частиц (т. е. плотность газа высокая), эти частицы «вынуждены» заполнять множество ячеек в подпространстве импульсов: начиная с малых значений импульса и далее – всё выше и выше. Таким образом, в плотном газе все уровни энергии – от нижнего до весьма высокого – оказываются заполненными, поэтому многие частицы имеют большой импульс.

Характерное свойство вырожденного газа – зависимость давления только от плотности и крайне слабая зависимость от температуры. Состояние вырождения газа наступает, когда кинетическая энергия хаотического движения частиц (фактически температура) мала или плотность достаточно велика, так что соседние частицы начинают «чувствовать» друг друга, и на первый план выходит квантовомеханическое взаимодействие частиц. В астрофизике такая ситуация возникает в белых карликах и нейтронных звёздах. В белых карликах вырождены электроны, в нейтронных звёздах – нейтроны. В обычных земных телах также встречается вырождение – так, электроны проводимости в металлах при комнатной температуре вырождены. Этим объясняется, в частности, высокая теплопроводность металлов.

Эффектами тождественности частиц можно пренебречь, пока среднее расстояние между ними $r \sim n^{-1/3}$ намного превышает длину волны де Бройля $\lambda = h/mv$, где m – масса частицы, v – её скорость, h – постоянная Планка, n – концентрация частиц. При $r < \lambda$ газ становится сильно вырожденным. Условие вырождения выполняется при достаточно низких температурах T (для идеального газа $v \sim T^{1/2}$) и высокой концентрации частиц.

Для астрофизики наибольший интерес представляют вырожденные ферми-газы: электронный вырожденный газ и вырожденный газ нейтронов. Число возможных квантовых состояний для фермичастиц с абсолютной величиной импульса (p), лежащей в интервале между p и $p+dp$, в объёме V равно $(2s+1)\,4\pi p^2 dpV/h^3$, где s – спин частицы. У электронов, протонов, нейтронов спин $s = 1/2$, т. е. множитель $(2s+1)$, учитывающий ориентацию спина частиц, равен 2. При очень низких температурах частицы заполняют все состояния, вплоть до состояния с граничным импульсом, зависящим от их концентрации, $p_F = (3/8\pi)^{1/3} hn^{1/3}$. В случае нерелятивистского свободного газа соответствующая граничная энергия (энергия Ферми) $E_F = p_F^2/2m = [(3/8\pi)^{2/3} h^2 n^{2/3}]/2m$. Температуру $T \sim E_F/k \approx 10^{-11} (m_e/m) n^{2/3}$ (К) называют температурой вырождения (m_e – масса электрона, k – постоянная Больцмана). При очень высоких плотностях ($\rho > 10^6$ г/см^3) электронный вырожденный газ становится ультрарелятивистским: $E_F \approx p_F c \gg m_e c^2$.

Давление ($P \sim E_F n$) нерелятивистского вырожденного электронного газа составляет $P_e = 2{,}3 \cdot 10^{-28}\, n^{5/3}$ Н/м^2, а ультрарелятивистского $P_e = 2{,}37 \cdot 10^{-18}\, n^{4/3}$ Н/м^2. Именно градиент давления вырожденного газа электронов уравновешивает силу тяжести в белых карликах. В нейтронных звёздах эту роль играет градиент давления вырожденного газа нейтронов. Вырожденный нерелятивистский газ нейтронов при той же концентрации имеет давление в $m_n/m_e \approx 1839$ раз меньше, чем вырожденный газ электронов. Однако в нейтронных звёздах концентрация нейтронов значительно выше концентрации электронов.

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПОТОК СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА – поток солнечного ветра со

скоростью более 400 км/с на уровне орбиты Земли.

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ОБЛАКА – газовые облака в Галактике, наблюдаемые главным образом на высоких галактических широтах и имеющие большие лучевые скорости. Большинство таких облаков движется к галактической плоскости. Их скорости вдоль луча зрения, определяемые по эффекту Доплера, достигают в отдельных случаях –300 км/с (знак минус означает приближение к наблюдателю). В центральной области Галактики (до высот 2 кпк над галактической плоскостью) обнаружены также облака газа, удаляющиеся от центра Галактики со скоростями, возможно, превосходящими параболическую скорость. Высокоширотные и высокоскоростные облака имеют довольно сложную клочковатую структуру. Типичное количество атомов водорода на луче зрения (в столбе сечением 1 $см^2$) составляет ~10^{20} $см^{-2}$. Температура газа в них, по-видимому, не превосходит нескольких сотен кельвинов.

Такие облака наблюдают как в радиолинии водорода 21 см, так и в оптических линиях водорода (Hα и Hβ), а также в спектральных линиях поглощения ионов CII (УФ-диапазон) при наблюдениях звёзд Магеллановых Облаков на просвет через гало Галактики. Высокоширотные и высокоскоростные облака не представляют единой популяции объектов. Разные образования имеют существенно разную природу. Магеллланов Поток, например, представляющий собой протяжённое облако межгалактического газа, в виде длинной прерывистой дуги пересекающее небо Южного полушария, возник, вероятно, в результате приливного воздействия Галактики на Магеллановы Облака. Внегалактическую природу имеют и некоторые огромные – размером от многих десятков до сотен килопарсеков – облака, наблюдаемые в линии 21 см рядом с более далёкими соседними галактиками. Другие высокоскоростные облака, возможно, являются наиболее внешними частями спиральных рукавов нашей галактики. Они видны на высоких галактических широтах из-за искривления внешних частей диска Галактики. Некоторая часть облаков, возможно, когда-то была выброшена из центра Галактики при происходивших там ~10^7–10^8 лет назад активных процессах. По крайней мере, высокоширотные и высокоскоростные облака в области галактического центра скорее всего связаны именно с его активностью.

ВЫСОТА (светила) – одна из двух координат горизонтальной системы: угловое расстояние небесного объекта над математическим горизонтом наблюдателя.

ВЫТЯНУТОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ – изображение объекта в случае неточного ведения телескопа либо в том случае, когда объект, по которому осуществляется гидирование, заметно смещался на фоне звёзд в течение экспозиции. При неточном ведении изображения звёзд имеют вид коротких отрезков или дуг. Эти вытянутые изображения обычно считаются «браком», за исключением некоторых особых случаев. Например, при гидировании по ядру кометы изображения звёзд вытягиваются вследствие перемещения кометы, но изображение самой кометы получается чётким.

ВЫХОДНОЙ ЗРАЧОК, или диск Рамсдена, – изображение объектива, создаваемое окуляром. Плоскость выходного зрачка расположена на некотором расстоянии позади последней (глазной) линзы окуляра; это расстояние называют выносом выходного зрачка. Для удобства наблюдения вынос выходного зрачка должен быть в пределах 6–10 мм; но если вы носите очки и не снимаете их при наблюдении в телескоп, то вынос выходного зрачка должен быть около 20 мм.

Через выходной зрачок проходят все лучи, собранные телескопом. При визуальных наблюдениях зрачок глаза наблюдателя должен совпадать с выходным зрачком телескопа. Диаметр выходного зрачка равен диаметру объектива телескопа, делённому на увеличение. См. *Равнозрачковое увеличение.*

ВЫЧИТАНИЕ ТЕМНОВОГО КАДРА – вычитание темновой экспозиции (т. е. «пустого» ПЗС-изображения, накопленного при закрытом затворе при тех же параметрах, что и основное изображение) из обрабатываемого ПЗС-изображения для компенсации темнового шума.

ВЯЙСЯЛЯ, Юрьё (Väisälä, Yrjö) (6.09.1891, Контиолахти, Финляндия в составе Российской империи, – 21.07.1971, Рыматтила, Финляндия) – финский астроном и метеоролог. Получив в 1922 г. степень доктора философии, начал в 1925 г. преподавать в Геодезическом институте Университета в Турку и работать астрономом и наблюдателем, проводя магнитную съёмку Земли и разрабатывая длиннобазовую (порядка 100 м) оптическую интерферометрическую систему для геодезических измерений (1927). Позже занялся метеорологией, развивал приборы и методы метеорологических наблюдений. Разработал новый метод радиопеленга (1951). В 1952 г. содействовал основанию астрономической обсерватории Университета Турку и был её директором до конца своих дней. Занимался астрономическим приборостроением, определял положения малых планет и определял их орбиты; разработал новый метод расчёта орбит. Открыл несколько малых планет и комет. В 1954 г. присуждена почётная награда Финской академии науки и литературы.

Г

ГАДЛЕЙ (Хадли), Джон (Hadley, John) (16.04.1682, Блумсбери, Лондон, Англия, – 14.02.1744, Восточный Барнет, Хартфордшир, Англия) – английский астроном. Изобрёл (1730) отражательный секстант, позволяющий даже в качку на море измерять углы с точностью до 1′. Создал большие отражательные телескопы.

ГАЗОВАЯ ПОСТОЯННАЯ, или Универсальная газовая постоянная (R), – одна из основных физических констант, входит в уравнение состояния 1 моля идеального газа: $pv=RT$, где p – давление, v – объём 1 моля газа, T – абсолютная температура. Газовая постоянная численно равна работе расширения 1 моля идеального газа под постоянным давлением при нагревании на 1 К. С другой стороны, разность молярных теплоёмкостей при постоянном давлении и постоянном объёме $c_p - c_V = R$ для всех сильно разреженных газов. R = (8,31441 ± 0,00026) Дж/(моль К) = (8,31441 ± 0,00026)·10^7 эрг/(моль К).

ГАЛ (Gal, Гал) – наименование единицы ускорения в системе единиц СГС, употребляется часто в геофизике. Названа в честь Г. Галилея (G. Galilei). 1 Гал = 1 $см/с^2$, применяют также дольную единицу *миллигал* (1 мГал = 10^{-5} $м/с^2$).

ГАЛАКТИКА (с заглавной буквы) – гигантская звёздная система, в состав которой входит и наша Солнечная система. Нашу звёздную систему, объединяющую окружающие нас звёзды, называют «Галактикой» (с большой буквы), или «нашей галактикой», или «галактикой Млечный Путь»; последнее название (Milky Way) принято в англоязычной научно-популярной литературе.

Всего в Галактике порядка 300 млрд звёзд, большая часть которых образует диск, вращающийся вокруг центра масс Галактики. Это все звёзды, видимые на небе невооружённым глазом или в небольшой телескоп, а также большая масса межзвёздного газа, пыли и тёмной материи неизвестной пока природы. Звёздный диск – наиболее яркая структурная часть Галактики; он виден невооружённым глазом как светлая полоса Млечного Пути (именно поэтому иногда Галактику называют «Млечный Путь»).

В диске Галактики выявлены области повышенной концентрации вещества – спиральные рукава. Поэтому наша Галактика относится к типу спиральных систем средней массы. Весьма вероятно, что в центральной части галактическо-

го диска существует вытянутое уплотнение – бар. Поэтому морфологический тип Галактики обычно определяется как SBc или SBbc.

Динамический центр Галактики – наиболее плотная её часть – находится на расстоянии около 25 тыс. св. лет (8 кпк) от нас в направлении созвездия Стрелец. Солнце обращается вокруг галактического центра со скоростью около 220 км/с по орбите, заключённой в пределах диска Галактики. Период орбитального обращения Солнца (галактический год) – около 220 млн лет. В самом центре Галактики находится плотное звёздное скопление – ядро, в середине которого, по-видимому, расположена чёрная дыра массой около 4 млн масс Солнца.

Диск Галактики окружён обширным гало, содержащим некоторое количество звёзд и шаровых звёздных скоплений, но в основном состоящим из тёмной материи. Размер видимого тела Галактики около 100 тыс. св. лет, или 30 кпк. Но определённую границу Галактики указать трудно. Движение наиболее далёких звёзд, шаровых скоплений и карликовых галактик-спутников указывает, что тёмное гало Галактики тянется не менее чем на 100 кпк от её центра. Масса всех видов вещества Галактики до расстояния в 50 кпк от центра составляет $7 \cdot 10^{11}\ M_\odot$, а до расстояния 100 кпк приблизительно $(10–15) \cdot 10^{11}\ M_\odot$.

ГАЛАКТИКА «МИРНЫЙ АТОМ» (NGC 7252) – пекулярная эллиптическая галактика, расположенная на расстоянии около 300 млн св. лет в созвездии Водолей. Считается, что эта галактика образовалась в результате слияния двух дисковых галактик примерно миллиард лет назад. Название галактики возникло из-за её петлеобразной структуры, образованной звёздными потоками и напоминающей условное изображение орбит электронов, обращающихся вокруг атомного ядра. Исторически оно связано с речью о «мирном атоме» (Atoms for Peace), которую президент США Дуайт Эйзенхауэр произнес в декабре 1953 г., чтобы стимулировать мирное применение ядерной энергии.

В центральной части галактики NGC 7252 находится более 500 звёздных скоплений сверхвысокой светимости. Они выглядят как яркие голубоватые пятна. Их возраст от 50 до 500 млн лет, а типичный диаметр – около 60 св. лет (20 пк). Эти необычные молодые шаровые скопления являются наиболее явным продуктом предполагаемого слияния галактик, вызвавшего массовое столкновение газовых облаков и последовавший за этим взрыв звёздообразования. Обнаружение этих скоплений помогает понять, как формировались шаровые скопления в эллиптических галактиках и как формировались сами гигантские эллиптические галактики.

Шаровые скопления, обнаруженные в NGC 7252, напоминают предков похожих звёздных скоплений, обращающихся вокруг нашей Галактики. Поскольку шаровые скопления содержат старые красные гиганты, они дают нам информацию о формировании и эволюции галактик. Каждое шаровое скопление содержит около миллиона звёзд, плотно упакованных в сферическом объёме. Возраст старых шаровых скоплений составляет примерно 13 млрд лет. Но скопления сверхвысокой светимости, обнаруженные в NGC 7252, имеют возраст менее 0,5 млрд лет.

Идея о том, что спиральные галактики могут сталкиваться и сливаться, образуя эллиптическую галактику, становится всё более популярной. Аргументом против этой идеи служит то обстоятельство, что в эллиптических галактиках шаровых скоплений больше, чем можно было бы ожидать при простом слиянии дисковых галактик, поскольку в них относительно меньше скоплений. Но эта проблема решается, если предположить, что при столкновении дисковых галактик формируются новые шаровые скопления.

Небольшая дискообразная структура в центре NGC 7252 также говорит в пользу того, что гигантские эллиптические галактики получаются в результате слияния спиральных галактик. Диск внутри этого объекта очень похож на спиральную галактику, видимую плашмя, хотя диаметр её составляет всего 10 тыс. св. лет (3 кпк), примерно $^1/_{20}$ диаметра всей галактики. То, что эта структура является остатком столкновения двух галактик, подтверждается ещё и тем, что эта мини-спираль вращается в сторону противоположную вращению всей галактики. В течение нескольких миллиардов лет газ NGC 7252 будет израсходован, и галактика будет выглядеть как нормальная эллиптическая система с небольшим внутренним диском.

ГАЛАКТИКИ – гигантские гравитационно связанные системы из звёзд, планет, остатков звёздной эволюции, газово-пылевой облачной среды, заполняющей пространство между звёздами, а также вещества неизвестной пока природы, проявляющего себя только посредством гравитации («тёмной материи»). Галактики бывают спиральные (с. 14–15 цветной вкладки), как ближайшая к нам крупная галактика в созвездии Андромеда (M31), или пересечённые спиральные, как NGC 5850. Бывают также галактики эллиптической формы (M87), неправильной формы (Большое и Малое Магеллановы Облака) и некоторые другие (см. *Классификация галактик*). Массы галактик лежат в интервале от 10^7 до 10^{12} масс Солнца; размеры – от 1 до 100 килопарсеков. Слово «галактика» происходит от греч. *galaktikós* – млечный, молочный, поскольку так называли в древности Млечный Путь.

ГАЛАКТИКИ «АНТЕННЫ» (NGC 4038 и NGC 4039) – ближайшая к нам и наиболее молодая пара сталкивающихся галактик. «Антенны» расположены на расстоянии около 60 млн св. лет в созвездии Ворон (Corvus). Общий диаметр этой системы галактик составляет около 360 тыс. св. лет, и весь этот объект образовался из-за столкновения галактик, начавшегося примерно 100 млн лет назад и продолжающегося до сих пор. Гравитационное (приливное) влияние каждой из галактик вытягивает из другой галактики искривлённый звёздный хвост. Эти хвосты действительно похожи на использовавшиеся в прошлом телевизионные антенны-усики.

Детальные снимки центральной части «Антенн», полученные космическим телескопом «Хаббл», показывают яркие узлы, образованные более чем тысячью скоплений молодых звёзд. Это молодые шаровые скопления, сформировавшиеся недавно из-за столкновений гигантских водородных облаков двух галактик. На рентгеновских изображениях центральных областей галактик, полученных обсерваторией «Чандра», выявились объекты, лежащие на другом конце эволюционного пути звёзд: это десятки ярких точечных источников, которые, вероятно, являются нейтронными звёздами или чёрными дырами, захватывающими газ соседних звёзд. Эти сколлапсировавшие объекты – остатки массивных, уже мёртвых, звёзд, сформировавшихся ранее во время вспышки звёздообразования, запущенного столкновением.

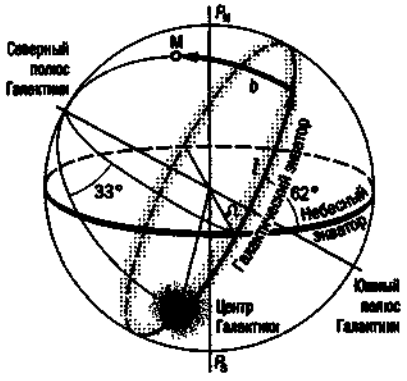
ГАЛАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ – система небесных координат, в которой за основную плоскость взят большой круг небесной сферы, называемый галактическим экватором и проходящий вдоль центральной линии Млечного Пути. Плоскость этого круга обычно называют «плоскостью Галактики». Поскольку Солнце располагается вблизи центральной плоскости галактического звёздного диска (представленного на небе Млечным Путём), плоскость галактического экватора, действительно, близка к экваториальной плоскости Галактики. Галактическая система координат используется в работах по звёздной астрономии и галактической динамике, поскольку в силу высокой симметрии Галактики именно в этой системе координат наиболее просто выглядят математические выражения, описывающие распределение в пространстве и движение звёзд и межзвёздного вещества.

Как в любой сферической системе координат, в галактической системе коор-

динат положение точки на небесной сфере определяется двумя числами (углами) — галактической широтой (b) и галактической долготой (l), которые измеряются в угловых градусах. Подобно географическим координатам, галактическая широта отсчитывается от галактического экватора, со знаком плюс в сторону северного полюса Галактики и со знаком минус — в сторону южного полюса. Галактическая долгота отсчитывается вдоль галактического экватора, от направления на центр Галактики в сторону возрастания прямых восхождений.

В астрономических системах координат традиционно началом отсчёта «долгот» служит точка пересечения базовых плоскостей, которую всегда можно восстановить, наблюдая за движением светил. В экваториальной и эклиптической системах координат это точка весеннего равноденствия, в которой пересекаются небесный экватор и эклиптика. От точки весеннего равноденствия отсчитываются и прямое восхождение (в экваториальной системе она играет роль долготы), и эклиптическая долгота. Этот же принцип первоначально использовали при введении галактической системы координат. Галактический экватор пересекается с небесным экватором под углом около 63°. Точка их пересечения, в которой лежит восходящий узел Млечного Пути, была принята за начало отсчёта галактической долготы. Экваториальные координаты этой точки: $\alpha = 18^h\,40^m$ и $\delta = 0°$ для эпохи равноденствия 1900,0.

Однако с развитием в 1950-е гг. радиоастрономии выяснилось, что на галактическом экваторе имеется естественная выделенная точка — направление на центр Галактики. Если связать с ней систему галактических координат, то из-за высокой симметрии Галактики пользоваться такими координатами станет значительно удобнее. Поэтому в 1958 г. по решению Международного астрономического союза, принятому на его Генеральной ассамблее в Москве, в галактическую систему координат были внесены изменения. Важнейшее из них состоит в том, что начало отсчёта галактической долготы передвинули примерно на 33°, совместив его с направлением на центр Галактики (каким оно тогда представлялось). Чтобы избежать путаницы, решено было координаты в старой галактической системе обозначать l^I и b^I, а в новой — l^{II} и b^{II}. Так поступали до 1970 г., когда специалисты по исследованию Галактики решили, что все астрономы уже привыкли к новой системе координат, и поэтому впредь можно не добавлять индекс «II» к буквам l и b, считая, что эти символы относятся только к новой (второй) системе. К сожалению, не все астрономы и особенно астрофизики оказались подготовлены к этому решению: ещё и 40 лет спустя



Галактическая система координат: b — галактическая широта, l — галактическая долгота

встречаются досадные ошибки, вызванные путаницей между старой и новой системами галактических координат.

В момент введения современной (новой, второй) системы галактических координат, в 1959 г., базовой координатной системой в астрономии была экваториальная система для эпохи равноденствия 1950,0. Поэтому систему галактических координат определили так: северный галактический полюс имеет экваториальные координаты $\alpha = 12^h\,49^m$ и $\delta = +27{,}4°$ (B1950), т. е. лежит в созвездии Волосы Вероники. Южный полюс лежит в созвездии Скульптор. Нулевой круг галактической долготы проходит вблизи направления на центр Галактики таким образом, что северный полюс мира имеет галактическую долготу 123° (рост галактической долготы идёт в направлении роста прямого восхождения).

Сейчас в астрономии широко используется эпоха равноденствия J2000, которую впредь решено оставить неизменной, «закрепив» экваториальную систему координат относительно очень далёких, «неподвижных» квазаров. Теперь это уже и не экваториальная система, поскольку она не связана более с положением земного экватора, которое постоянно меняется из-за прецессии и нутации земной оси. Поэтому её новое название — «Международная небесная система отсчёта» (ICRS), а свойства её очень близки к идеальной инерциальной системе отсчёта. Положение галактической системы координат должно оставаться в ней практически неизменным. Вот как оно определяется: северный галактический полюс имеет координаты $\alpha = 12^h\,51^m\,26{,}282^s = 192{,}859508°$ и $\delta = +27°\,07'\,42{,}01'' = +27{,}128336°$ (J2000). Северный полюс мира имеет галактическую долготу 122,932°. Точка на небе, у которой галактические широта и долгота равны нулю, имеет координаты $17^h\,45^m\,37{,}224^s$ и $-28°\,56'\,10{,}23''$ (J2000); в десятичных долях градуса это 266,405100° и −28,936175°. Это направление немного не совпадает с направлением на компактный радиоисточник Стрелец A* (Sagittarius A*), который ныне считается физическим центром Галактики. Координаты источника Sgr A* составляют $17^h\,45^m\,40{,}04^s$ и $-29°\,00'\,28{,}1''$ (J2000), что соответствует галактической долготе 359° 56′ 39,5″ и галактической широте −0° 02′ 46,3″.

Следует иметь в виду, что в некоторых астрономических проектах галактическая система координат определяется чуть-чуть иначе. Например, при обработке результатов проекта ГИППАРКОС для северного галактического полюса были приняты координаты $\alpha = 192{,}85948°$ и $\delta = +27{,}12825°$. Возможно, именно это определение в конце концов утвердится как основное.

ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ГОД — в научно-популярной литературе так принято называть период обращения Солнца вокруг центра Галактики. Галактический год составляет около 225 млн лет.

ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО (ГАММА-) ИЗЛУЧЕНИЯ — источник космического рентгеновского (гамма-) излучения, находящийся в Галактике за пределами Солнечной системы.

ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР — центральная область Галактики радиусом ≈ 1 кпк с отличными от её остальных частей характеристиками. Галактический центр находится в направлении созвездия Стрелец (Sagittarius) на расстоянии ≈8 кпк от Солнца. Наличие межзвёздной пыли в галактической плоскости препятствует оптическим, ультрафиолетовым и мягким рентгеновским наблюдениям галактического центра (поглощение света в этом направлении превышает 27^m), но практически не мешает наблюдениям в ИК-, радио-, жёсткой рентгеновской и гамма-областях спектра. Все имеющиеся данные о центральной части Галактики получены путём интерпретации линейчатого и непрерывного излучения диффузной среды — газа и пыли — в ИК- и радиодиапазонах. Звёздное население в центре Галактики доступно наблюдениям с большой неполнотой: в основном регистрируется излучение красных гигантов. Но косвенные данные указывают, что в пределах 1 кпк в звёздах сосредоточено более 99% массы этой области (остальное вещество — это газ с ничтожной примесью пыли и, возможно, сверхмассивная чёрная дыра в самом центре Галактики).

Распределение массы (M) в галактическом центре исследуют по скорости (v) движения газовых облаков вокруг этого центра (круговая скорость $v_{кр} = (GM/R)^{1/2}$, которая определяется по смещению или ширине спектральных линий нейтрального водорода (радиолинии водорода 21 см), рекомбинационных радиолиний возбуждённого водорода, линий поглощения молекул OH, CO, H_2CO и др.

Из того факта, что $v_{вр}$ облаков газа почти не зависит от R (и равна ≈200 ± 50 км/с) следует, что полная пространственная плотность вещества звёзд, газа и пыли в галактическом центре $r \sim R^{-2}$. Поверхности постоянной пространственной плотности звёзд в этой области имеют форму вытянутого эллипсоида с отношением осей 1:1:2. Это так называемый галактический бар. Кроме распределения пространственной плотности, о звёздном населении галактического центра известно мало. Вызывает удивление существование в этой области, даже в самой центральной её части радиусом ~1 пк, значительного количества молодых звёзд (спектральных классов O, B и типа Вольфа–Райе). Дело в том, что звёздообразование в этой области чрезвычайно затруднено из-за действия мощных приливных сил. Тем не менее есть указания на то, что в этой области время от времени, с характерным промежутком 500 млн лет, происходят вспышки звёздообразования.

Распределение диффузной среды в этой области имеет очень сложный характер. В ней имеется вращающийся диск из молекулярного и атомарного водорода. Радиус диска составляет около 600 пк, масса газа в диске $\approx 2 \cdot 10^7\ M_\odot$, в том числе нейтрального атомарного водорода $\approx 4 \cdot 10^6 M_\odot$ (остальной газ находится в форме плотных облаков молекулярного водорода H_2). Ось вращения центрального газового диска наклонена на несколько градусов по отношению к оси вращения Галактики.

Область галактического центра радиусом 150 пк заполнена ионизованным водородом (область HII) с массой газа $\approx 1{,}4 \cdot 10^6\ M_\odot$, температурой 5000 K и средней концентрацией частиц ~10 см$^{-3}$. В этой же области видны отдельные дискретные источники теплового излучения с радиусами ~10 пк, электронной концентрацией ~100 электрон/см^3 и массами 10^3–$10^4\ M_\odot$. Ионизация газа в центре Галактики связана с высоким темпом звёздообразования и с большим количеством молодых горячих звёзд. В области радиусом 50 пк там находится около 100 звёзд спектрального класса O6V. Поток ИК-излучения от галактического центра в значительной степени связан с излучением пыли, нагретой горячими O-звёздами и красными гигантами и сверхгигантами.

Среди источников радиоизлучения в центральной области Галактики выделяются три: Стрелец A Западный (Sgr A West), Стрелец A Восточный (Sgr A East) и Стрелец B2 (Sgr B2). Последние два являются молекулярными облаками с массами ~$10^6\ M_\odot$, радиусами 20 пк и расстоянием от центра Галактики ≈100–200 пк. В них расположены мощные очаги звёздообразования. Движение газовых облаков в районе центра Галактики носит сложный характер: наблюдается не только круговой, но и радиальный компонент скорости, направленный преимущественно от центра.

Источник Sgr A West совпадает с динамическим центром Галактики и имеет размер ~10 пк. Эту область принято называть ядром Галактики. В ядре обнаружены точечные источники, отождествлённые по наблюдениям линии поглощения молекулы CO с красными гигантами, а также отдельные плотные газовые конденсации размером ~0,1 пк. Динамика газа в этой области изучалась по наблюдениям линии Ne II (12,8 мкм), которые показали, что с приближением к центру скорость движения газовых облаков возрастает: если на расстоянии 2 пк от центра она составляет 150 км/с, то на расстоянии 0,4 пк — уже 300 км/с. Большинство исследователей полагает, что это связано с наличием в центре Галактики сверхмассивной ($4 \cdot 10^6 M_\odot$) чёрной дыры, но выдвигаются аргументы и против этой гипотезы. Основной из них — низкая активность ядра Галактики, плохо совместимая с присутствием там чёрной дыры. Например, рентгеновская светимость ядра в диапазоне 2–10 кэВ не превышает 10^{29} Вт, тогда как не очень активное ядро туманности Андромеды, по-видимому, имеет рентгеновскую светимость ~10^{31} Вт, а активные ядра сейфертовских галактик ~10^{35}–10^{38} Вт.

В Sgr A West обнаружено «ядрышко» размером около 0,01″, генерирующее мощное нетепловое радиоизлучение в сантиметровом диапазоне длин волн. В его центра методами межконтинентальной радиоинтерферометрии на волне 3,8 см зарегистрировано ещё более яркое пятно, которое даёт четверть всего излучения. Размер этого пятна ничтожно мал — менее 0,001″ (менее 10 а. е.). Причём найдена лишь верхняя граница размера ядрышка, в действительности оно может быть значительно меньше. Светимость ядрышка в радиодиапазоне ~10^{26} Вт, а его яркостная температура ~10^{10} K. При этом светимость единицы объёма излучающей области почти не уступает объёмной светимости квазаров.

ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ЭКВАТОР — большой круг небесной сферы, проходящий вдоль Млечного Пути и равноотстоящий от галактических полюсов.

ГАЛАТЕЯ (N VI, Galatea) — естественный спутник Нептуна. Его открыли Стив Синнотт и др. в июле 1989 г. на снимках, переданных «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 61 953 км. Орбитальный период 0,4287443 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00. Наклонение орбиты к экватору планеты 0.052°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Размеры 204×184×144 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $2 \cdot 10^{18}$ кг при средней плотности около 0,75 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 2 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 56 м/с. Альбедо около 8%. Видимый блеск 22^m и максимальное угловое расстояние от планеты 3″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 51 K.

Вследствие короткого орбитального периода Галатея испытывает приливное торможение и приближается к Нептуну. Вероятно, она уже практически достигла предела Роша. Поэтому в будущем она может разрушиться и образовать кольцо либо погрузиться в атмосферу Нептуна.

ГАЛЕЕВ, Альберт Абубакирович (р. 19.10.1940, Уфа, Башкирская АССР, СССР) — российский астрофизик, академик РАН (1992). Директор Института космических исследований РАН (1988–2002). Разработал теорию слабого взаимодействия волн в плазме и (совместно с Р. З. Сагдеевым) неоклассическую теорию переноса в токамаках. Разработал теорию взрывного пересоединения магнитных силовых линий в магнитосферном хвосте. Предложил теорию, объясняющую ускорение солнечного ветра из корональных дыр при помощи альфвеновских волн. Показал, что магнитные вспышки могут реализоваться в аккреционных дисках и (совм. с Р. Рознером и Дж. Вайаном) что корона аккреционного диска вокруг чёрных дыр состоит из магнитоплазменных петель. Нагрев этих петель аналогично солнечным корональным петлям до высоких температур осуществляется через механизм пересоединения силовых линий магнитного поля.

ГАЛИЛЕЕВЫ СПУТНИКИ ЮПИТЕРА — четыре крупнейших спутника Юпитера (Ио, Европа, Ганимед и Каллисто), открытые итальянским физиком и астрономом Галилео Галилеем в г. Падуя между декабрём 1609 г. и январём 1610 г. с помощью первого созданного им телескопа. Формальными датами открытия Ганимеда и Каллисто считают 7 января, а Ио и Европы — 8 января 1610 г. Сначала Галилей намеревался назвать их «Cosmica Sidera» (Звезды Козимо) в честь великого герцога Тосканского Козимо II Медичи (1590–1621), но затем решил назвать их «Medicea Sidera» (Звёзды Медичи) в честь четырёх братьев Медичи — Козимо, Франческо, Карло и Лоренцо. В 1610 г. герцог Козимо II пригласил Галилея вернуться во Флоренцию, предоставив ему почётное и хорошо оплачиваемое место своего советника и личного представителя. Галилей также руководил обучением многочисленных детей герцогской четы.

Современные названия спутников — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто — предложил в 1614 г. немецкий астроном Си-

мон Мариус (1573–1624) в своей книге «Mundus Jovialis» («Мир Юпитера»). Эти имена он выбрал в честь мифических возлюбленных Зевса/Юпитера. Вероятно, Мариус открыл эти спутники сам, но немного позже Галилея. Некоторые учёные XVII в. предлагали для спутников Юпитера иные названия, но они не получили признания. В астрономической практике последующих столетий для Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто использовались обозначения «Юпитер I», «Юпитер II», «Юпитер III» и «Юпитер IV»; ими же пользовался в своих записях и сам Галилей (но не публиковал их). Предложенные Марисом названия стали популярными только с середины XX в.

Размерами галилеевы спутники Юпитера похожи на Луну, и так же, как Луна, они обращаются вокруг Юпитера синхронно с вращением вокруг своей оси, постоянно демонстрируя Юпитеру лишь одно из своих полушарий. Причиной этого, как и в системе Земля–Луна, служит гравитационное приливное влияние массивной планеты на свои спутники. Между орбитальными периодами Ио, Европы и Ганимеда наблюдается резонанс с отношениями 1:2:4. С удалением от Юпитера средняя плотность спутников монотонно изменяется, уменьшаясь от Ио (3,53 г/см^3) к Каллисто (1,83 г/см^3).

ГАЛИЛЕЙ, Галилео (Galilei, Galileo) (15.02.1564, Пиза, Италия, — 8.01.1642, Арчетри, Италия) — итальянский физик и астроном. Сформулировал принцип относительности при равномерном прямолинейном движении и принцип постоянства ускорения под действием силы тяжести. Предложил использовать маятник как регулятор часов. Создал первый телескоп (1609) и с его помощью обнаружил горы и кратеры на Луне, открыл фазы Венеры и четыре спутника Юпитера («галилеевы спутники»); установил, что Млечный Путь является скоплением звёзд. В своих «Диалогах о двух главнейших системах мира» (1632) отстаивал гелиоцентрическую систему Коперника, за что подвергся гонениям со стороны церкви.



Галилео Галилей

ГАЛИМЕДА (N IX, Halimede) — один из естественных спутников Нептуна. Открыли его Мэтью Холман и его коллеги 14 августа 2002 г. Большая полуось орбиты 16,6 млн км. Орбитальный период 1879,1 сут. Эксцентриситет орбиты 0,265. Наклонение орбиты к эклиптике 112,7°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления вращения планеты. Диаметр Галимеды около 62 км при альбедо 4%. Видимый блеск 24,5^m и максимальное угловое расстояние от планеты 16″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ГАЛЛЕ, Иоганн Готфрид (Galle, Johann Gottfried) (9.6.1812, Радис, Германия, — 10.7.1910, Потсдам, Германия) — немецкий астроном. Открыл три кометы и внутреннее (креповое) кольцо Сатурна (1838). По координатам, вычисленным Ж. Ж. Леверье, отыскал (23.9.1846) новую планету, названную позже Нептуном.

ГАЛЛЕЙ, Эдмунд (Halley, Edmond) (29.10.1656, Лондон, Англия, — 14.01.1742, Гринвич, Англия) — английский астроном. Окончив в 1676 г. Оксфордский университет, отправился на остров Св. Елены, где установил инструменты для наблюдения южного неба; в результате был создан первый каталог южных звёзд, составленный с помощью телескопа. В возрасте 22 лет стал одним из ведущих астрономов своего времени. В 1682 г. создал собственную обсерваторию в Ислингтоне (район Лондона). На собственные средства осуществил первое издание знаменитых «Начал» Ньютона. Галлей особенно интересовался кометами. В его «Обзоре кометной астрономии» содержится расчёт орбит многих комет. Детальные наблюдения кометы 1682 г. и их обработка позволили Галлею предсказать её появление в 1758 г. Это предсказание подтвердилось, доказав, что Комета Галлея действительно обращается вокруг Солнца. Сравнивая свои наблюдения звёзд с их координатами, указанными в каталоге Птолемея, Галлей обнаружил собственное движение некоторых звёзд. В 1703 г. стал профессором геометрии в Оксфордском университете, а в 1720 г. — Королевским астрономом, директором Гринвичской обсерватории. Он также провёл множество наблюдений Луны и исследовал её движение.

ГАЛО (греч. *halos* — круг, диск) — светлые круги, дуги, столбы, пятна, наблюдаемые вокруг или вблизи дисков Солнца и Луны. Вызываются преломлением и отражением света ледяными кристаллами, взвешенными в воздухе.

ГАМ, Колин (Gum, Colin Stanley) (1924 — 29.04.1960, Цермат, Швейцария) — австралийский астроном. Наблюдал южное небо в спектральной линии излучения водорода Hα и на основе этого подготовил каталог диффузных туманностей. Открыл гигантскую эмиссионную туманность («Туманность Гама», Gum nebula), имеющую угловой диаметр около 40°, образованную реликтовой вспышкой сверхновой звезды в созвездии Паруса.

ГАММА — мера контрастности фотографической эмульсии. Значение гаммы равно тангенсу угла наклона линейной части характеристической кривой.

ГАММА-АСТРОНОМИЯ — область астрономии, в которой природа космических объектов исследуется по их излучению в диапазоне энергии выше нескольких сотен килоэлектронвольт (кэВ). Гамма-излучение состоит из фотонов с большей энергией, чем рентгеновское. Чёткой границы между ними нет, но обычно кванты с энергией выше нескольких сотен кэВ относят к гамма-диапазону.

Источниками космического гамма-излучения обычно служат взрывы сверхновых звёзд, аннигиляция вещества и антивещества, рождение чёрных дыр, аккреция газа на нейтронные звёзды и процесс радиоактивного распада атомных ядер, которые, например, в изобилии рождаются при взрывах сверхновых.

Детекторами гамма-лучей, как правило, служат либо сцинтилляторы (в которых вещество поглощает гамма-кванты, испуская оптические фотоны), либо искровые камеры (в которых высокое напряжение вызывает искровые пробои в тех местах, где гамма-квант взаимодействует с заполняющим камеру газом). До 2012 г. ещё не было запущено фокусирующих телескопов гамма-диапазона, поэтому координаты гамма-источников пока измерены не очень точно.

Гамма-астрономия низких энергий (от 200 кэВ до 10 МэВ) в основном изучает источники гамма-всплесков, которые время от времени ярко вспыхивают всего на несколько секунд. Эти источники были открыты спутниками «Vela» Военно-воздушных сил США, запущенными в 1963–1970 гг. для контроля за выполнением Договора об ограничении ядерных испытаний (1963) и обнаружения незаконных ядерных взрывов. Первые указания на то, что направления на гамма-всплески носят случайный характер, были получены в начале 1980-х гг. с помощью советских приборов на аппаратах серии «Венера» и «Прогноз», а также американском «Пионер–Венера». В 1990-е гг. эксперимент BATSE (Burst and Transient Source Explorer) на космической обсерватории «Комптон» (NASA) выявил сотни таких вспышек и показал, что они наблюда-

ются в произвольных местах по всему небу и, по-видимому, никогда не повторяются. Это очень затрудняет их исследование.

Сначала астрономы думали, что причиной этих вспышек служат взрывы на поверхности близких нейтронных звёзд, но это предположение не подтвердилось. К 1995 г. мнения разделились: одни считали, что вспышки связаны с нейтронными звёздами неизвестной ранее популяции протяжённого галактического гало, простирающегося почти до галактики в Андромеде, а другие полагали, что это катастрофические события во внегалактических объектах на больших красных смещениях. Ситуация прояснилась в 1997 г., когда источники гамма-всплесков удалось зарегистрировать сначала в рентгеновском, а затем и в оптическом диапазонах спектра. Выяснилось, что в основном эти всплески связаны с очень далёкими галактиками, в которых, вероятно, происходят взрывы массивных звёзд (см. *Гамма-всплески*).

Гамма-астрономия высоких энергий (выше 10 МэВ) в основном изучает долгоживущие точечные источники и диффузное излучение. Более двух десятков таких источников открыл европейский спутник «Cos-B» (1975–1982), а более глубокие исследования в этой области начались после запуска 7 апреля 1991 г. с помощью шаттла «Атлантис» обсерватории NASA «Комптон» (Compton Gamma Ray Observatory, CGRO). Имея массу 17 т, она несла четыре комплекса приборов: BATSE, OSSE, COMPTEL и EGRET. Приборы OSSE и COMPTEL наблюдают гамма-лучи средней энергии (МэВ). Эксперимент EGRET показал, что в области энергий около 100 МэВ многие источники связаны с радиояркими квазарами, которые выбрасывают биполярные струи вещества почти со скоростью света. Особенно мощными источниками жёстких гамма-лучей оказались те квазары, которые выбрасывают свои струи почти точно в направлении Земли. Точечными гамма-источниками служат также одиночные нейтронные звёзды. Обсерватория «Комптон» работала до 4 июня 2000 г., когда она, войдя в атмосферу Земли, разрушилась и упала в Тихий океан к югу от Гавайских островов.

Заметный вклад в изучение жёсткого рентгеновского и гамма-диапазонов внесла международная орбитальная обсерватория «Гранат» (1989–1998) массой 4 т, разработанная советскими учёными совместно с коллегами из Франции, Дании и Болгарии и выведенная на орбиту ракетой «Протон». Один из основных инструментов обсерватории – телескоп SIGMA с кодирующей маской – впервые позволил построить изображение области центра Галактики с беспрецедентным для таких больших энергий (40 кэВ – 1 МэВ) угловым разрешением 15′. Телескоп АРТ-П впервые провёл глубокий обзор обширной области балджа Галактики, открыв более десятка неизвестных ранее аккрецирующих чёрных дыр и нейтронных звёзд. Приборы WATCH и PHEBUS составили подробные каталоги гамма-всплесков.

С 11 июня 2008 г. основной гамма-обсерваторией на околоземной орбите является GLAST (Gamma-ray Large Area Space Telescope), которая после запуска получила новое имя – Космический гамма-телескоп «Ферми» (Fermi Gamma-ray Space Telescope) в честь физика Энрико Ферми. Спутник создан NASA и Министерством энергетики США при участии космических агентств Японии и многих западноевропейских стран. Этот аппарат массой 4,3 т несёт два прибора. Основной из них – телескоп LAT (Large Area Telescope), получающий изображения в гамма-диапазоне от 30 МэВ до 300 ГэВ. Второй прибор – детектор гамма-всплесков GBM (Gamma-ray Burst Monitor). На его счету уже несколько важных открытий, в числе которых гамма-пульсар, невидимый в других диапазонах излучения, и гигантские гамма-«пузыри», возвышающиеся над и под плоскостью Галактики в районе её центра. Доказано также, что активные ядра галактик не являются основным источником гамма-фона, а дают вклад лишь около 30%. Какие объекты ответственны за остальные 70%, пока не ясно. Это могут быть галактики со вспышкой звёздообразования или результат взаимодействия частиц тёмной материи.

Кроме космических, существуют и наземные гамма-телескопы, регистрирующие наиболее жёсткое излучение, с энергией квантов больше нескольких десятков ГэВ. Это так называемые черенковские телескопы, фиксирующие вспышку света в атмосфере Земли при попадании в неё высокоэнергичного гамма-кванта. Идея этого метода состоит в следующем. Гамма-квант сверхвысокой энергии, проходя через земную атмосферу и взаимодействуя с атомами воздуха, рождает ливень элементарных частиц. Каждая заряженная частица этого ливня, двигаясь с околосветовой скоростью (которая выше скорости распространения света в атмосфере), вызывает черенковское свечение. Поток оптических фотонов распространяется в том же направлении, что и породивший его гамма-квант. Остаётся только зарегистрировать этот свет с помощью обычного телескопа.

Первыми в мире систематические наземные исследования космического гамма-излучения начали проводить сотрудники Физического института имени П. Н. Лебедева РАН (ФИАН) ещё в 1964 г. На Тянь-Шаньской высокогорной станции ФИАНа и в Крымской астрофизической обсерватории регистрация черенковского излучения успешно осуществлялась сначала с помощью параболических зеркал диаметром 1,5 м (от прожекторов ПВО), а позже – с помощью многозеркальных коллекторов света. Атмосфера Земли не только не мешала им, но была необходимым элементом установки: фактически она играла роль сцинтиллятора. Сейчас уже в нескольких странах действуют подобные гамма-телескопы. Один из крупнейших – VERITAS (Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System) в Аризоне состоит из четырёх 12-метровых коллекторов света и регистрирует кванты с энергией от 50 ГэВ до 50 ТэВ. Каждый из коллекторов собран из 350 плоских шестиугольных зеркал, которые отражают свет в фокус коллектора, где находится система регистрации на основе фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). С помощью этих приборов уже обнаружены десятки источников сверхжёсткого гамма-излучения, как в нашей Галактике, так и в соседних. Тем же методом регистрируют и частицы космических лучей сверхвысокой энергии, которые также при взаимодействии с атмосферой Земли порождают поток вторичных частиц – широкий атмосферный ливень, дающий вспышку черенковского излучения.

ГАММА-ВСПЛЕСКИ – кратковременные вспышки космического гамма-излучения, регулярно фиксируемые орбитальными обсерваториями уже несколько десятилетий и до недавних пор оставшиеся не отождествлёнными с какими-либо космическими объектами. Первый гамма-всплеск зарегистрировали 2 июля 1967 г. американские военные спутники серии «Vela», следившие за соблюдением международного договора от 1963 г. о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой. Одновременная регистрация несколькими спутниками показала, что этот и последующие гамма-всплески не вызваны ядерными взрывами на Земле. Но где именно расположены их источники, долгие годы оставалось загадкой. Основная трудность в том, что гамма-детекторы имеют очень низкое угловое разрешение, т. е. крайне неточно указывают направление на источник. До 1973 г. о гамма-всплесках не сообщали в открытой печати. Спутники фиксировали по несколько всплесков в год. Учёным сообщили о них, когда окончательно стало ясно, что всплески не вызваны искусственными взрывами, а имеют космическое происхождение. По мере роста чувствительности гамма-детекторов спутники стали фиксировать до нескольких вспышек в сутки. Их обозначают как GRB (Gamma-Ray Burst); например, GRB 030329 означает гамма-всплеск, наблюдавшийся 29 марта 2003 г.

Оказалось, что гамма-всплески с энергией в десятки и сотни кэВ наблюдаются в совершенно произвольных направлениях на небе, и каждая такая вспышка

на короткое время (от долей секунды до нескольких минут) становится ярче всех прочих небесных гамма-источников. Изотропное распределение вспышек на небе разделило многочисленные гипотезы об их происхождении на два типа: источники вспышек должны располагаться либо ближе 100 пк (характерная толщина галактического диска), либо дальше 10 Мпк (характерный межгалактический масштаб). Большинство астрономов склонялось к локальным гипотезам (удары комет по нейтронным звёздам, спонтанное разрушение коры нейтронных звёзд и т. п.), поскольку признание межгалактических расстояний до источников вспышек указывало бы на их фантастическую мощность. Для решения вопроса требовалось определить расстояние хотя бы до одного из источников. Но наблюдения только в гамма-диапазоне не давали такой возможности, поскольку из-за их низкого углового разрешения не позволяли отождествить вспышку с известными объектами.

Ситуация изменилась 28 февраля 1997 г., когда специализированный спутник «Беппо-SAX» (Италия и Голландия) зарегистрировал всплеск сначала в гамма-, а затем в рентгеновском диапазоне, где достигается более высокое угловое разрешение. Выяснилось, что за первоначальным всплеском излучения в гамма-диапазоне обычно следует долгоживущее «послесвечение», излучаемое на более длинных волнах (рентген, УФ, оптика, ИК и радио). Используя метод последовательного уточнения координат при переходе в более мягкие диапазоны спектра, с помощью наземных телескопов вскоре стали обнаруживать оптическое послесвечение гамма-всплесков, позволившее точно определить их положение на небе и отождествить с известными объектами.

Оказалось, что большинство таких вспышек происходит в очень далёких галактиках, находящихся от нас на расстояниях в миллиарды световых лет. Мощность этих взрывов невероятно велика: если при вспышке энергия излучается изотропно, то светимость источника превышает 10^{45} Вт (для сравнения — светимость большинства квазаров не превышает 10^{40} Вт). Поэтому большинство исследователей считает, что гамма-всплеск представляет собой узкий луч мощного излучения, испускаемого во время вспышки гиперновой, когда быстро вращающаяся массивная звезда коллапсирует, превращаясь в чёрную дыру. При этом за несколько секунд высвобождается столько энергии, сколько Солнце излучается за всё время своей эволюции (10 млрд лет). Наши приборы замечают это событие только в том случае, если луч направлен на Землю. Скорее всего, это биполярный луч, выходящий из источника в двух диаметрально противоположных направлениях.

В каждой конкретной галактике такие события происходят редко — несколько раз за миллион лет. До сих пор все наблюдаемые гамма-всплески происходили за пределами нашей Галактики (кроме явлений родственного типа — мягких повторяющихся гамма-всплесков, которые ассоциируются со сравнительно близкими магнетарами). Если такое событие произойдёт в Галактике и гамма-луч попадёт на Землю, то это может вызвать экологическую катастрофу.

Нужно подчеркнуть, что до сих пор даже классификация гамма-всплесков не разработана сколько-нибудь детально, а их физические механизмы во многом остаются загадочными.

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ — электромагнитное излучение наиболее коротковолнового (т. е. наиболее высокочастотного) диапазона. Гамма-лучи имеют длину волны короче 0,01 нм, частоту колебаний выше $3 \cdot 10^{19}$ Гц. Энергия гамма-квантов составляет более 125 кэВ. Со стороны более длинных волн гамма-излучение граничит с рентгеновским излучением. Сквозь атмосферу Земли космическое гамма-излучение не проходит, поэтому оно было обнаружено в лишь 1960-х гг. методами внеатмосферной астрономии. Его источники имеют различную природу, но во всех случаях гамма-лучи (γ-лучи) рождаются при взаимодействии высокоэнергичных частиц (ядер атомов, электронов), поэтому космические γ-лучи связаны с мощными процессами выделения энергии. Самые близкие к нам источники таких лучей — солнечные вспышки.

Ряд источников γ-лучей отождествлён с нейтронными звёздами, оставшимися после вспышек сверхновых (например, нейтронная звезда-пульсар в центре Крабовидной туманности), а также очень горячими аккреционными дисками в тесных двойных системах звёзд. Зарегистрировано также γ-излучение от некоторых активных ядер галактик и квазаров. До сих пор не до конца понятна природа загадочных вспыхивающих источников — так называемых гамма-всплесков, которые почти ежедневно появляются непредсказуемым образом на короткое время (от нескольких секунд до десятков минут) в различных областях неба.

ГАММА-ПУЛЬСАР — источник космического гамма-излучения, имеющего периодический характер, связанный с вращением компактного объекта вокруг своей оси. См. *Рентгеновский пульсар.*

ГАММА-ТЕЛЕСКОП — прибор для обнаружения и исследования источников космического гамма-излучения. В силу огромной проникающей способности гамма-лучей создание прибора для получения прямых изображений источников гамма-излучения не представляется возможным. Однако можно определить направление на такой источник, например, с помощью искровой камеры. В координатно-чувствительных приёмниках иных типов используют одновременно два или более детекторов. Одновременная регистрация гамма-кванта парой детекторов позволяет определить направление на источник по направлению линии, соединяющей детекторы (счётчик совпадений). Построение двумерных изображений в гамма-диапазоне возможно также путём сканирования неба детектором с коллиматором. При этом коллиматор либо ограничивает поле зрения детектора (сотовый коллиматор), либо изменяет поток проходящего излучения по определённому алгоритму при изменении направления на источник (модулирующий коллиматор, метод кодирующей маски).

ГАМОВ, Георгий Антонович (4.3.1904, Одесса, Россия, — 20.8.1968, Боулдер, шт. Колорадо, США) — советский и американский физик и астрофизик, член-корр. АН СССР (1932). Первым применил теорию ядерных реакций для исследования эволюции звёзд. Объяснил альфа-распад «туннельным эффектом», позволяющим частице с не очень большой энергией проникать сквозь потенциальный барьер. Совместно с Э. Теллером развил теорию бета-распада, введя взаимодействие Гамова—Теллера. Выдвинул теорию горячей Вселенной, известной ныне как теория Большого взрыва. Предсказал реликтовое излучение Вселенной.

ГАНИМЕД (*J* III, Ganymede) — естественный спутник Юпитера; один из четырёх галилеевых спутников. Автор открытия — Галилео Галилей, 1610 г. Большая полуось орбиты 1070,4 тыс. км. Орбитальный период 7,154553 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0013. Средняя орбитальная скорость 10,88 км/с. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 0,20°. Масса $1{,}48 \cdot 10^{23}$ кг. Диаметр 5268 км. Средняя плотность 1,936 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 1,4 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 2,74 км/с. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск 4,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 5′ 51″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности 110 К; колебания от 70 до 152 К.

ГАРВАРДСКАЯ СИСТЕМА — система классификации спектров звёзд, разработанная в начале XX в. в Гарвардской обсерватории (США) и лёгшая в основу современной спектральной классификации. См. *Спектральные классы звёзд* и *Классы светимости.*

ГАРМОНИКИ — колебания с частотой более высокой, чем основная (фундаментальная, резонансная) частота колебательной системы. Как правило, частоты гармоник кратны основной частоте.

ГАРМОНИЯ СФЕР (или музыка сфер) — античное эстетико-космологическое учение, выдвинутое пифагореизмом и популярное вплоть до Нового времени. Философы полагали, что космос — это ряд небесных сфер (на которых закреплены Луна, Солнце, пять планет и неподвижные звёзды), каждая из которых при вращении издаёт свой музыкальный звук. Расстояние между сферами и издаваемые ими звуки соответствуют гармоническим музыкальным интервалам.

ГАРПАЛИКЕ (J XXII, Harpalyke) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2000). Большая полуось орбиты 21 064 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 624,5 сут. Эксцентриситет орбиты 0,226. Наклонение орбиты к эклиптике 149°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск 22,2^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°23′13″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ГАРТМАН, Иоганнес Франц (Hartmann, Johannes Franz) (11.01.1865, Эрфурт, Германия, — 13.09.1936, Гёттинген, Германия) — немецкий физик и астроном. Открыл (1904) существование межзвёздного газа, обнаружив неподвижную линию поглощения иона кальция в спектре двойной звезды δ Ориона. Изобрёл несколько важных астрономических приборов, в том числе диафрагму Гартмана для исследования качества объективов.

ГАУСС, Карл Фридрих (Gauss, Johann Carl Friedrich) (30.4.1777, Брауншвейг, Св. Римская империя, — 23.2.1855, Гёттинген, Королевство Ганновер) — немецкий математик, физик, астроном, геодезист. Мировую известность приобрёл, разработав метод вычисления эллиптической орбиты планеты по трём её наблюдениям. Применение этого метода позволило вновь найти на небе карликовую планету Церера после того, как она была утеряна вскоре после её открытия Дж. Пиацци в 1801 г.

ГЕВЕЛИЙ, Ян (лат. Johannes Hevelius; нем. Johannes Hewel, Johann Hewelke, Johannes Höwelcke; полск. Jan Heweliusz) (28.01.1611, Гданьск, Польша, — 28.01.1687, Гданьск) — польский астроном. Объездил большинство европейских стран, изучая юриспруденцию и науки. В 1634 г. вернулся в Гданьск, женился и занялся астрономией. Построил обсерваторию, где провёл много замечательных наблюдений. Вместе с женой Эльжбетой составил карту Луны и опубликовал её в книге «Селенография» (1647). Составил каталог 1564 звёзд и открыл четыре кометы. В 1661 г. наблюдал прохождение Меркурия по диску Солнца и оказался вторым человеком, заметившим это явление. Высказал предположение, что кометы движутся вокруг Солнца по параболическим орбитам, и опубликовал свои наблюдения комет в работах «Предшественник комет» (1665) и «Кометография» (1668). Член Лондонского королевского общества (1664).

ГЕГЕМОНЕ (J XXXIX, Hegemone) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2003). Большая полуось орбиты 23 703 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 746 сут. Эксцентриситет орбиты 0,408. Наклонение орбиты к эклиптике 153°. Диаметр 3 км. Альбедо около 4%. Блеск m_R = 22,8^m и максимальное угловое расстояние от планеты 3°02′22″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ГЕЛИАКИЧЕСКИЙ ВОСХОД — первый утренний восход звезды или планеты над горизонтом непосредственно перед восходом Солнца, в лучах утренней зари. Соответственно, гелиакический заход — заход объекта сразу после захода Солнца, т. е. в лучах вечерней зари.

Гелиакический восход наблюдается после периода невидимости этого объекта, вызванного тем, что ранее его восход происходил в дневное время, на фоне светлого неба, и поэтому был невидим. Дата гелиакического восхода зависит от географической широты места, яркости объекта и его небесных координат. Поскольку при наблюдении звезды неизменного блеска из фиксированного места на Земле эти величины неизменны, момент гелиакического восхода определённой звезды однозначно связан с датой года.

Гелиакический восход звезды Сириус играл важную роль в религии, астрономии и календаре Древнего Египта. Жрецы пользовались им для предсказания наступления разлива Нила, что было жизненно важно, так как позволяло своевременно подготовить поля и ирригационные сооружения. Период невидимости перед гелиакическим восходом для Сириуса составляет 70 сут. Утренний восход Сириуса трудно не заметить: это самая яркая звезда, поэтому Сириус заметен на столь ярком небе, когда другие звёзды уже не видны.

ГЕЛИЕВЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды спектральных классов O и B, в спектрах которых линии поглощения гелия очень сильны, а линии поглощения водорода слабы или вообще не видны. У экстремальных гелиевых звёзд, которые называют ещё «звёздами с дефицитом водорода», в спектре нет даже следов водорода. А в спектрах умеренно гелиевых звёзд линии водорода заметны, но они гораздо слабее, чем у нормальных звёзд. Потеря или разрушение водородной оболочки звёзды обнажают гелиевое ядро. Это может случиться из-за сильного звёздного ветра, как у звёзд типа Вольфа—Райе, или же из-за переноса массы с одного компонента двойной системы на другой. Раньше «гелиевыми звёздами» называли и нормальные B-звёзды, у которых из-за высокой степени ионизации ослаблены линии водорода и из-за высокой степени возбуждения усилены линии гелия, но теперь этот термин к ним не применяют. Гелиевыми переменными называют звёзды типа Bp, в спектре которых интенсивность гелиевых линий периодически меняется: в некоторых фазах кажется, что объект очень богат гелием, в то время как в других фазах гелиевые линии либо очень слабы, либо вообще отсутствуют.

ГЕЛИЙ-3 НА ЛУНЕ — предполагаемый источник топлива для будущих термоядерных генераторов энергии. Считается, что первым этапом развития термоядерной энергетики будет создание реактора, использующего реакцию дейтерий—тритий (D–T):

$$D + T = {}^4He\ (3{,}5\ МэВ) + n\ (14{,}1\ МэВ).$$

Однако эта реакция имеет существенные недостатки: наличие в составе термоядерного топлива радиоактивного трития, а в продуктах реакции — быстрых нейтронов. При реакции синтеза D–T, так же как и при реакции деления урана в обычных ядерных реакторах атомных электростанций, облучение образующимися нейтронами вызывает радиоактивность конструкционных материалов термоядерной установки. Это делает термоядерный реактор не менее биологически опасным, чем реактор деления. Значительно менее экологически опасным было бы использование реакции дейтерий — гелий-3 (D—^{3}He):

$$D + {}^3He = {}^4He\ (3{,}6\ МэВ) + p\ (14{,}7\ МэВ).$$

Хотя и в этой реакции, точнее — в её побочной ветви (D+D), образуются быстрые нейтроны и тритий, но их выход существенно, примерно в 30 раз, меньше, чем в реакции D+T.

К сожалению, на Земле гелия-3 практически нет. Это связано с тем, что магнитное поле Земли не пропускает солнечный ветер, содержащий гелий-3, к поверхности планеты. По прогнозу, весьма значительны запасы гелия-3 на Луне, в верхнем слое её грунта. По оценкам, полная затрата энергии по добыче и до-

ставке гелия-3 с Луны на Землю составит $2{,}4 \cdot 10^6$ МДж/кг. А выход энергии при термоядерном сжигании гелия-3 составляет $6{,}0 \cdot 10^8$ МДж/кг. Выигрыш по энергии получается в 250 раз. Это больше, чем в урановых ядерных реакторах (20 раз) или при сжигании угля (16 раз).

ГЕЛИКЕ (J XLV, Helike) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2003). Большая полуось орбиты 20 540 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 601,402 сут. Эксцентриситет орбиты 0,1375. Наклонение орбиты к эклиптике 155°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск m_R = 22,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°07′41″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ГЕЛИОГРАФ (от греч. *helios* — солнце и *grapho* — пишу) — название двух типов оптических приборов, имеющих совершенно разную конструкцию и различное назначение. В метеорологии и климатологии так называют прибор для автоматической регистрации продолжительности солнечного сияния в течение дня, то есть когда Солнце не закрыто облаками. Наибольшее распространение получили гелиографы системы Кэмпбелла–Стокса, в которых шаровая линза фокусирует солнечные лучи на бумажной ленте, разделённой часовыми линиями. Днём, в ясную погоду, вследствие видимого суточного движения Солнца на ленте остаётся чёткий прожжённый след. По российским метрологическим стандартам, гелиографический прибор Кэмпбелла–Стокса считается средством измерения. Как правило, в конструкции гелиографа предусмотрена возможность изменения наклона, позволяющая прибору работать на любой широте.

В технике связи гелиограф — это оптический телеграф, устройство для передачи информации на расстояние посредством световых вспышек. Главной частью гелиографа служит закреплённое в рамке зеркало, наклонами которого производится сигнализация серией вспышек солнечного света (т. е. «солнечным зайчиком») в направлении получателя сигнала. В качестве кодировки, как правило, используется азбука Морзе. Обычно гелиографы выполнялись мобильными и монтировались на треноге. Были широко распространены в армиях многих стран в XIX и начале XX в. (в армии Великобритании и Австралии — вплоть до 1960-х гг.). Дальность связи в хороших условиях (солнечный день, чистая атмосфера) могла превышать 50 км. Рекорд дальности связи посредством гелиографа был поставлен в США в 1894 г.: расстояние между точками передачи и приёма составило 295 км, обе располагались на горных вершинах.

ГЕЛИОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ — система широт и долгот на поверхности (фотосфере) Солнца. Нуль-пункт солнечных долгот определяется по системе Р. К. Кэррингтона (1826–1875). См. *Вращение Солнца в системе Кэррингтона.*

ГЕЛИОМЕТР — телескоп, использовавшийся ранее для измерения диаметра Солнца и других протяжённых объектов, а также углового разделения двойных звёзд. Это рефрактор, объектив которого разрезан по диаметру на две половинки, способные взаимно перемещаться вдоль линии разреза. Наблюдатель видит в окуляр два изображения объекта, построенные каждой из частей объектива, и перемещает половинки объектива до тех пор, пока один край диска Солнца (или один из компонентов двойной звезды) не совпадёт с противоположным краем диска (со вторым компонентом пары). Измерив величину смещения половинок объектива и зная его фокусное расстояние, вычисляют угловой диаметр диска (или угол между компонентами звёздной пары).

ГЕЛИОПАУЗА — внешняя граница гелиосферы, область столкновения солнечного ветра с межзвёздным веществом. Поток солнечного ветра там резко замедляется и уплотняется в виде ударной волны. Этот пограничный слой удалён от Солнца приблизительно на 150 а. е.

ГЕЛИОСЕЙСМОЛОГИЯ — изучение внутреннего строения Солнца на основе измерения колебаний солнечной поверхности. В принципе этот метод аналогичен изучению недр Земли с помощью сейсмических (звуковых) волн.

ГЕЛИОСТАТ — плоское зеркало, вращаемое часовым механизмом для удержания отражённого солнечного луча в определённом направлении; аналог сидеростата, применённый для солнечного телескопа.

ГЕЛИОСФЕРА — область космического пространства, занятая солнечным ветром. Эта область окружает Солнце; снаружи она ограничена гелиопаузой, за пределами которой находится межзвёздная среда. Гелиосфера простирается как минимум вдвое дальше орбиты наиболее далёкой планеты Нептун, но её граница пока точно не установлена.

Плазма солнечного ветра движется в гелиосфере со сверхзвуковой скоростью относительно Солнца. Извне гелиосфера ограничена бесстолкновительной ударной волной, возникающей в солнечном ветре из-за его взаимодействия с межзвёздной плазмой и межзвёздным магнитным полем. Между этой внутренней ударной волной (англ. termination shock) и контактной поверхностью (англ. heliopause), служащей границей между солнечным ветром и межзвёздной средой, плазма солнечного ветра движется с дозвуковой скоростью.

Расстояние границы гелиосферы от Солнца определяется балансом динамического давления солнечного ветра и давления межзвёздного газа и магнитного поля. Поскольку Солнечная система движется относительно межзвёздной среды со скоростью 20–25 км/с, гелиосфера несферична («кометообразна»). Теоретические оценки и косвенные экспериментальные данные показывают, что расстояние ударной волны от Солнца равно 80–100 а. е.; расстояние контактной поверхности от ударной волны примерно в 2–3 раза меньше. Межзвёздный газ движется относительно Солнца со сверхзвуковой скоростью, поэтому за контактной поверхностью находится, по-видимому, ещё одна, внешняя, ударная волна (англ. *bow shock*), в которой происходит торможение межзвёздной плазмы. Оценки дают расстояние до внешней ударной волны около 230 а. е.

На больших расстояниях r от Солнца ($\geq$10 а. е.) солнечный ветер влияет только на движение ионизованного компонента межзвёздной среды. На движение нейтральных атомов солнечная радиация и другие факторы начинают заметно влиять только на расстояниях $r \leq 5$ а. е. от Солнца. Прямые измерения описанных структур частично проводились с борта межпланетных зондов «Вояджер-1 и -2» (NASA, 1977) после их ухода за пределы планетной системы. Границу внутренней ударной волны «Вояджер-1» пересёк в декабре 2004 г. на расстоянии около 94 а. е. от Солнца, а «Вояджер-2» прошёл эту границу в конце августа 2007 г. на расстоянии около 84 а. е. от Солнца. Вероятно, форма внутренней ударной волны далека от идеальной. Более того, наблюдения рассеянного УФ-излучения Солнца с аппаратов «Кассини» и IBEX (Interstellar Boundary Explorer, NASA 2008) не подтверждают кометообразную форму гелиосферы: по их данным, она более сфероидальная, а её граница весьма турбулентная.

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА — предложенная Николаем Коперником в эпоху Возрождения схема движения Земли и других планет вокруг неподвижного Солнца. Из этой модели возникло нынешнее представление о Солнечной системе. Гелиоцентрическая система мира сменила представление о Земле как центре мироздания, что имело фундаментальное значение для развития естествознания.

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ ЮЛИАНСКАЯ ДАТА (Heliocentric Julian Date, HJD) — юлианская дата какого-либо события (см.

Юлианские дни), вычисленная с точки зрения гипотетического наблюдателя, находящегося в центре Солнца. Вычисляется по юлианской дате с учётом светового уравнения:

$$HJD = JD - 499(\sin\delta \sin\delta_\odot + \cos\delta \cos\delta_\odot \times \cos(\alpha - \alpha_\odot)) \text{ секунд},$$

где α, δ – экваториальные координаты наблюдаемого объекта, а $\alpha_\odot$, $\delta_\odot$ – экваториальные координаты Солнца на момент наблюдения.

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ – система координат (сферических или прямоугольных), начало отсчёта которой расположено в центре Солнца.

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ – время события, наблюдаемого из точки, расположенной в центре Солнца.

ГЕМИНИДЫ – обильный метеорный поток, демонстрирующий много ярких метеоров. Поток активен в период приблизительно с 5 по 18 декабря каждого года. Максимальная активность наблюдается около 13 декабря. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Близнецы, т. е. метеоры выглядят летящими со стороны этого созвездия (из северной его части). Для наблюдателя в средней полосе России после полуночи созвездие Близнецы в этот период располагается в юго-восточной части неба высоко над горизонтом. Геоцентрическая скорость частиц потока 35 км/с. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности около 90. Родоначальницей потока считается астероид 3200/Фаэтон.

ГЕММА, или **Альфекка**, – α Северной Короны. Затменная двойная звезда типа Алголя, изменяющая свой блеск от 2,2 до 2,4 визуальной звёздной величины с периодом 17,36 сут.

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ – кратчайший путь (мировая линия) между двумя событиями в искривлённом пространстве-времени. В плоском пространстве-времени геодезическая – это прямая линия.

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ – часть практической астрономии, в которой разрабатываются методы использования результатов астрономических наблюдений для геодезических и картографических работ.

ГЕОДЕЗИЯ – наука, изучающая геометрию поверхности Земли – её форму, размер и пр.

ГЕОИД – эквипотенциальная поверхность, на море совпадающая со средним уровнем воды, а на континентах – с уровнем воды, который установился бы в сети каналов, соединяющихся с морем. «Высота над уровнем моря» какого-либо пункта на материке отсчитывается от поверхности геоида.

ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ – возмущение геомагнитного поля длительностью от нескольких часов до нескольких суток. Это явление вызывается поступлением в окрестности Земли возмущённых потоков солнечного ветра и их взаимодействием с магнитосферой Земли. Во время геомагнитной бури возмущения магнитного поля у поверхности Земли имеют величину менее или порядка 1% от величины стационарного геомагнитного поля, так как последнее варьируется от 0,34 Э у экватора до 0,66 Э у полюсов Земли, т. е. приблизительно равно $(30–70)\cdot10^3$ нТл. По интенсивности геомагнитные бури обычно подразделяют на умеренные, при которых ослабление магнитного поля составляет от −50 до −100 нТл, сильные (от −100 до −200 нТл) и экстремальные (ниже −200 нТл). Частота появления умеренных и сильных бурь на Земле имеет чёткую корреляцию с 11-летним циклом солнечной активности: при средней частоте около 30 бурь в год их число может составлять 1–2 бури в год вблизи солнечного минимума и достигать 50 бурь в год вблизи солнечного максимума.

ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ – магнитное поле, созданное внутриземными источниками. В первом приближении оно напоминает поле магнитного диполя. Магнитный момент земного диполя примерно равен $8\cdot10^{15}$ А·м^2 = $8\cdot10^{25}$ Гс·см^3 = 0,3 Гс·R_e^3 (где R_e – экваториальный радиус Земли). У поверхности Земли наибольшая индукция геомагнитного поля B=68 мкТл (0,68 Гс), достигается вблизи магнитного полюса, расположенного у берегов Антарктиды (в физическом смысле это северный магнитный полюс, но географы называют его Южным магнитным полюсом). Наименьшая индукция, 24 мкТл (0,24 Гс) достигается в Бразилии; это так называемая Бразильская магнитная аномалия.

ГЕОМАГНИТНЫЙ ХВОСТ – область магнитосферы, находящаяся на ночной стороне и образованная магнитными силовыми линиями, вытянутыми в направлении от Солнца.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ АБЕРРАЦИИ – искажения изображения, характеризующие несовершенство оптических систем в монохроматическом свете. Это кривизна поля, кома, дисторсия, астигматизм и сферическая аберрация. Труднее всего устранить сферическую аберрацию и кому. Уменьшая диафрагму, можно было бы практически полностью устранить обе эти аберрации, однако уменьшение диафрагмы уменьшает яркость изображения и увеличивает дифракционные ошибки. Подбором линз устраняют дисторсию, астигматизм и кривизну поля изображения.

ГЕОСИНХРОННАЯ ОРБИТА – орбита, на которой ИСЗ движется с периодом, кратным звёздным суткам (23 час 56 мин 4 с солнечного времени). В проекции на земную поверхность трасса такого спутника представляет замкнутую линию; при этом спутник периодически появляется над определёнными точками земной поверхности в одно и то же местное время. Если период обращения равен одним суткам, а наклон орбиты $0° < i < 90°$, то трасса имеет вид восьмёрки, сохраняющей своё положение в проекции на поверхность Земли (ИСЗ постоянно находится над некоторым районом земной поверхности, испытывая колебания по долготе и по широте в пределах наклона орбиты). Частным случаем геосинхронной орбиты является геостационарная орбита – круговая экваториальная орбита с периодом в одни сутки. Двигаясь по ней в восточном направлении на высоте около 35 800 км от поверхности Земли, ИСЗ постоянно «висит» над одной точкой планеты. С такого спутника видна примерно 1/3 площади поверхности Земли. Из всех точек этой области геостационарный спутник всегда виден в фиксированном направлении, что позволяет в случае прямого телевизионного вещания принимать его сигналы неподвижной параболической антенной.

ГЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА (Птолемеева система мира) – описанная древнегреческим астрономом Птолемеем система движения небесных тел, в которой Солнце, Луна и планеты обращаются вокруг неподвижной Земли. Геоцентрическая система возникла в древнегреческой науке и сохранилась вплоть до позднего Средневековья, для которого также было характерно антропоцентрическое представление о центральном положении Земли во Вселенной. Геоцентрическая система постепенно эволюционировала в сторону усложнения её математического аппарата, но не отступая от своего основного принципа – центрального положения Земли. Согласно поздним вариантам этой системы, планеты, Солнце и другие небесные светила обращаются вокруг Земли по орбитам, представляющим сложное сочетание круговых орбит (*см. Деферент* и *Эпицикл*). Геоцентрическую систему мира сменила гелиоцентрическая система мира Н. Коперника. В период смены парадигм предпринимались попытки синтеза двух этих систем (*см. Браге, Тихо*).

ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ – система координат, в которой положение

небесных тел определяют относительно центра Земли.

ГЕРКУЛЕС — большое экваториальное созвездие, расположенное между Лирой и Волопасом. Его не особенно яркие звёзды образуют выразительную человекообразную фигуру. По греческой легенде Геракл (Геркулес) был сыном Зевса и смертной женщины Алкмены. У греков это созвездие упоминалось ещё за пять веков до н. э. под именем «Геракл». Украшением созвездия служит шаровое скопление M13, с трудом различимое невооружённым глазом как туманное пятнышко между звёздами η и ζ. Но в телескоп оно выглядит восхитительно! Его суммарный блеск эквивалентен одной звезде $5{,}7^m$. В этом древнем скоплении более миллиона звёзд, удалённых от нас на расстояние 22 тыс. св. лет. Все они гораздо старше Солнца. Нужно также отметить и не столь яркое, но тоже очень богатое шаровое скопление M92. От него свет идёт до нас 26 тыс. лет. Визуальная двойная звезда α Геркулеса носит имя Рас Альгети, что на арабском значит «голова коленопреклонённого». Её главный оранжевый компонент хаотически меняет свой блеск от 3^m до 4^m, а его зелёно-голубой компаньон $5{,}4^m$ сам является тесной двойной системой с орбитальным периодом 51,6 сут. Эту великолепную оранжево-зелёную пару можно увидеть раздельно в небольшой телескоп или мощный бинокль.

ГЕРМИППЕ (J XXX, Hermippe) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 21 131 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 633,90 сут. Эксцентриситет орбиты 0,227. Наклонение орбиты к эклиптике 151°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 22{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°22′24″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ГЕРСЕ (J L, Herse) — естественный спутник Юпитера (S/2003 J17). Авторы открытия — Бред Гладман и др. (2003). Большая полуось орбиты 23 097 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 715,4 сут. Эксцентриситет орбиты 0,2. Наклонение орбиты к эклиптике 164°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $23{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°29′45″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ГЕРЦ — единица частоты в системе СИ, обозначается Гц (Hz). Названа в честь немецкого физика Генриха Герца (1857–1894). Частота в один герц (1 Гц) означает один полный цикл колебания в секунду.

ГЕРЦШПРУНГ, Эйнар (Hertzsprung, Ejnar) (8.10.1873, Копенгаген, Дания, — 21.10.1967, Роскилле, Дания) — датский астроном и инженер, обнаружил связь между цветом звёзд и их светимостью. Это соотношение, независимо полученное американским астрономом Г. Н. Расселом, легло в основу диаграммы Герцшпрунга—Рассела, ставшей важным инструментом звёздной астрономии. Герцшпрунг также нашёл связь между спектрами звёзд и их светимостью.

ГЕРШЕЛЬ, Вильям (Herschel, Sir William) (15.11.1738, Ганновер, Германия, — 25.08.1822, Слау, Англия) — английский астроном немецкого происхождения. При рождении назван Фридрихом Вильгельмом. Серьёзного систематического образования не получил, но самостоятельным трудом стал одним из величайших астрономов своего времени. В молодости был музыкантом Ганноверской гвардии. В 1757 г. переехал в Англию, где днём работал учителем музыки и органистом, а ночью наблюдал звёзды. Производя обзор ночного неба, 13 марта 1781 г. открыл планету Уран и сразу же стал знаменит. Король Георг III сделал его своим личным астрономом. Гершель создал много телескопов, среди которых были инструменты с фокусным расстоянием 20 футов (6,1 м) и 40 футов (12,2 м) — в то время крупнейшие в мире. Их он установил у себя дома в Слау.

Гершель был неутомимым тружеником. Многие годы он проводил обзоры ночного неба, наблюдая звёзды, туманности и звёздные скопления. Днём он анализировал результаты ночных наблюдений и руководил постройкой телескопов. Его сестра Каролина помогала ему и постепенно начала самостоятельные исследования. Гершель наблюдал солнечные пятна, подтвердив газообразную природу Солнца; заново открыл марсианские полярные шапки и верил в существование жизни на Марсе. Он разработал пассатную теорию образования полос на Юпитере; открыл по два спутника у Юпитера и Урана. Но основным предметом его интересов были звёзды, и в этой области он сделал два открытия первостепенного значения: обнаружил движение Солнечной системы в пространстве и доказал, что двойные звёзды обращаются вокруг общего центра тяготения. Это подтвердило универсальность закона тяготения Ньютона. Гершель открыл около 1000 двойных звёзд. В 1785 г. он развил дисковую теорию звёздных систем, согласно которой все туманности являются звёздными скоплениями, которые он называл «островными вселенными». Он отказался от идеи об однородном распределении звёзд в Млечном Пути и считал, что Млечный Путь состоит из отдельных групп и скоплений звёзд. Он думал, что все туманности также являются скоплениями, ещё не разрешёнными на звезды. Гершель открыл более 2000 туманностей и скоплений, опубликовал несколько их каталогов. Опубликовал важную космогоническую работу, в которой с точки зрения теории тяготения представил теорию эволюции вещества шаг за шагом от туманности до заключительной планетной стадии.

ГЕРШЕЛЬ, Джон Фредерик Уильям (Herschel, Sir John F. W.) (7.03.1792, Слау, Англия, — 11.05.1871, Коллингвуд, Англия) — английский астроном и физик. Окончил Кембриджский университет (1813). Занимался математикой и правом, но после смерти отца, сэра Уильяма Гершеля, в 1822 г. продолжил его астрономические исследования. Первая работа Джона Гершеля посвящена двойным звёздам, но главной темой его исследований стали туманности.

В 1834 г. он отправился в Фельдхаузен на мысе Доброй Надежды (Ю. Африка), где установил 18-дюймовый телескоп-рефлектор с фокусным расстоянием 6 м и небольшой рефрактор. С их помощью в течение следующих четырёх лет он провёл первое детальное изучение южного неба, открыв 1202 двойных звёзд и 1708 туманностей и звёздных скоплений. Особое внимание уделил Магеллановым Облакам и распределению южных звёзд; изучил комету Галлея при её появлении в 1835 г. Вернувшись в 1838 г. в Англию, получил титул баронета при коронации королевы Виктории и следующие 7 лет посвятил описанию своих африканских исследований, опубликовав в 1847 г. «Результаты астрономических наблюдений, выполненных на мысе Доброй Надежды в 1834–1838 гг.». Среди его работ — книга «Очерки астрономии» (1849) и «Общий каталог туманностей» (1864). содержащий данные о 5079 туманностях и звёздных скоплениях. Дополненный позже датским астрономом Дж. Дрейером как «Новый общий каталог туманностей и звёздных скоплений» (1888), он до сих пор остаётся самым употребимым и обозначается как NGC (New General Catalogue).

Джон Гершель внёс значительный вклад в фотографию. Ещё в 1819 г. он открыл способность тиосульфата натрия растворять соли серебра. Через 20 лет независимо от Уильяма Тальбота он предложил процесс фотографии на очувствленной бумаге. Гершель ввёл в фотографию термины «позитив» и «негатив». Он изучал цветовое зрение и химическое действие ультрафиолетовых лучей, ввёл в астрономию систему юлианских дней. На мысе Доброй Надежды создал систему на-

родного образования в Капской колонии. В 1842 г. стал почётным ректором Абердинского университета. Член Лондонского королевского общества. Его «Предварительные рассуждения об изучении натуральной философии» (1830) были переведены на многие языки. В последние годы жизни Гершель написал популярные книги по физической географии и метеорологии. Как и сэр Исаак Ньютон, он был директором Монетного двора с 1850 по 1855 г. Похоронен рядом с Ньютоном в Вестминстерском аббатстве.

ГЕРШЕЛЬ, Каролина Лукреция (Herschel, Caroline Lucretia) (16.03.1750, Ганновер, Германия, – 9.01.1848, Ганновер, Германия) – английский астроном немецкого происхождения, сестра и помощница Вильяма Гершеля. Первые 22 года жизни Каролина Гершель провела дома, в Ганновере, получая домашнее образование, и помогала матери вести хозяйство. В 1772 г. она переехала к брату Вильяму в курортный город Бат на юге Англии, где Вильям к тому времени уже осел и получил место учителя музыки. Там Каролина тоже занялась музыкой и выступала как певица.

С первых дней жизни в Бате Каролина не только вела хозяйство брата, но и помогала ему в сооружении собственного телескопа, который был изготовлен в марте 1774 г., и тогда же начались первые наблюдения. Каролина и позже занималась шлифовкой зеркал для телескопов. Успехи в астрономических наблюдениях и особенно громкая слава, которая пришла к Вильяму Гершелю после открытия им Урана, привели к тому, что король Георг III назначил его придворным астрономом. Поэтому в 1782 г. брат и сестра дали своё последнее музыкальное представление и переехали в г. Слоу, в дом, который они называли домом-обсерваторией.

Интерес Каролины к астрономическим наблюдениям постепенно рос. Продолжая помогать брату, она начала и свои собственные наблюдения, буквально прочёсывая небо при помощи небольшого ньютоновского рефлектора в поисках новых объектов. В 1783 г. она открыла три новые туманности. Под руководством брата Каролина изучила основы математики и затем самостоятельно обрабатывала свои и его наблюдения. В 1787 г. король назначил ей ежегодный пенсион в размере 50 фунтов стерлингов как ассистенту В. Гершеля.

Особенно увлекал Каролину поиск комет: за 11 лет, с 1786 по 1797 г. она открыла 8 комет; а в 1805 г. – ещё одну комету. Самой известной среди них стала периодическая комета 35P/ К. Гершель – Риголле. Кроме этого Каролина открыла 14 новых туманностей. В 1798 г. она представила Королевскому астрономическому обществу указатель наблюдений Джона Флемстида со списком погрешностей и новый дополнительный каталог, состоящий из 560 звёзд, пропущенных Флемстидом.

После смерти брата в 1822 г. Каролина вернулась в Ганновер, где к 1828 г. завершила подготовку к печати каталога звёздных скоплений и туманностей (свыше 2500 объектов), открытых и изученных сэром Вильямом Гершелем. В том же 1828 г., когда ей было уже 77 лет, Лондонское Королевское астрономическое общество наградило её Золотой медалью, а в 1835 г. избрало своим почётным членом. В 1838 г. она стала почётным членом Ирландского Королевского общества. Каролина написала воспоминания о совместной работе с братом и живо интересовалась работой своего племянника Джона Гершеля, продолжившего дело отца. Вильяма.

Дожила Каролина до глубокой старости, заслужив всеобщее уважение и восхищение как в среде учёных, так и среди прочих культурных и любознательных людей. Незадолго до смерти её труды наконец оценила и родная Германия, наградив её в 1846 г. Прусской золотой медалью за науку. Имя Каролины Гершель занесено на карту Луны.

ГИАДЫ – рассеянное звёздное скопление, расположенное близко к Солнцу (130 св. лет), содержащее 132 звезды ярче 9-й звёздной величины и ещё 259 более слабых возможных членов. Из-за близости к нам скопление имеет угловой диаметр 20°. Основная его часть наблюдается в созвездии Телец. На восточном краю Гиад расположена не относящаяся к ним яркая оранжевая звезда Альдебаран (α Тельца). Согласно одному из мифов, Гиады – дочери Атласа и Эфры; в таком случае они приходятся сводными сёстрами Плеядам.

ГИГАНТ – звезда значительно большей светимости и размера, чем у большинства звёзд того же спектрального класса. На диаграмме Герцшпрунга–Рассела большинство звёзд принадлежит главной последовательности, а звёзды-гиганты, уже покинувшие главную последовательность и движущиеся вдоль «ветви гигантов», приближаются к концу своей эволюции, увеличивая при этом свой радиус и светимость, уменьшая при этом температуру своей поверхности. Особенно велико различие в размерах и светимостях между красными гигантами и красными карликами, населяющими нижнюю часть главной последовательности (спектральные классы К и М). Тогда как красные карлики в несколько раз меньше Солнца и светят в сотни раз слабее его, красные гиганты в десятки раз больше Солнца и светят в сотни раз сильнее. Звёзды ещё большей светимости и размера называют сверхгигантами.

ГИГАНТСКИЙ РАДИОТЕЛЕСКОП МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА (Giant Metrewave Radio Telescope, GMRT) – радиоинтерферометр, включающий тридцать 45-метровых параболических антенн, расположенный в Национальном радиоастрофизическом центре, близ г. Наряингаон, область Пуны, штат Махараштра, Западная Индия. Наблюдения в диапазоне 50–1500 МГц ведутся с 1995 г. На частоте излучения нейтрального водорода (1420 МГц, λ = 21 см) достигается угловое разрешения в 1″.

ГИД – небольшой вспомогательный телескоп (обычно рефрактор) с маленьким полем зрения (несколько минут дуги), закреплённый параллельно трубе основного телескопа и служащий для наведения на объект и последующего гидирования (ведения) телескопа за объектом.

ГИДРА – крупнейшее среди всех созвездий, протянувшееся в экваториальной области неба от Рака на западе до Весов на востоке. Компактная группа из шести звёзд под Раком – это «голова» Гидры. Ярчайшую из звёзд этого «водяного чудовища» (α Hya) арабы называли Альфард, что значит «одинокая», поскольку вблизи неё нет ярких звёзд. Её также часто называют Сердцем Гидры (Cor Hydrae) или Сердцем Большого Змия. В «хвосте змея» располагается красный гигант R Hya – долгопериодическая переменная, которую обнаружил Дж. Моральди в 1704 г. В те годы период изменения её блеска (от $3{,}5^m$ до 9^m) составлял около 500 сут, но к настоящему времени он сократился до 389 суток. Такие переменные звёзды астрономы причисляют к классу «мирид», названному так в честь звезды Мира в созвездии Кита. Чрезвычайно красная переменная звезда V Hya относится к редкому типу углеродных звёзд: это красный гигант, в атмосфере которого конденсируется углерод. Представляют интерес рассеянное скопление M48, шаровое скопление M68, спиральная галактика M83 и планетарная туманность NGC 3242 по прозвищу «Призрак Юпитера».

ГИДРА (Pluto III, Hydra) – один из естественных спутников планеты-карлика Плутон. Открыт в июне 2005 г. с помощью космического телескопа «Хаббл». Большая полуось орбиты 64 749 км. Орбитальный период 38,206 сут. Эксцентриситет орбиты 0,005. Наклонение орбиты к экватору Плутона 0,21°. Таким образом, орбитальное движение происходит в сторону вращения Плутона, но в обратном направлении относительно движения планет Солнечной системы. Средний диаметр Гидры от 60 до 168 км. Видимый блеск около $23{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 3″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ГИДРОСФЕРА – водная оболочка планеты.

ГИДРОМАГНИТНОЕ ДИНАМО (динамоэффект) — самовозбуждение и поддержание в стационарном состоянии магнитных полей вследствие движения проводящей жидкости или газовой плазмы. Механизм подобен генерации электрического тока и магнитного поля в динамомашине с самовозбуждением. С динамоэффектом связывают происхождение собственных магнитных полей Солнца, Земли, звёзд и других небесных тел, а также их локальные поля, например поля пятен и активных областей на поверхности звёзд.

ГИМАЛИЯ (J VI, Himalia) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Ч. Перрайн (1904). Большая полуось орбиты 11 460 тыс. км. Орбитальный период 250,56 сут. Эксцентриситет орбиты 0,16. Средняя орбитальная скорость 3,3 км/с. Наклонение орбиты к эклиптике 27,50°. Масса $6 \cdot 10^{18}$ кг. Диаметр 170 км. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 0,062 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 100 м/с. Период вращения 7,78 часа. Альбедо около 4%. Блеск $14{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1° 12′ 04″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ГИПАТИЯ (Hypatia) (ок. 370, Александрия, Египет, — 415) — античный математик, астроном и философ, первая среди великих женщин-учёных. Дочь математика Теона Младшего (Александрийского), преподававшего в высшей школе при Александрийской библиотеке. Гипатия много путешествовала и вела переписку с просвещёнными людьми Средиземноморья. Кое-что из этой переписки сохранилось. Гипатия преподавала в Александрийской школе. Стала признанным лидером философской школы неоплатоников, и её красноречие, скромность и красота в сочетании с умом и знаниями привлекали в эту школу многих учеников. Письма, адресованные в Александрию просто «философу», вручались именно Гипатии.

Ей приписывают авторство трёх трактатов по геометрии и алгебре и одного по астрономии, которые до нас не дошли; перечень её сочинений приведён в византийской энциклопедии X в. — словаре Свиды (Suda lexicon). Среди её математических сочинений, вероятно, были комментарии к «Арифметике» Диофанта Александрийского (III в.) и «Коническим сечениям» Аполлония Пергского (II в. до н. э.). Полагают, что третья книга «Альмагеста» Клавдия Птолемея (II в.) была прокомментирована Теоном Александрийским совместно с Гипатией. Утверждается также, что она изобрела или усовершенствовала некоторые научные инструменты: прибор для получения дистиллированной воды, прибор для измерения плотности воды, астролябию и планисферу (плоскую подвижную карту неба).

Гипатия была одной из самых романтических фигур в науке. Она не приняла христианства и стала жертвой религиозных фанатиков. Ей приписывают слова о том, что все официальные, догматические религии ошибочны, и уважающий себя человек не может принять их как последнюю истину и должен оставить за собой право размышлять: «Лучше думать и делать ошибки, чем не думать вообще. Самое страшное — это преподносить суеверие как истину». Такие высказывания не могли не вызвать ненависти со стороны христиан, тем более что Гипатия была символом знаний и науки, которые отождествлялись христианами того времени с язычеством.

Смерть Гипатии была страшной: её растерзала толпа фанатичных христиан; согласно некоторым источникам, её вытащили из аудитории и исполосовали до смерти устричными раковинами. Некоторые авторы считают её смерть политическим убийством. Гипатия оказалась в центре борьбы Александрийского епископа Кирилла с гражданским правителем города Орестосом, на стороне которого была Гипатия. Её влияние на людей было велико и подрывало авторитет Кирилла. Он начал с ней бороться и в конце концов убил её руками своих приверженцев — фанатичных христиан. Какова бы ни была причина убийства Гипатии, вскоре после этого многие из её учеников покинули город, и это стало началом упадка Александрии как научного центра. Имя Гипатии занесено на карту Луны.

ГИПЕРБОЛОИД — поверхность, образуемая вращением гиперболы вокруг оси. Зеркала с гиперболической (точнее, гиперболоидной) формой поверхности используются как вторичные в телескопах системы Кассегрена, как главные и вторичные — в телескопах системы Ричи—Кретьена, а также в рентгеновских телескопах косого (скользящего) падения.

ГИПЕРГИГАНТ (англ. *hypergiant*) — звезда экстремально высокой светимости, имеющая абсолютную звёздную величину M_V от $-8{,}0^m$ до $-9{,}5^m$ (т. е. светимость в сотни тысяч раз выше солнечной). Прежде такие звёзды называли «сверхсверхгигантами». На диаграмме Герцшпрунга—Рассела их последовательность обозначена классом светимости Ia$^+$, или Ia-0, или просто 0. Гипергиганты — редчайшие звёзды: в нашей Галактике известно не более дюжины таких объектов, хотя обнаруживаются они на очень больших расстояниях. Примеры гипергигантов: P Лебедя (P Cyg, спектральный класс B1 Ia-0), ρ Кассиопеи (ρ Cas, G2 Ia-0), Cyg OB2-12 (B5 Ia-0), 6 Cas (A2,5 Ia-0). По своим свойствам они близки к ярким голубым переменным (LBV) звёздам типа S Золотой Рыбы (S Dor), расположенной в Большом Магеллановом Облаке.

Гипергиганты — наиболее массивные среди звёзд: их массы превышают 25–30 $M_\odot$ и доходят по 100–150 $M_\odot$. При массах более 100 $M_\odot$ они попадают на границу неустойчивости, что приводит к крупномасштабным колебаниям атмосферы, чрезмерной потере массы и формированию обширных околозвёздных оболочек. Светимость гипергигантов близка к модифицированному эддингтоновскому пределу. Для этих звёзд характерна переменность блеска и очень интенсивный звёздный ветер. Например, у звезды 6 Cas при скорости ветра около 200 км/с поток газа достигает 10^{-6} $M_\odot$/год, а у звезды IRC+10420 скорость ветра 50 км/с при потоке $5 \cdot 10^{-4}$ $M_\odot$/год. Столь плотный (и непрозрачный) звёздный ветер может приводить к появлению холодной «псевдофотосферы»; при этом довольно горячая звезда может выглядеть как красный сверхгигант вплоть до спектрального класса M. Такие звёзды в шутку называют «самозванцами диаграммы ГР». Их оптическая переменность, вероятно, в основном вызвана неоднородностью звёздного ветра. В случае особо сильного потока вещества звезда окружает себя почти неподвижной и непрозрачной газово-пылевой оболочкой, как у звезды η Киля (η Car).

Полное время жизни столь массивных звёзд не превышает 3–5 млн лет. Те звёзды, которые мы видим на стадии гипергиганта, уже покинули главную последовательность; до конца эволюции им остаётся порядка 10^5 лет, а затем они должны взорваться как сверхновые. Согласно теории, после этого от них остаётся только чёрная дыра.

ГИПЕРИОН (S VII, Hyperion) — естественный спутник Сатурна. Был открыт 16 сентября 1848 г. одновременно американскими астрономами У. К. Бондом, Дж. Ф. Бондом и английским астрономом У. Ласселлем. Этот спутник обладает многими уникальными чертами.

Большая полуось орбиты Гипериона 1481 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 21,276 сут. Эксцентриситет орбиты 0,123. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,43°. Размеры 360×266×205 км. Масса $0{,}562 \cdot 10^{19}$ кг. Средняя плотность 0,54 г/см^3. Столь низкая средняя плотность согласуется и с удивительным внешним видом спутника: его поверхность ноздреватая, пористая, как у морской губки. Альбедо 0,3. Видимый блеск $14{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 3′ 57″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности 93 К. Ускорение свободного падения у поверхности около 2 см/с^2. Вторая косми-

ческая скорость у поверхности 45–99 м/с (зависит от места на поверхности).

Гиперион — единственный из регулярных спутников в Солнечной системе, чьё суточное вращение не синхронизовано с орбитальным. Более того, у него хаотическое суточное вращение: направление оси вращения меняется непредсказуемо. Причина, вероятно, в том, что он имеет весьма неправильную форму и заметный эксцентриситет орбиты, что усложняет его приливное взаимодействие с Сатурном. Кроме того, заметное влияние на него оказывает Титан, поскольку между орбитальными периодами Титана и Гипериона существует резонанс 3:4.

ГИПЕРНОВАЯ (англ. *hypernova*) — наиболее грандиозный тип взрыва массивной звезды, знаменующий рождение чёрной дыры и ответственный за космические гамма-всплески. Существование гипернов пока остаётся гипотезой. Оптические вспышки, связанные с гамма-всплесками, выглядят значительно ярче обычных сверхновых. Поэтому либо энергия таких взрывов существенно превосходит энергию сверхновых, либо она излучается не изотропно, а направленно, в виде узкого луча, что не характерно для обычных сверхновых.

ГИПЕРСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ — различные процедуры, применяемые для повышения световой чувствительности фотографической эмульсии. Гиперсенсибилизация постепенно утрачивает своё значение по причине всё более широкого использования ПЗС-приёмников, имеющих значительно более высокую чувствительность по сравнению с фотоэмульсией. Теоретические основы эффекта повышения чувствительности фотоэмульсии разработаны недостаточно, многое в этой области до сих пор остаётся загадкой. Среди множества способов, с успехом применяемых для гиперсенсибилизации, можно упомянуть прогрев фотоэмульсии в сухой атмосфере в течение нескольких десятков часов при температуре от 50 до 75 °С; выдерживание фотоэмульсии в азотной или азотно-водородной атмосфере (форминг-газ); помещение фотоэмульсии в вакуум. Для инфракрасных эмульсий используется погружение в воду или в сжиженный аммиак.

ГИПЕРСКОРОСТНЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые из-за взаимодействия с массивной центральной чёрной дырой выбрасываются из центра галактики с огромной скоростью, порядка 1000 км/с. Впервые о существовании таких звёзд (hypervelocity stars, HVS) было упомянуто в 1988 г. Компьютерные модели показывают, что сверхскоростные звёзды должны быть естественным результатом слишком тесного прохода двойной звезды близ сверхмассивной чёрной дыры. Именно такая чёрная дыра расположена в центре нашей Галактики. Когда двойная звезда оказывается вблизи центральной чёрной дыры, то мощная гравитация может разорвать двойную систему. При этом чёрная дыра «проглатывает» одну из звёзд, а вторую выбрасывает с огромной скоростью наружу.

Первая гиперскоростная звезда была открыта в 2005 г. с помощью Многозеркального телескопа MMT в Аризоне. Это звезда SDSS J090745.0+024507, удалённая от нас на 71 кпк и летящая сквозь гало Галактики со скоростью 850 км/с; это вдвое больше скорости отрыва, минимально необходимой для вылета из Галактики. Затем европейские астрономы открыли ещё две такие звезды, одна из которых (SDSS J091301.00+305120.0), возможно, вылетела из соседней галактики Большое Магелланово Облако. Следом были открыты ещё два таких же объекта: звезда SDSS J091301.0+305120 удалена от нас на 74 кпк и движется от центра Галактики со скоростью около 556 км/с, а звезда SDSS J091759.5+672238 удалена на 55 кпк и летит со скоростью 639 км/с. Всего к концу 2011 г. было обнаружено 10 гиперскоростных звёзд, из них 9 — по результатам обзора SDSS.

По оценкам теоретиков, гиперскоростные звёзды должны выбрасываться из центра Галактики в среднем раз в 100 тыс. лет. Постоянно в объёме Галактики должно быть около 1000 гиперскоростных звёзд, однако обнаружить их на фоне 100 млрд «медленных» звёзд Галактики не так просто. Тем не менее эти поиски продолжаются, поскольку звёзды, вылетевшие из окрестности центральной чёрной дыры, могут кое-что рассказать нам о ней, а также могут оказаться полезными реперами для изучения тёмного гало Галактики.

ГИППАРКОС (HIPPARCOS — High Precision PARallax COllecting Satellite) — астрометрический искусственный спутник Земли, созданный Европейским космическим агентством, работавший на орбите с 1989 по 1993 г. На борту спутника был телескоп Шмидта диаметром 29 см, измерявший положения и блеск звёзд. По результатам этих измерений создан Каталог HIPPARCOS, включающий координаты, геометрические параллаксы, собственные движения и блеск около 118 220 звёзд. Погрешность данных каталога около 0,001″.

ГИППАРХ (Hipparchos или Hipparchus) (вероятно до 161 г., Никея, — ок. 126 до н. э.) — греческий астроном. Некоторое время жил в Александрии (Египет), но основная деятельность связана с о. Родос. Сохранилась лишь наименее важная из его работ — «Комментарий к Феноменам Евдокса и Арата». Но известно, что кроме неё он написал критический обзор географии Эратосфена, тригонометрическую работу о хордах круга, астрономическую работу о восходе знаков зодиака, составил звёздный каталог, исследовал длину года и написал физический трактат «О телах, движимых вниз весом». Эти работы не дошли до нас; о них известно лишь по ссылкам Птолемея и других авторов.

Гиппарх внес фундаментальный вклад в астрономию. Основываясь, видимо, на вавилонских наблюдениях, с высокой точностью определил длину тропического года; довольно точно измерил прецессию равноденствия, которая проявляется в медленном изменении эклиптической долготы звёзд и, по его данным, составляет 45–46″ в год (современное значение 50,26″/год). В его каталоге указаны положения и относительная яркость более 800 звёзд.

Гиппарх пытался построить эпициклическую модель движения Солнца и Луны, удовлетворяющую наблюдениям. Хотя он, без сомнения, знал об изменении лунного эпицикла в течение орбитального периода, так называемые неравенства лунного движения были найдены лишь Птолемеем. Гиппарх также не объяснял движения планет, как это иногда утверждается, а оставил решение и этой проблемы Птолемею. С другой стороны, работа Гиппарха о хордах окружности стала отправной точкой для развития хордовой тригонометрии, игравшей важную роль в греческой и мусульманской астрономии.

О физических работах Гиппарха известно мало. В трактате о падающих телах он утверждает, что их ускорение можно объяснить тем, что сила веса постепенно разрушает ту силу сопротивления, которая присутствует в теле как наследие от его движения до начала падения. Эта антиаристотелевская мысль была подхвачена в VI в. неоплатоником Джоном Филопонусом и через ряд концепций, предшествовавших понятию об импульсе, привела к галилеевскому impeto и ньютонову «количеству движения».

ГИРРОККИН (S XLIV, Hyrrokkin) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2004 г. Большая полуось орбиты 18,168 млн км. Орбитальный период 914,292 сут. Эксцентриситет орбиты 0,36. Наклонение орбиты к эклиптике 153,3°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 8 км. Видимый блеск $23{,}4^{m}$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°06′10″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

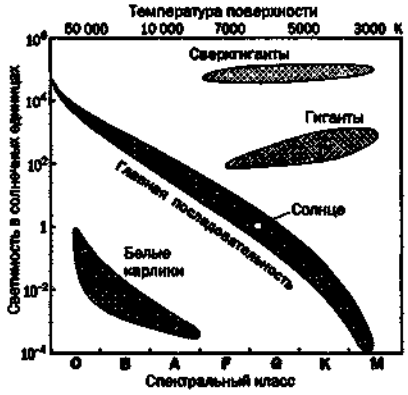
ГЛАВНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ — основная группировка звёзд в виде диагональной полосы на диаграмме «спектральный класс — светимость» или «тем-

пература поверхности – светимость» (диаграмма Герцшпрунга–Рассела). Эта полоса проходит от ярких и горячих звёзд в верхнем левом углу диаграммы к тусклым и относительно холодным звёздам в её нижнем правом углу. Вдоль этой последовательности концентрируется большинство звёзд, поскольку соответствующие ей физические условия отвечают самому длительному этапу в их эволюции, на котором в ядре звезды протекают термоядерные реакции с участием водорода (в основном реакция синтеза гелия из водорода). Типичной звездой главной последовательности является Солнце.

Положение звёзд на диаграмме Герцшпрунга–Рассела зависит от их массы, химического состава и процессов выделения энергии в недрах. Звёзды на главной последовательности имеют одинаковый источник энергии – термоядерное горение водорода. Поэтому их светимость и температура (т. е. положение на главной последовательности) определяются главным образом массой: самые массивные звёзды ($M \approx 50$–$100\ M_\odot$) располагаются в верхней части главной последовательности, а с продвижением вдоль этой последовательности вниз массы звёзд убывают до $M \approx 0{,}08\ M_\odot$. Для большинства звёзд главной последовательности выполняется соотношение между массой, радиусом и светимостью: $L \propto M^4 \propto R^5$. Но у звёзд малой и большой массы $L \propto M^3$, а у самых массивных $L \propto M$.

На главную последовательность звёзды попадают после стадии гравитационного сжатия, приводящего к появлению в недрах звезды термоядерного источника энергии. Начало стадии главной последовательности определяется как момент, когда потери энергии химически однородной звезды на излучение полностью компенсируются выделением энергии в термоядерных реакциях. Звёзды в этот момент находятся на левой («горячей») границе главной последовательности, именуемой начальной главной последовательностью, или главной последовательностью нулевого возраста. Окончание стадии главной последовательности соответствует образованию у звезды однородного гелиевого ядра, после чего звезда уходит с главной последовательности и становится гигантом.

Разброс звёзд на наблюдаемой главной последовательности обусловлен, кроме эффектов эволюции, различиями в начальном химическом составе, вращением и возможной двойственностью звезды. У звёзд с $M \leq 0{,}08\ M_\odot$ время гравитационного сжатия превышает время жизни Галактики, и поэтому они не достигли главной последовательности и находятся несколько правее неё. У звёзд с массами $M \leq 0{,}8 M_\odot$ стадия термоядерного горения водорода столь продолжительна, что они за время жизни Галактики не успе-



Основные классы светимости звёзд на диаграмме Герцшпрунга–Рассела

ли покинуть главную последовательность. У более массивных звёзд время жизни на главной последовательности составляет ≈90% всего времени их эволюции. Именно этим объясняется преимущественная концентрация звёзд в области главной последовательности.

Анализ главной последовательности играет особенно важную роль при исследовании звёздных групп и скоплений, так как по мере увеличения их возраста точка, в которой главная последовательность скопления начинает заметно отклоняться от начальной главной последовательности, смещается в область меньших светимостей и температур поверхности звёзд; поэтому положение точки поворота главной последовательности может служить индикатором возраста звёздного скопления.

По двумерной спектральной классификации звёздам главной последовательности приписывается класс светимости V, но для некоторых спектральных классов звёзды классов светимости IV и III также находятся в полосе главной последовательности.

ГЛАВНОЕ ЗЕРКАЛО – объектив в телескопе-рефлекторе. (Иногда говорят «первичное зеркало», но это непрофессионально.) Основное назначение главного зеркала – собрать свет и сконцентрировать его в фокусе телескопа. Большинство систем телескопов имеет главное зеркало параболической формы. Однако в телескопе Ричи–Кретьена главное зеркало имеет форму гиперболоида вращения, а в камерах Шмидта и Максутова – сферическую форму.

ГЛАВНЫЙ ЛЕПЕСТОК – угловой сектор, ориентированный в направлении наибольшей чувствительности антенны или радиотелескопа. На полярной диаграмме главному лепестку соответствует замкнутая кривая максимального размера. Главный лепесток является эквивалентом диска Эри в оптических телескопах. А эквивалентом оптических дифракционных колец, окружающих диск Эри, в радиотехнике служат боковые лепестки антенны.

ГЛАВНЫЙ ФОКУС – фокус объектива телескопа. У рефлекторов – фокус главного зеркала. Синонимы – первичный фокус, прямой фокус.

ГЛАЗЕНАП, Сергей Павлович (25.09.1848, с. Павловское близ г. Вышний Волочок, Тверской обл., Россия, – 12.04.1937, Ленинград, СССР) – русский астроном. В 1870 г. окончил Петербургский университет. В 1870–1878 гг. работал в Пулковской обсерватории, в 1876–1924 гг. – в Санкт-Петербургском (Петроградском) университете (с 1889 г. профессор). Почётный член АН СССР (1929), Герой Труда (1932).

Исследовал двойные и переменные звёзды, движение спутников Юпитера, рефракцию света в земной атмосфере. Исходя из сравнения наблюдений затмений спутников Юпитера с соответствующими таблицами, рассмотрел вопрос о точности определения коэффициента аберрации, вывел поправки к таблицам. Исследовал влияние неконцентричности атмосферных слоёв равной плотности на рефракцию, обнаружил существование периодичности в рефракционных уклонениях, рассмотрел влияние этой периодичности на параллаксы и аберрацию звёзд; заново определил параллаксы звёзд Вега, Капелла и 61 Лебедя. Предложил удобный способ определения орбит двойных звёзд и вычислил большое число этих орбит, выполнил несколько тысяч наблюдений двойных и переменных звёзд.

Проводил большую популяризаторскую и организационную работу. В 1881 г. по его инициативе и под его руководством была построена обсерватория Санкт-Петербургского университета. В 1887 г. возглавлял экспедицию в Ярославскую губернию по наблюдению полного солнечного затмения. Является пионером в организации астрономических наблюдений в благоприятных астроклиматических условиях Крыма и Кавказа: создал временную обсерваторию в Абастумани (её развалины сохранились), наблюдая на которой двойные звёзды обнаружил замечательные астроклиматические условия в этом месте. Впоследствии, в 1932 г., рядом с «башней Глазенапа» была основана Астрофизическая обсерватория АН ГССР (ныне Абастуманская астрофизическая обсерватория АН Грузии).

Глазенап написал пользовавшиеся широкой известностью учебники для школы, занимался составлением вспомогательных математических и астрономических таблиц. Один из организаторов Русского астрономического общества (1890) и его председатель (1893–1905), почётный член многих научных обществ. Он автор ряда научно-популярных книг по астроно-

мии, в том числе выдержавшей три издания «Друзьям и любителям астрономии». Удостоен премии Парижской АН за работы по двойным звёздам. Почётный член многих отечественных и зарубежных научных обществ.

ГЛАЗНАЯ ЛИНЗА — линза в окуляре, ближайшая к глазу наблюдателя. См. также *Линза поля*.

ГЛИТЧ — внезапное сильное нарушение обычно однородной последовательности событий. Слово происходит от англ. *glitch* — сбой, внезапный отказ. Примером глитча служит резкое увеличение частоты импульсов, наблюдаемое у некоторых радиопульсаров.

ГЛОБУЛЫ — небольшие непрозрачные в оптическом диапазоне спектра газово-пылевые межзвёздные облака, которые на более светлом фоне Млечного Пути выглядят как тёмные бесформенные пятна. Глобулы небольшого углового размера обычно видны на фоне светлых туманностей. Близкая глобула — Угольный Мешок, видна невооружённым глазом на фоне ярких звёздных облаков Млечного Пути. Состоят из молекулярного водорода (H_2) и гелия с примесью молекул других газов и твёрдых пылинок при температуре 10–50 К. Тёмный цвет глобул обусловлен тем, что присутствующая в них пыль полностью поглощает свет лежащих за ними звёзд и ярких туманностей. Глобулы являются уплотнениями в протяжённых туманностях (обычно в зонах HII). Границы глобул всегда резко очерчены, чаще всего светящимися ободками (римами). Наиболее массивные глобулы могут быть местами зарождения звёзд.

Размеры типичных глобул — от долей парсека до нескольких парсеков. Плотность вещества в них можно оценить, предполагая, что давление более холодного газа в глобуле уравновешено давлением окружающего горячего газа. Концентрация частиц в типичных глобулах ~10^4–10^6 см$^{-3}$. Массы глобул ~1–100 $M_\odot$. Глобулы часто располагаются в вершинах тёмных конусов («слоновых хоботов»), обращённых, как правило, остриём к центру материнской туманности. Накопление вещества в «слоновых хоботах» может быть следствием магнитно-гравитационной неустойчивости (неустойчивость Рэлея–Тейлора). Газ медленно, с характерными скоростями порядка долей км/с, стекает к центру туманности, при этом максимальная плотность достигается в вершине конуса, т. е. в глобуле. Если в окружающей туманности имеются горячие звёзды, ионизующие газ, то внешнее давление горячего газа сжимает глобулу. Конденсация вещества в глобулах при дополнительном внешнем сжатии может привести к образованию в них молодых звёзд. Действительно, в некоторых глобулах наблюдаются молодые звёзды типа Т Тельца и объекты Хербига–Аро, которые принято считать индикаторами областей, где происходит звёздообразование.

ГЛУБИНА РЕЗКОСТИ — диапазон расстояний от оптической системы до наблюдаемого объекта, в пределах которого чёткость его изображения (фокусировка) остаётся в приемлемых пределах. Большинство объективов фото- и видеокамер имеют переменную диафрагму, изменяющую относительный фокус, следовательно, и глубину резкости. Чем меньше относительный фокус (т. е. чем больше апертура), тем меньше глубина резкости, поэтому сужение диафрагмы увеличивает глубину резкости данного объектива.

ГЛЮОН — квант поля ядерных сил; частица, передающая сильное ядерное взаимодействие.

ГНОМОН — древнейший астрономический прибор, представляющий собой вертикальный шест. Отбрасываемая им на горизонтальную поверхность земли тень позволяет определить направление север–юг. В полдень по местному времени тень гномона от Солнца, находящегося (в Северном полушарии) на юге и в верхней кульминации, направлена на север и имеет минимальную в этот день длину. Гномон был прототипом солнечных часов. Сейчас гномоном называют вертикальную деталь солнечных часов, отбрасывающую тень — указатель на циферблат.

ГНУТИЕ — изгиб конструкции или её элемента под воздействием силы тяжести или иных внешних нагрузок. У оптических инструментов гнутие может приводить к смещению оптических элементов из расчётных положений и соответственно к появлению заметных аберраций изображения. Небольшие инструменты можно изготовить достаточно жёсткими, снизив влияние гнутия до пренебрежимо малой величины. Крупные инструменты — как оптические телескопы, так и радиотелескопы с параболическими антеннами — в той или иной степени подвержены влиянию гнутия, поэтому для них применяют специальные конструкции с возможностью коррекции или компенсации эффектов гнутия. (*См. Ферма Серрюрье; Гомологически трансформируемая конструкция.*)

ГОД, АНОМАЛИСТИЧЕСКИЙ — время, необходимое Земле для одного оборота вокруг Солнца, который начинается и заканчивается в точке перигелия земной орбиты; равен 365,2596 сут.

ГОД, БЕССЕЛЕВ (англ. *Besselian year*) — период одного полного оборота по прямому восхождению среднего солнца, определённый Саймоном Ньюкомом (1835–1909). Начало бесселева года традиционно использовалось при указании начальной эпохи, что отмечается префиксом «B» и суффиксом «.0», например B1950.0. Начиная с 1984 г. стандартные эпохи связывают с началом не бесселева, а юлианского года, например J2000.0.

ГОД, ВИСОКОСНЫЙ — год, содержащий 366 солнечных суток; устанавливается путём введения даты «29 февраля» в те года, номера которых делятся на 4 (например 1996, 2004, 2008 и 2012 гг. были високосными). Если же данным годом заканчивается столетие (например, 1800, 1900, 2000), то високосным он считается лишь в том случае, если делится на 400 (так, 2000 г. был високосным). Название «високосный» связано с тем, что в Древнем Риме в качестве добавочного 366-го дня года дублировался 6-й день мартовских календ (за 6 дней до 1 марта), называвшийся *bi-sextus*, т. е. второе шестое. Остальные календарные годы, содержащие по 365 дней, называют простыми, или невисокосными.

ГОД, ГАЛАКТИЧЕСКИЙ — период обращения Солнца вокруг центра Галактики. Эта мера времени обычно употребляется в научно-популярной, а не в научной литературе, поскольку значение её пока известно неточно. Полагая, что Солнце движется по круговой орбите на расстоянии 8 кпк от центра Галактики со скоростью 220 км/с, формально получают продолжительность галактического года 223 млн лет. Но нужно помнить, что исходные величины измерены пока с невысокой точностью, поэтому ошибка в длине галактического года составляет не менее 10%.

ГОД, ДРАКОНИЧЕСКИЙ — интервал времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через восходящий узел лунной орбиты на эклиптике; равен 346,620 сут.

ГОД, ЗВЁЗДНЫЙ — период обращения Земли вокруг Солнца относительно звёзд, или промежуток времени, за который для земного наблюдателя Солнце возвращается в ту же точку неба относительно звёзд. Звёздный год равен 365,2564 средним солнечным суткам, т. е. на 20 мин 04 с длиннее, чем обычный тропический год. См. *Год, сидерический.*

ГОД, КАЛЕНДАРНЫЙ — интервал времени, близкий к тропическому году, но из соображений удобства гражданского календаря содержащий целое число суток. В юлианском и григорианском календарях используют два типа календарного года: простой (365 сут) и високосный (366 сут), которые чередуются по опре-

делённым правилам. При этом средний юлианский год содержит ровно 365,25 сут, а средний григорианский год – ровно 365,2425 сут.

ГОД, ЛУННЫЙ – 12 лунных синодических месяцев, в среднем 354,367 сут.

ГОД, СИДЕРИЧЕСКИЙ, или **звёздный**, – время, необходимое Земле для одного оборота вокруг Солнца, который начинается и заканчивается на линии, проведённой из центра Солнца в фиксированном направлении на небесной сфере; равен 365,2564 сут.

ГОД, ТРОПИЧЕСКИЙ – интервал времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через текущую точку весеннего равноденствия; равен 365,242190 сут. Тропический год длиннее бесселева года на $0{,}148^s \times T$, где T – число столетий с B1900.0. Основой календаря служит именно тропический год.

ГОД, ЮЛИАНСКИЙ – период в 365,25 сут по 86 400 секунд СИ, служащий основой юлианского календаря. Обозначается верхним символом «а» справа от числа (например, 50^a).

ГОДИЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС – угол, под которым от космического объекта, расположенного вдали от Солнечной системы, видна большая полуось земной орбиты. Земной наблюдатель может измерить этот угол, регистрируя в течение года видимое положение космического объекта на фоне значительно более далёких объектов. Из-за годичного смещения Земли по орбите положение наблюдаемого объекта также изменяется, описывая на небе эллипс, аналогичный тому, какой от наблюдаемого объекта представляется орбита Земли. Измерив параллакс (p) и зная размер земной орбиты (a), легко вычислить расстояние до объекта: $D = a/\mathrm{tg}\, p$. Годичные параллаксы всех объектов, начиная от ближайших звёзд и далее, очень малы – меньше 1″. Выраженные в радианах (1 рад ≈ 206 265″), они практически равны значениям их тангенсов, поэтому с высокой точностью можно полагать $D = a/p = 1$ а.е. $/p$. Таким образом, годичный параллакс служит удобной мерой расстояния и основанием для введения специальной единицы расстояния – парсек (пк). При $p = 1''$ расстояние $D = 1$ пк = 206 265 а. е. См. также *Параллакс* и *Парсек*.

ГОЛАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ – пространственно-временная сингулярность, не окружённая горизонтом событий.

ГОЛД, Томас (Gold, Thomas) (22.05.1920, Вена, Австрия, – 22.06.2004, Итака, шт. Нью-Йорк, США) – английский и американский астрофизик, биофизик, инженер. Учился в Кембриджском университете (Англия). Был одним из авторов (вместе с Х. Бонди и Ф. Хойлом) теории стационарной Вселенной (1948). Первым предложил (1968) модель радиопульсара как вращающейся нейтронной звезды. Исследовал планеты, космические лучи, квазары.

«ГОЛУБАЯ ЛУНА» – в наше время в западных странах так называют второе полнолуние в течение одного календарного месяца. Подобное событие происходит приблизительно раз в три года. Последние из недавних «голубых лун» были в июле 2004 г., мае 2007 г. и декабре 2009 г. Следующие попадают на август 2012 г. и июль 2015 г. Согласно более старому, традиционному определению, «голубая луна» – третье полнолуние в течение сезона (зимы, весны, лета или осени), на который приходится четыре полнолуния. На основании такого определения последние «голубые луны» были в мае 2008 г. и ноябре 2010 г., а ближайшие приходятся на август 2013 г. и май 2016 г. В английском языке оборот «blue moon» – синоним редкого события; существует фразеологизм «once in a blue moon». Очень редко, при наличии в атмосфере Земли пыли, рассеивающей свет, Луна действительно может приобретать голубоватый оттенок.

ГОЛУБЫЕ ЗВЁЗДЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЕТВИ – звёзды населения II типа, располагающиеся в галактическом гало, в особенности – в шаровых скоплениях. Это звёзды на поздней стадии красного гиганта, в ядрах которых горит гелий. Голубые звёзды горизонтальной ветви относятся к спектральным классам B3–A0 (т. е. их цвет голубовато-белый). В спектре видны чёткие сильные линии водорода, имеется резкий бальмеровский скачок и слабые линии других элементов. Голубые звёзды горизонтальной ветви расположены на горизонтальной ветви диаграммы Герцшпрунга–Рассела, слева (т. е. со стороны более высоких температур) от голубой границы области переменных звёзд типа RR Лиры (RR Lyr). Эти звёзды очень яркие, и их легко обнаружить. Как правило, наиболее слабые голубые звёзды, наблюдаемые в гало, оказываются голубыми звёздами горизонтальной ветви.

ГОЛУБЫЕ БРОДЯГИ – горячие яркие звёзды в шаровых скоплениях или иногда и в рассеянных скоплениях, лежащие на продолжении главной последовательности скопления на несколько звёздных величин выше точки её поворота. Для объяснения, почему эти звезды до сих пор не проэволюционировали до фазы красного гиганта, разработано несколько теорий. В них рассматривается перенос массы между компонентами двойных систем или же слияние компонентов. Голубые бродяги могут формироваться после столкновения звёзд в перенаселённых внутренних частях шаровых скоплений.

ГОЛУБЬ – южное созвездие, бедное интересными объектами. Введено И. Байером в 1603 г. Известно также как «голубь Ноя». Лежит к юго-западу от Большого Пса, в контакте с созвездиями Корабля Арго (Корма, Киль, Паруса), который иногда рассматривают как Ноев Ковчег.

ГОМОЛОГИЧЕСКИ ТРАНСФОРМИРУЕМАЯ КОНСТРУКЦИЯ – конструкция параболической антенны радиотелескопа, в которой допускаются деформации поверхности антенны под влиянием переменных нагрузок силы тяжести при наведении инструмента в различные области неба. При этом деформации рассчитываются таким образом, чтобы форма антенны при любой её ориентации оставалась параболоидом вращения. Для компенсации изменения в положении фокуса параболоида, возникающего при деформациях, перемещают облучатель радиотелескопа. Аналогичный подход применяется и при конструировании монтировок крупных оптических телескопов.

ГОНЧИЕ ПСЫ, или **Гончие Собаки**, – северное созвездие, расположенное к юго-востоку от Большой Медведицы, прямо под ручкой Ковша. Название созвездию дал Ян Гевелий в 1690 г. Позже англичане пытались переименовать Гончих Псов в Сердце Карла в честь казнённого английского короля Карла I. Под этим именем (Cor Caroli Regis Martyris) оно даже появилось на некоторых картах и звёздных глобусах. Но не привилось: всё, что осталось от этой попытки, – закрепившееся за звездой α Гончих Псов имя Сердце Карла (Cor Caroli). Эту красивую двойную звезду часто наблюдают в телескоп любители астрономии. А звезда Y CVn, которую великий итальянский астроном Анджело Секки (1818–1878) называл «La Superba» за её удивительный спектр, является одной из наиболее красных среди доступных невооружённому глазу. Она относится к «углеродным» звездам, в спектре которых почти нет голубых и ультрафиолетовых лучей из-за их сильного поглощения молекулами углерода C_3. Широко известна также спиральная галактика 9-й звёздной величины Водоворот (M51), одна из ближайших к нам (расстояние 25 млн св. лет). Она была первой туманностью, у которой удалось выявить спиральную структуру: её заметил и зарисовал ирландский астроном Уильям Парсонс (лорд Росс) в 1845 г., используя созданный им гигантский телескоп диаметром около 2 м. Расположенная в 3,5° к юго-западу от последней звезды ручки Ковша, эта галактика протянула один из двух своих спиральных рукавов к небольшой галактике-компаньону.

ГОРИЗОНТ (греч. *horizon*, р. п. *horizontos* — ограничивающий) — в просторечии, замкнутая вокруг наблюдателя линия, вдоль которой «земля встречается с небом». В астрономии различают математический (истинный) горизонт и видимый горизонт.

1. Видимый горизонт — это наблюдаемая граница между небом и поверхностью Земли, включая эффекты высоты наблюдателя и наличие деталей рельефа, деревьев, строений и т. п. См. также *Понижение горизонта*.

2. Математический, или истинный, горизонт — это большой круг небесной сферы, равноудалённый от зенита и надира наблюдателя. Плоскость математического горизонта перпендикулярна линии отвеса и служит основной плоскостью в горизонтальной системе небесных координат, в которой направление на светило задаётся азимутом (отсчитывается от точки юга к западу) и высотой или зенитным расстоянием. Математический горизонт редко совпадает с видимым горизонтом. Понятие математического горизонта используется при расчётах моментов восхода и захода небесных светил. В силу несовпадения математического и видимого горизонтов предвычисленные моменты могут несколько отличаться от реально наблюдаемых в конкретных пунктах.

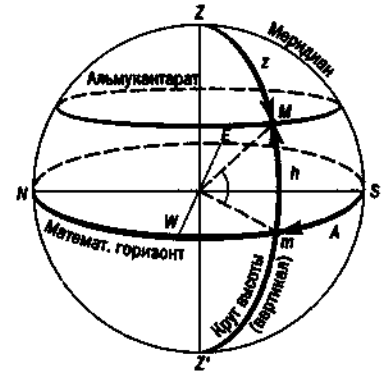
ГОРИЗОНТ ВИДИМОСТИ ВО ВСЕЛЕННОЙ — граница, отделяющая область пространства, которую в данный момент может видеть наблюдатель, от области, принципиально для него ненаблюдаемой. Существование горизонта связано с расширением Вселенной. Согласно космологической модели Фридмана, расширение Вселенной началось от сингулярного состояния около 14 млрд лет назад. За время $t_0 \approx 14 \cdot 10^9$ лет свет успевает пройти в расширяющейся Вселенной конечное расстояние $l \approx ct_0$, т. е. около $14 \cdot 10^9$ св. лет. Поэтому каждый наблюдатель в момент t_0 после начала расширения может видеть только область, ограниченную сферой, имеющей в этот момент радиус l. Объекты за этой границей, являющейся горизонтом наблюдателя, принципиально ненаблюдаемы в момент t_0: свет от них не успел дойти до наблюдателя, даже если вышел в момент начала расширения Вселенной. Очевидно, что у каждого наблюдателя, находящегося в каком-либо месте во Вселенной, свой горизонт (подобно тому, как каждый наблюдатель на земном шаре имеет свой горизонт).

В ранней Вселенной при большой плотности вещества фотоны не могли свободно распространяться из-за поглощения и рассеяния. Поэтому наблюдатель может зафиксировать в неискажённом виде лишь то излучение, которое возникло в эпоху, когда Вселенная стала практически прозрачной для излучения (но не раньше). Эта эпоха определяется моментом рекомбинации водорода и соответствует времени $t_{рек} \approx 300$ тыс. лет после начала расширения и плотности вещества $\rho \approx 10^{-20}$ г/см^3. Однако расстояния до горизонта и до пределов, определяемых моментом рекомбинации, практически совпадают, так как $t_0 \approx t_0 - t_{рек}$.

Наблюдаемое микроволновое фоновое излучение (реликтовое излучение) приходит с расстояний, определяемых рекомбинацией, т. е. практически с расстояний до горизонта видимости во Вселенной. С течением времени горизонт расширяется по мере того, как к наблюдателю доходит свет от более далёких областей Вселенной. Чем ближе к горизонту расположен источник излучения, тем больше для него значение красного смещения z. На самом горизонте $z \to \infty$. Таким образом, в доступном для наблюдений объёме Вселенной находится хотя и очень большое, но конечное число галактик и звёзд.

ГОРИЗОНТ СОБЫТИЙ — замкнутая поверхность, ограничивающая область вокруг чёрной дыры, в пределах которой силы гравитации столь велики, что никакие сигналы (в виде фотонов или частиц) не могут выйти из-под этой поверхности и достичь внешнего наблюдателя. Фактически горизонт событий — это граница области пространства-времени, из которой информация не может достичь внешнего наблюдателя из-за конечности скорости света, которую не может превысить скорость распространения физического сигнала. Горизонт событий может возникнуть в ходе гравитационного коллапса звезды на поздних стадиях эволюции. При этом образование горизонта событий для наблюдателя означает появление чёрной дыры. В этом случае горизонт событий можно назвать поверхностью чёрной дыры, т. е. совокупностью тех мест в пространстве-времени, где с точки зрения удалённого наблюдателя время остановилось. После пересечения этой поверхности падающим снаружи телом или квантом излучения обратного пути для них уже нет.

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ — система небесных координат, задающая положение светила (M) через его азимут (A) и угловую высоту (h) над горизонтом. В астрономии азимут обычно отсчитывается от небесного меридиана (т. е. от направления на юг) до круга высоты (вертикала), проходящего через светило. В геодезии азимут отсчитывается от направления на север. В любом случае направление возрастания азимута одинаковое: север-восток-юг-запад (N-E-S-W). Астрономический азимут выражается в градусах дуги от 0° до 360°, но иногда астрономы определяют западный азимут и восточный азимут, отсчитывая их от точки юга S соответственно к западу или к востоку от 0° до 180°. Геодезисты измеряют азимут от точки севера N в обе стороны, от 0° до 180°. Часто вместо высоты h определяют её дополнение до 90°, называемое зенитным расстоянием (z) светила.



Горизонтальная система координат. Z — зенит, Z' — надир, m — вертикальная проекция светила (M) на горизонт, A — азимут, h — высота, z — зенитное расстояние

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПАРАЛЛАКС — см. *Суточный параллакс*.

ГОРЯЧИЕ СУБКАРЛИКИ — звёзды, в которых горит гелий. Гелиевое ядро имеет массу около 0,05 массы Солнца и окружено тонкой водородной оболочкой с массой около 0,02 массы Солнца. Горячие субкарлики — прямые предшественники белых карликов. В обозначении их спектрального класса присутствуют буквы sd — от англ. *subdwarf* — субкарлик. Существует несколько типов таких звёзд, и определяются они по оптическому спектру.

Типы субкарликов

Тип субкарлика	Обозначение	Характеристика спектра
Звезда горизонтальной ветви спектрального класса B	HHB	Узкие бальмеровские линии поглощения, He I, Mg
Субкарлик B	sdB	Более широкие бальмеровские линии поглощения, слабые линии He I
Субкарлик OB	sdOB	Как sdB, плюс He II (4686 Å)
Субкарлик O	sdO	Гелий доминирует, He II

Типы sdB и sdOB относятся к экстремально голубым звёздам горизонтальной ветви, и приходят они туда из области красных гигантов. Они образуют относительно узкую полосу на голубом конце горизонтальной ветви (horizontal branch, HB), и поэтому их часто называют «звёздами продолжения горизонтальной ветви» (extended horizontal branch, EHB). Эти

звёзды не эволюционируют в сторону асимптотической ветви гигантов, этим они отличаются от нормальных звёзд горизонтальной ветви. А звёзды типа sdO проходят фазу эволюции после асимптотической ветви гигантов.

ГОРЯЧИЕ ЮПИТЕРЫ — экзопланеты-гиганты, расположенные чрезвычайно близко к своей звезде и по этой причине имеющие высокую температуру поверхности, обычно более 1000 К. Термин «горячий юпитер» возник в самом конце XX в. в связи с тем, что среди экзопланет, открытых первыми после 1995 г., большинство оказалось гигантами типа Юпитера, но, в отличие от него, обращающимися по короткопериодическим орбитам настолько близко от родительской звезды, что их верхний облачный слой атмосферы разогрет излучением звезды до нескольких тысяч кельвинов. В том, что первыми были открыты именно такие экзопланеты, нет ничего удивительного: применявшийся для их поиска доплеровский метод, регистрирующий периодические изменения лучевой скорости звезды, прежде всего реагирует на тесное соседство звезды с массивной планетой. Однако попытки объяснить происхождение горячих юпитеров сталкивается с проблемами. В рамках современной космогонии планета-гигант, в основном состоящая из лёгких элементов (водород, гелий), может сформироваться лишь вдали от звезды, где летучие вещества (прежде всего вода) могут оставаться в твёрдом состоянии. Большинство учёных сейчас сходится в том, что формируются планеты-гиганты вдали от звезды, но позже некоторые из них, взаимодействуя с массивным протопланетным диском, мигрируют ближе к звезде и становятся горячими.

В последние годы термин «горячий юпитер» стал настолько привычным, что никого уже особенно не удивило открытие в 2009 г. планеты WASP-18b, имеющей массу 10 масс Юпитера и обращающейся по почти круговой орбите на расстоянии 0,02 а. е. от своей звезды. Орбитальный период этой планеты составляет всего 23 часа! Учитывая, что звезда WASP-18 (HD 10069) имеет спектральный класс F9 и обладает большей светимостью, чем Солнце, температура поверхности планеты должна достигать 3800 К: это уже не просто горячий, а раскалённый юпитер. Из-за близости к звезде и своей большой массы планета вызывает сильные приливные возмущения на поверхности звезды, которые, в свою очередь, тормозят планету и в будущем приведут к её падению на звезду.

ГОФФМЕЙСТЕР (ХОФМЕЙСТЕР), Куно (Hoffmeister, Cuno) (2.02.1892, Зоннеберг, Германия, — 2.01.1968, Зоннеберг, Германия) — немецкий астроном, исследователь переменных звёзд. Специального астрономического образования не получил. Увлёкшись астрономией, несколько лет работал ассистентом в Бамбергской и Йенской обсерваториях. В 1925 г. оборудовал в Зоннеберге собственную обсерваторию. С 1936 г. член Германской академии естествоиспытателей «Леопольдина», позже — член АН ГДР. В 1947 г. Зоннебергская обсерватория вошла в состав Германской АН в Берлине, а Гоффмейстер был её директором до конца жизни.

Основные научные работы посвящены наблюдениям переменных звёзд и метеоров. В 1928 г. начал наблюдения совместно с Бабельсбергской обсерваторией, фотографическое патрулирование неба, основной задачей которого было обнаружение новых переменных звёзд; эта работа продолжается в Зоннебергской обсерватории до настоящего времени. Гоффмейстер открыл и исследовал около 10 тыс. переменных звёзд — рекорд, не превзойдённый никем из астрономов. Вёл систематические визуальные наблюдения метеоров; в 1948 г. опубликовал каталог метеорных потоков. Выполнил многочисленные наблюдения зодиакального света с помощью фотометра собственной конструкции. Изучал противосияние. На протяжении нескольких десятилетий был редактором научно-популярного журнала «Sterne». Важнейшая публикация: Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звёзды (М.: Наука, 1990. Пер. с нем. А. Г. Тоточава и Э. И. Желванова, под ред. Н. Н. Самуся). В 1951 г. Гоффмейстер удостоен Национальной премии ГДР. Его имя занесено на карту Луны.

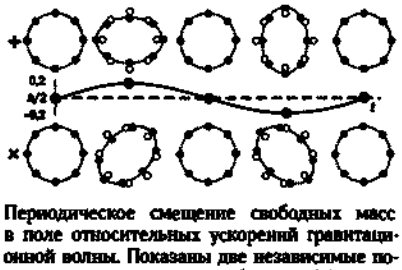
ГО ШОУ-ЦЗИН (1231–1316) — китайский астроном и математик. Занимал должности главного астронома, инспектора ирригационных сооружений, был членом палаты учёных при императорском дворе. По его проекту построена новая Чжоугунская обсерватория, на которой был установлен гномон высотой 12,8 м. Создал 13 астрономических приборов, многие из которых имели круги, разделённые на градусы и четвёртые доли градуса. В числе этих приборов были армиллярные сферы, эклиптические теодолиты, квадранты, небесные глобусы и др. Разработал календарь «Шоуши ли», который был введён в Китае в 1281 г. По этому календарю продолжительность года составляет 365,2425 сут, т. е. совпадает с продолжительностью года по современному григорианскому календарю, который начал вводиться в Европе на три столетия позже, а окончательно был введён лишь в XX в. Го Шоу-цзин был противником астрологии; по его настоянию из календаря были исключены разделы предсказаний земных событий по расположению небесных светил.

ГР-ДИАГРАММА — *см. Диаграмма Герцшпрунга–Рассела.*

ГРАВИТАЦИОННАЯ ВОЛНА — «рябь» пространства-времени, бегущая со скоростью света. Гравитационная волна возбуждается при ускоренном движении массивных тел и может быть зарегистрирована путём наблюдения периодических приливных деформаций сплошного тела или системы свободных тел. Существование гравитационных волн было предсказано в рамках общей теории относительности (*см. Гравитационное излучение*).

Существование гравитационных волн косвенно подтверждено наблюдениями двойной нейтронной звезды, один из компонентов которой является радиопульсаром PSR B1913+16. Наблюдения показали, что орбитальный период этой двойной системы медленно сокращается в полном согласии с рассчитанным темпом потери механической энергии, уносимой гравитационными волнами (*см. Двойной пульсар Халса–Тейлора*). Однако прямой регистрации гравитационных волн с помощью гравитационно-волновых детекторов (антенн) до сих пор осуществить не удалось.

К сожалению, в физике термин «гравитационная волна» используется также и в совершенно ином смысле. Речь идёт о поверхностных волнах на воде (или иной жидкости на поверхности небесного тела). Волнообразные колебания на поверхности жидкости возникают под действием двух сил — силы тяжести и силы поверхностного натяжения. При малой длине волны — менее 1–2 см в случае воды — преобладающей является сила поверхностного натяжения, а сами волны называются волнами поверхностного натяжения, или капиллярными волнами. Для волн большей длины преобладающей является сила тяжести, такие волны издавна принято называть гравитационными. В атмосфере планеты также возбуждаются подобные волны, и их тоже называют гравитационными. Чтобы не путать волны пространства-времени с волнами в жидкости и газе, последние предлагается называть «тяжёлыми волнами», однако этот термин пока используется не всеми специалистами: некоторые геофизики продолжают называть волны в атмосфере и океане «гравитационными волнами».



Периодическое смещение свободных масс в поле относительных ускорений гравитационной волны. Показаны две независимые поляризации волны: плюсообразная (+) и крестообразная (×); h — амплитуда, t — время

ГРАВИТАЦИОННАЯ ЛИНЗА — любое массивное тело (планета, звезда) или система тел (галактика, скопление галактик), искривляющая своим гравитационным полем направление распространения излучения, подобно тому как обычная стеклянная линза искривляет световой луч. Эффект гравитационной линзы как астрономическое явление состоит в том, что изображение удалённого источника излучения (например, звезды, галактики или квазара) оказывается искажённым из-за того, что луч света между источником и наблюдателем проходит вблизи притягивающего тела. Если роль гравитационной линзы играет галактика или скопление галактик, то связанное с этим явление называют эффектом «гравитационного линзирования». Если же притягивающим телом служит отдельная звезда, то говорят о «гравитационном микролинзировании».

Эффект гравитационной линзы был предсказан А. Эйнштейном, который в 1915 г. в рамках общей теории относительности впервые правильно вычислил угол отклонения луча света в гравитационном поле. Во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г. английские астрономы измерили отклонение света звёзд, проходящего вблизи поверхности Солнца: смещение изображений звёзд составило 1,75″ в полном согласии с предсказанием Эйнштейна. Английский физик О. Лодж в 1919 г., по-видимому, первым использовал термин «линза», говоря об отклонении электромагнитного луча гравитацией.

Петербургский физик Орест Хвольсон в 1924 г. опубликовал в журнале «Astronomische Nachrichten» заметку о том, что луч света далёкой звезды может быть отклонён притяжением другой звезды-линзы, в результате чего возникнет второе изображение далёкой звезды; в случае, когда обе звезды и наблюдатель находятся на одной прямой, изображение будет иметь форму кольца. Эйнштейн опубликовал в 1936 г. в журнале «Science» заметку, в которой по просьбе чешского инженера Р. Мандла рассмотрел линзоподобное действие одной звезды на другую и также указал на возможность кольцеобразного изображения. Ни Хвольсон, ни Эйнштейн не верили в возможность экспериментального обнаружения эффекта гравитационной линзы в случае обычных звёзд (т. е. эффекта гравитационного микролинзирования).

Однако в 1937 г. американский астроном швейцарского происхождения Фриц Цвикки пришёл к выводу, что эффект гравитационной фокусировки света можно наблюдать в том случае, если линзой является галактика. В 1979 г. английские астрономы Д. Волш и др. впервые обнаружили «двойной квазар» QSO 0957+16 A,B (красное смещение 1,4; угловое расстояние между компонентами около 6″). Когда выяснилось, что оба квазара изменяют свой блеск в унисон, астрономы поняли, что в действительности это два изображения одного квазара, обязанные эффекту гравитационной линзы. Вскоре нашли и саму линзу — далёкую галактику ($z \approx 0{,}36$), лежащую между Землёй и квазаром. Уже к концу XX в. было обнаружено несколько десятков гравитационных линз. Некоторые изображения действительно имеют форму ровного или разорванного кольца, которое называют «кольцом Эйнштейна» или «кольцом Хвольсона–Эйнштейна». Позже был обнаружен эффект гравитационной линзы и в пределах нашей Галактики: однократная спонтанная переменность блеска некоторых звёзд указывает на то, что между ними и Землёй проходят массивные и довольно тёмные тела.

ГРАВИТАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ — нарастание возмущений (малых отклонений от средних значений) плотности и скорости вещества в первоначально почти однородной среде под действием гравитационных сил. В результате гравитационной неустойчивости в первоначально почти однородной среде образуются сгустки вещества. Гравитационная неустойчивость рассматривается как причина образования многих типов астрономических объектов — скоплений галактик, самих галактик, звёздных скоплений, звёзд и, возможно, планет. См. также *Звёздообразование*.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ ГАУССА — константа, определяющая через 3-й закон Кеплера астрономическую систему единиц длины (астрономическая единица), массы ($1 M_\odot$) и времени (сутки). Значение $k = 0{,}01720209895$. Размерность k^2 такая же, как у ньютоновой гравитационной постоянной $[G] = L^3 M^{-1} T^{-2}$.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА — свойство гравитирующего объекта отклонять проходящий мимо него поток частиц или излучения, фокусируя набегающий поток позади себя, т. е. действуя наподобие оптической или электромагнитной линзы.

Солнце, двигаясь относительно разреженного межзвёздного газа, фокусирует своим тяготением поток газа, собирая его вдоль луча, направленного в сторону, противоположную движению Солнца. Уплотнение потока газа вдоль луча фокусировки непосредственно наблюдается по его излучению в линии гелия ($\lambda = 58{,}4$ нм) с помощью приборов, установленных на космических аппаратах.

При прохождении света вблизи гравитирующего тела его траектория искривляется, поскольку свет притягивается к телу. Угол отклонения α выражается (в радианах) формулой $\alpha \approx 4GM/bc^2$, где b — прицельный параметр, M — масса тяготеющего тела. Для обычных тел этот угол мал, но для звёзд он уже вполне заметен: $\alpha = 1{,}75''(M/M_\odot)(R_\odot/R)$, где $M_\odot$ и $R_\odot$ — масса и радиус Солнца.

Лучи, вышедшие из светящегося объекта, огибают массивное тело и достигают наблюдателя. Если источник света протяжённый, то наблюдатель увидит два сильно астигматичных изображения объекта. Тело, которое своим тяготением искривляет поток лучей, получило название гравитационной линзы. Если гравитирующая масса линзы не сосредоточена в центре объекта, а распределена по некоторому объёму и лучи света могут свободно проходить через эту массу (такой случай реализуется для большей части объёма галактик или скоплений галактик), то траектории лучей будут более сложными. Как правило, наблюдатель сможет увидеть три изображения светящегося объекта: третий луч может проходить через центральную часть гравитационной линзы, почти не отклоняясь от своего пути (см. *Гравитационная линза*).

Гравитационная фокусировка света своеобразно проявляется при его распространении в пространстве, заполненном прозрачной тяготеющей материей. Тяготение материи, находящейся в конусе лучей, искривляет их. Чем дальше объект, тем бо́льшая масса содержится в конусе лучей, тем сильнее отклонение. Это приводит к тому, что начиная с некоторого расстояния во Вселенной более далёкий объект имеет уже не меньшие угловые размеры, а большие, чем такой же объект, расположенный ближе.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ЭНЕРГИЯ — потенциальная энергия тел, обусловленная их гравитационным взаимодействием. Термин «гравитационная энергия» широко применяется в астрофизике. Гравитационная энергия какого-либо стационарного массивного тела (звезды, облака межзвёздного газа) или системы тел (звёздного скопления, галактики), состоящих из частиц, взаимодействующих с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния, по абсолютному значению вдвое больше кинетической энергии поступательного (теплового) движения частиц тела: это следует из теоремы вириала.

ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВАЯ АНТЕННА, или **гравитационная антенна**, — прибор, предназначенный для регистрации гравитационных волн, предсказанных в рамках общей теории относительности. См. *Гравитационная волна, Гравитационное излучение, Лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория.*

ГРАВИТАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — излучение гравитационных волн телами (мас-

сами), движущимися с переменным ускорением. Общая теория относительности (ОТО) — релятивистская теория тяготения, созданная А. Эйнштейном в 1916 г., — предсказывает существование возмущений гравитационного поля, имеющих характер гравитационных волн, распространяющихся в вакууме со скоростью света.

При слабых возмущениях гравитационного поля гравитационное излучение имеет характер поперечных волн с двумя независимыми компонентами, которые определяют два состояния поляризации волны. Гравитационные волны переносят энергию и импульс. Воздействуя на тела, они должны вызывать относительное смещение их частей (деформацию тел). На этом явлении основаны попытки обнаружения гравитационного излучения. Однако гравитационные волны до сих пор прямо не обнаружены из-за их чрезвычайно малой интенсивности и крайне слабого взаимодействия с веществом. Мощность гравитационного излучения, которая может быть создана в лабораторных условиях генератором гравитационных волн даже при значительной его массе, весьма невелика. Например, согласно расчётам, при собственных колебаниях кварцевого бруса объёмом в несколько кубических метров с максимальной амплитудой, ограниченной пределом прочности кварца, генерируемая мощность гравитационного излучения составит лишь $\sim 10^{-20}$ Вт.

Существуют две основные причины низкой эффективности преобразования механической энергии в энергию гравитационного излучения. Первая состоит в малости гравитационной постоянной (G), которая входит как в уравнения Эйнштейна, так и в закон всемирного тяготения Ньютона. Невелики и достижимые в экспериментах с макроскопическими телами ускорения (так как при больших ускорениях тела разрушаются). Если же использовать в качестве источников гравитационного излучения микрообъекты — сгустки электронов или ионов, — то выигрыш в величине ускорения компенсируется малостью массы и полная мощность гравитационного излучения опять оказывается весьма незначительной.

Вторая существенная причина неэффективности лабораторных излучателей заключается в том, что, в отличие от электрических зарядов, все гравитационные заряды (массы) имеют один и тот же знак и величина гравитационной массы строго пропорциональна величине инертной массы (этот факт, положенный в основу ОТО, обычно называют принципом эквивалентности; он многократно проверялся в различных опытах с весьма высокой степенью точности). Поэтому если в некоторой системе массивных тел, движущихся с переменным ускорением, центр инертных масс этих тел остаётся на месте, то остаётся на месте и центр гравитационных масс. Это означает, что гравитационное излучение одной движущейся с переменным ускорением массы будет в значительной степени компенсироваться излучением другой массы той же системы масс. Такой излучатель (и генерируемое им излучение) называют квадрупольным. Излучение электромагнитных волн имеет дипольный характер (поскольку существуют электрические заряды разных знаков) и поэтому может быть интенсивным даже при колебаниях небольших зарядов.

Интенсивность гравитационного излучения, как и электромагнитного, пропорциональна квадрату заряда, т. е. в случае гравитации — квадрату массы (M^2), в то время как полный запас энергии (Mc^2) пропорционален массе в первой степени. Это означает, что с ростом массы при тех же амплитудах ускорений эффективность генерации гравитационного излучения увеличивается. Вычисления показывают, что масса $M \approx 1 M_\odot$ при частотах колебаний, по порядку величины соответствующих движению со скоростью света c на орбите радиусом $r = r_g$ (где r_g — гравитационный радиус), в течение короткого времени за счёт гравитационного излучения может потерять несколько процентов своей полной энергии ($M_\odot c^2$). Этот процесс будет носить характер мощного всплеска гравитационного излучения.

Астрофизики предполагают, что во Вселенной существуют естественные импульсные генераторы гравитационного излучения высокой мощности. К ним можно отнести взрывы сверхновых, столкновения (слияния) нейтронных звёзд и чёрных дыр, несимметричный гравитационный коллапс звёзд. Именно на такие источники и рассчитаны наземные лабораторные гравитационные антенны, работающие или создаваемые более чем в 20 лабораториях разных стран. Обнаружение на Земле всплесков гравитационного излучения от этих источников означало бы одновременно и появление качественно нового канала астрофизической информации.

В одной галактике можно ожидать один мощный всплеск гравитационного излучения раз в 50–100 лет: с такой частотой в среднем происходят взрывы сверхновых в одной галактике. Поэтому, чтобы рассчитывать на регистрацию одного всплеска гравитационного излучения в месяц, необходимо иметь достаточно чувствительные наземные гравитационные антенны, способные обнаружить всплеск в любой из галактик, находящихся на расстоянии до 5 Мпк: в сфере такого радиуса находится около 1000 галактик.

Гравитационной антенной может служить любая пара масс — пробных тел (или протяжённое тело) и чувствительное устройство, регистрирующее малые относительные смещения масс или вызывающие их силы. Всплеск гравитационного излучения, распространяющийся со скоростью света, несёт изменение свойств (кривизны) пространства, воздействующее на пробные тела. Амплитуда возмущений гравитационного поля (h), вызванных гравитационным излучением, убывает обратно пропорционально расстоянию (R) от источника (излучателя): $h \sim 1/R$. При расстоянии L между двумя свободными пробными телами вариации этого расстояния, вызванные всплеском гравитационного излучения с амплитудой h, равны $\Delta L \approx Lh$. Оптимистическая оценка для величины h в Солнечной системе в случае взрыва сверхновой на расстоянии 3 Мпк лежит в пределах $(1–3)\cdot 10^{-19}$ (при длительности всплеска $\sim 10^{-4}–10^{-3}$ с). Более реалистическая оценка для того же случая: $h \sim 10^{-21}$ (выбор оценки зависит от неизвестной степени асимметрии взрыва сверхновой).

Наиболее перспективными считают два типа наземных гравитационных антенн. В первом типе вместо относительного смещения двух пробных масс фиксируют низкочастотные механические колебания массивного цилиндра длиной 1–3 м, вызванные гравитационным излучением. Во втором типе используются две свободные массы, разнесённые на расстояние $\sim 1–10$ км, и лазерный интерферометр для регистрации малых изменений этого расстояния (ΔL) под действием гравитационного излучения.

Оптимистический прогноз требует чувствительности датчиков для первого типа антенн не хуже $\Delta L \approx (2–3)\cdot 10^{-17}$ см, а для второго типа — не хуже $\Delta L \approx (2–3)\cdot 10^{-14}$ см. Тепловые колебания антенн создают помехи приёму гравитационного излучения. Для снижения уровня помех температуру антенн первого типа понижают до $T < 2$ К, увеличивают массу антенны (до нескольких тонн) и её механическую добротность (уменьшают затухание колебаний). После 2005 г. в строй вступило уже несколько антенн разных типов, способных синхронно (в режиме совпадений) регистрировать возможные редкие всплески гравитационного излучения с $h \sim 1\cdot 10^{-20}$. К 2012 г. таких всплесков надёжно не зарегистрировано.

Следует отметить, что уже было получено косвенное подтверждение существования гравитационного излучения. Долголетние наблюдения за двойной звездой, один компонент которой — пульсар PSR 1913+16, а другой, по-видимому, — также нейтронная звезда, показали, что период обращения компонентов вокруг общего центра массы монотонно сокращается. Это сокращение периода означает сближение компонентов, которое, возможно, вызвано потерей энергии на гравитационное излучение. Численные оценки изменения периода, вызванного гравитационным излучением, хорошо со-

гласуются с известными данными о вращении этой тесной пары нейтронных звёзд. В 1993 г. эта работа была отмечена Нобелевской премией (*см. Двойной пульсар Халса–Тейлора*).

Пульсары и в будущем могут оказаться полезным индикатором гравитационного излучения. Точная регистрация моментов прихода радиоимпульсов от нескольких десятков миллисекундных пульсаров (*англ. pulsar timing array*) в принципе позволяет регистрировать гравитационные волны, проходящие между пульсарами и Землёй. Этот метод особенно чувствителен к низкочастотному гравитационному излучению (10^{-9}–10^{-6} Гц), источником которого могут быть двойные сверхмассивные чёрные дыры в центрах галактик.

ГРАВИТАЦИОННОЕ КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ – эффект замедления времени в гравитационном поле, предсказываемый общей теорией относительности. В частности, он проявляется в том, что с точки зрения далёкого наблюдателя частота атомных колебаний у поверхности массивных тел уменьшается, что приводит к смещению линий в спектре этого тела в красную сторону. Впервые этот эффект был измерен в спектрах белых карликов. В земных лабораториях он впервые наблюдался в 1960 г. в знаменитом эксперименте Р. Паунда и Г. Ребки (Гарвардский университет), которые для измерений использовали эффект Мёссбауэра.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ – физическое явление, связанное с отклонением лучей света в поле тяжести (*см. Гравитационная фокусировка*). Гравитационные линзы объясняют образование кратных изображений одного и того же астрономического объекта (квазаров, галактик), когда на луч зрения от источника к наблюдателю попадает другая галактика или скопление галактик (собственно линза). В некоторых изображениях происходит усиление яркости оригинального источника. Гравитационная микролинза – явление, при котором тяготеющее тело проходит вблизи луча зрения, вызывая увеличение яркости объекта.

ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛЛАПС – относительно быстрое сжатие межзвёздного газово-пылевого облака или ядра звезды под действием собственного тяготения. Гравитационный коллапс – важное астрофизическое явление: он участвует как в формировании звёзд, звёздных скоплений и галактик, так и в гибели некоторых из них.

В межзвёздном пространстве множество облаков, состоящих в основном из водорода с плотностью порядка 1000 атомов/см^3, размером от 10 до 100 св. лет. Их структура и, в частности, плотность непрерывно изменяются под действием взаимных столкновений, нагрева звёздным излучением, давления магнитных полей и т. п. Когда плотность облака или его части становится настолько большой, что гравитация превосходит газовое давление, облако начинает неудержимо сжиматься – коллапсировать. Размер его всё быстрее уменьшается, а плотность, соответственно, возрастает. Небольшие начальные неоднородности плотности в процессе коллапса усиливаются; в итоге облако фрагментируется, т. е. распадается на части, каждая из которых продолжает самостоятельное сжатие.

Вообще говоря, при сжатии газа возрастают его температура и давление, а это может препятствовать дальнейшему сжатию. Но пока облако прозрачно для инфракрасного излучения, оно легко остывает, и сжатие не прекращается. Однако по мере нарастания плотности отдельных фрагментов их остывание затрудняется, и возрастающее давление останавливает коллапс – так образуется звезда, а вся совокупность превратившихся в звёзды фрагментов облака образует звёздное скопление.

Коллапс облака в звезду или в звёздное скопление продолжается около миллиона лет – сравнительно быстро по космическим масштабам. После этого термоядерные реакции, происходящие в недрах звезды, поддерживают температуру и давление и препятствуют сжатию. В ходе этих реакций лёгкие химические элементы превращаются в более тяжёлые с выделением огромной энергии (подобное происходит при взрыве водородной бомбы). Выделившаяся энергия покидает звезду в виде излучения.

Массивные звёзды излучают очень интенсивно и сжигают своё «горючее» всего за несколько десятков миллионов лет. Звёздам малой массы хватает их запаса топлива на многие миллиарды лет медленного горения. Но рано или поздно у любой звезды топливо заканчивается, термоядерные реакции в ядре прекращаются, и, лишённая источника тепла, звезда остаётся в полной власти собственной гравитации, неумолимо ведущей её к гибели.

Коллапс звёзд малой массы. Если после потери оболочки остаток звезды имеет массу менее 1,2 массы Солнца ($M_\odot$), то его гравитационный коллапс не заходит слишком далеко: даже лишённая источников тепла, сжимающаяся звезда получает новую возможность сопротивляться гравитации. При высокой плотности вещества электроны начинают интенсивно отталкиваться друг от друга; это связано не с их электрическим зарядом, а с их квантово-механическими свойствами. Возникающее при этом давление зависит только от плотности вещества и не зависит от его температуры. Такое свойство электронов физики называют вырождением. У звёзд малой массы давление вырожденного вещества способно сопротивляться гравитации. Сжатие звезды останавливается, когда она становится размером приблизительно с Землю. Такие звёздные остатки называют белыми карликами, поскольку светят они слабо, но сразу после сжатия имеют довольно горячую (белую) поверхность. Однако температура белого карлика постепенно снижается, и через миллиард лет такой объект уже трудно заметить: он становится холодным невидимым телом.

Коллапс массивных звёзд. Если масса звезды более 1,2 $M_\odot$, то давление вырожденных электронов не в состоянии сопротивляться гравитации, и звезда не может стать белым карликом. Её неудержимый коллапс продолжается, пока вещество не достигнет плотности, сравнимой с плотностью атомных ядер (~ 10^{14} г/см^3). При этом большая часть вещества превращается в нейтроны, которые, подобно электронам в белом карлике, становятся вырожденными. Давление вырожденного нейтронного вещества может остановить сжатие звезды, если её масса не превышает приблизительно 3 солнечные. Образовавшаяся нейтронная звезда имеет размер всего около 20 км. Когда стремительное сжатие нейтронной звезды резко останавливается, вся кинетическая энергия переходит в тепло и температура поднимается до сотен миллиардов кельвинов. В результате происходит гигантская вспышка звезды, её внешние слои с большой скоростью выбрасываются наружу, а светимость возрастает в миллиарды раз. Астрономы называют это «взрывом сверхновой».

Примерно через год яркость продуктов взрыва уменьшается, выброшенный газ постепенно охлаждается, перемешивается с межзвёздным газом и в следующие эпохи входит в состав звёзд новых поколений. А возникшая в ходе коллапса нейтронная звезда в первые миллионы лет быстро вращается и наблюдается как переменный излучатель – пульсар.

Если же масса коллапсирующей звезды значительно превышает 3 $M_\odot$, то сжатие не останавливается на стадии нейтронной звезды, а продолжается до тех пор, пока её радиус не уменьшится до нескольких километров. Тогда сила притяжения на поверхности возрастает настолько, что даже луч света не может покинуть звезду. Сжавшуюся до такой степени звезду называют чёрной дырой. Такой астрономический объект, вообще говоря, можно изучать только теоретически, используя общую теорию относительности Эйнштейна. Расчёты показывают, что сжатие невидимой чёрной дыры продолжается, пока вещество не достигнет бесконечной плотности. Однако поведение вещества вблизи чёрной ды-

ры может немало рассказать о её свойствах. Поэтому астрономы активно ищут такие объекты и наблюдают за поведением вещества и излучения вблизи их поверхности.

ГРАВИТАЦИОННЫЙ МАНЁВР (или **пертурбационный манёвр**) — существенное изменение орбиты пролетного космического аппарата (КА) под действием гравитационного поля планеты. Обычно гравитационный манёвр используют для увеличения скорости КА. Чтобы добиться этого, КА при сближении должен двигаться более или менее навстречу планете, а удаляться приблизительно в направлении её орбитального движения. В современной космонавтике гравитационный манёвр используется почти при всех межпланетных перелётах: как в режиме ускорения КА (при полётах к внешним планетам), так и в режиме торможения (например, при полётах к Меркурию).

Понять физику гравитационного манёвра легко. Вокруг каждой планеты можно обозначить сферу её гравитационного влияния — область, где в системе центра масс планеты вызванное ею гравитационное ускорение превосходит ускорения со стороны прочих тел (других планет и Солнца). Сфера влияния планеты очень мала. Но проникновение в неё КА может дать значительный эффект. КА попадает туда всегда с гиперболической скоростью, ведь он приходит из «бесконечности», имея там уже немалую скорость. Траектория относительно планеты в сфере влияния представляет собой небольшой кусок гиперболы. Для инопланетного зрителя результатом почти мгновенного прокола сферы влияния явится поворот вектора скорости на угол α между асимптотами гиперболы. Но в системе координат с центром в Солнце к скоростям относительно планеты нужно прибавить гелиоцентрическую скорость самой планеты. В результате скорость КА изменится и по направлению, и по величине. Таким методом можно не только развернуть КА по нашей воле, но и увеличить (а если нужно, и уменьшить) его скорость. Энергия здесь черпается (или отдаётся) из кинетической энергии обращения планеты вокруг дневного светила. Поскольку масса КА неизмеримо меньше массы планеты, измененне энергии планеты не ощутимо никакими самыми точными приборами.

Чем теснее подходит частица к притягивающему центру, тем меньше угол α между асимптотами отличается от 180° и тем эффективнее гравитационный манёвр. Но невозможно подлететь к центру планеты ближе, чем на её радиус (с учётом атмосферы). А чем массивнее планета, тем больше её размер. Поэтому на первый взгляд трудно сказать, какие планеты лучше подходят для гравитационного манёвра. Поскольку же масса растёт пропорционально кубу радиуса, вывод однозначен: чем массивнее планета, тем бо́льшие возможности предоставляет она для маневрирования. Маломассивный Меркурий и Марс не в состоянии существенно изменить орбиту КА. Венера и Земля уже способны на это. Однако для значительного изменения орбиты потребуется несколько сближений с этими планетами, причём сближения можно чередовать в любой последовательности. Например, три раза подряд подойти к Венере и затем два раза — к Земле. Мощный преобразователь орбит — Юпитер: достаточно однократного прохождения вблизи него, чтобы покинуть Солнечную систему или упасть на Солнце. Для манёвра можно использовать и гравитационное поле Луны: для переходов внутри системы Земля—Луна и для выхода из этой системы в межпланетное пространство.

Первый в мире гравитационный манёвр был совершён в 1959 г. зондом «Луна-3». В результате искусного использования гравитационного поля Луны (несмотря на его малость!) «Луна-3», стартовавшая с северного полушария Земли, облетев наш естественный спутник, вернулась снова в Северное полушарие, что тогда казалось неслыханным чудом. Так в СССР были получены первые фотографии обратной стороны Луны.

Сейчас гравитационное маневрирование стало обычным. Именно таким образом американский зонд «Вояджер-2» после пролёта Юпитера достиг Сатурна, а затем Урана и Нептуна. Советские «Вега-1 и -2» встретились с кометой Галлея после гравитационного манёвра в поле Венеры. Американский «Международный исследователь комет» встретился с кометой Джакобини—Циннера после сложных манёвров в системе Земля—Луна. Множественные манёвры в поле Земли и Венеры совершили «Галилео» и «Кассини». Международный зонд «Улисс», предназначенный для исследования полярных областей Солнца, смог высоко подняться над плоскостью эклиптики только за счёт гравитационного манёвра в поле Юпитера, а зонд «Мессенджер», прежде чем выйти на орбиту вокруг Меркурия, совершил один гравитационный манёвр в окрестности Земли, два — в окрестности Венеры и три — в окрестности Меркурия! Другой возможности выровнять скорость зонда с орбитальной скоростью Меркурия не было.

В будущем, возможно, предпримут запуск зонда в солнечную корону. Для прямого падения на Солнце нужно погасить орбитальную скорость Земли (30 км/с), а полёт через Юпитер требует добавки 12 км/с к орбитальной скорости Земли. Можно достичь окрестностей Солнца, используя лишь манёвры у Венеры и Земли, но такой полёт потребует около десятка тесных сближений с этими планетами. Гравитационный манёвр у Юпитера — единственное приемлемое средство достижения Плутона, Харона и других тел пояса Койпера, поэтому он был предпринят при полёте КА «Новые горизонты».

ГРАВИТАЦИЯ (от *лат. gravitas* — тяжесть) — явление притяжения всех материальных объектов друг к другу. См. *Тяготение.*

ГРАВИТОН — квант гравитационного поля. Движется со скоростью света *c*, следовательно, обладает нулевой массой. Экспериментально пока не обнаружен.

Согласно общей теории относительности, возмущения гравитационного поля распространяются в вакууме в виде гравитационных волн. Аналогично квантованию электромагнитного поля, приводящему к понятию кванта этого поля — фотона, квантование поля гравитационных волн приводит к понятию кванта гравитационного поля — гравитона. Сумма энергий и импульсов гравитонов определяет энергию и импульс гравитационной волны. В отличие от фотона, спин которого равен 1, спин гравитона равен 2 (в единицах $\hbar$), что отражает тензорный характер гравитационного взаимодействия.

Гравитоны *g* могут возникать и исчезать при аннигиляции частиц и античастиц и рождении пар, например $e^+ + e^- \rightleftarrows g + g$. Однако вероятность всех процессов рождения гравитонов в 10^{30}–10^{40} раз меньше вероятности рождения фотонов. Поэтому испускание гравитонов высоких энергий мало даже при катастрофических космических явлениях (гравитационном коллапсе звёзд и др.). Согласно модели горячей Вселенной, гравитоны составляют определённую часть суммарного фонового излучения Вселенной. Из-за крайней слабости гравитационного взаимодействия обнаружение гравитонов лежит пока за пределами экспериментальных возможностей.

ГРАДУСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ — высокоточные астрономические и геодезические измерения, выполняемые для определения размеров Земли. Длины дуг меридианов и параллелей измеряют геодезическими методами, а географические координаты конечных пунктов дуг находят из астрономических наблюдений.

ГРАНУЛЯЦИЯ на Солнце — мозаичный вид спокойной солнечной фотосферы, вызванный тепловой конвекцией, т. е. всплыванием горячих газовых потоков. Внешне напоминает поверхность пчелиных сот; светлые гранулы размером около 1000 км разделены более тёмными границами, проходящими там, где охлаждённый газ опускается вниз. При наблюдении с Земли гранулы имеют угловой размер 1–2″, поэтому их можно различить только в хороший телескоп и при бла-

гоприятных условиях видимости. Фото – см. *Солнечные пятна*.

ГРЕЙП (S LI, Greip) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2006 г. Большая полуось орбиты 18,066 млн км. Орбитальный период 906,556 сут. Эксцентриситет орбиты 0,12. Наклонение орбиты к эклиптике 172,7°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск $24{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°06′26″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ГРЕКИ И ТРОЯНЦЫ – два семейства астероидов, движущихся приблизительно по орбите Юпитера на равном расстоянии от него и от Солнца; наиболее крупные из них носят имена героев Троянской войны. «Греки» (Одиссей, Аякс, Ахилл, Гектор и др.) опережают Юпитер приблизительно на 60° орбитальной дуги, а «троянцы» (Приам, Эней, Патрокл, Троил и др.) отстают от планеты-гиганта на 60°. Такое движение, когда орбитальный период малого тела находится в простом соотношении с периодом крупного возмущающего тела, называют резонансным (см. *Люки Кирквуда*). Греки и троянцы демонстрируют простейший случай резонанса с Юпитером, имеющий соотношение периодов 1:1. При этом они совершают устойчивое либрационное движение («покачивание») в довольно широкой окрестности точек Лагранжа L_4 и L_5, отстоящих на равное расстояние от Юпитера и Солнца. Часто для краткости оба семейства вместе называют троянцами. Первый из них – астероид 588 Ахилл – был открыт в 1906 г., а к маю 2005 г. их было известно уже около 1770. Общее число троянцев на орбите Юпитера может достигать 2500.

Хуже обстоят дела с открытием подобных семейств у других планет: несколько астероидов замечено вблизи лагранжевых точек Сатурна и Нептуна, и один или два – в лагранжевых точках Марса. Первый троянский астероид Земли – объект 2010 TK7 – был найден в 2010 г. на снимках, полученных орбитальным инфракрасным телескопом WISE. Позже его параметры уточнили наземные телескопы. Поиск троянцев Земли осложняется их относительной близостью на небе к Солнцу.

Существуют и спутники-троянцы: в системе Сатурна они сопровождают на орбите более крупные спутники этой планеты.

ГРИНВИЧСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ находится в Великобритании, в предместье Лондона, в Гринвиче. Основана в 1675 г. под названием «Королевская обсерватория», а её директор носил титул Королевского астронома. Предназначалась главным образом для определения времени и вычисления координат небесных светил, нужных для мореплавания. Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (гринвичский меридиан), был принят в 1884 г. по международному соглашению за начальный для счёта долгот и для исчисления поясного времени. В 1998 г. Гринвичская обсерватория стала научным музеем с планетарием.

ГРИНВИЧСКАЯ ЗВЁЗДНАЯ ДАТА (Greenwich Siderial Date, GSD) – количество звёздных суток, прошедших в Гринвиче с момента начала тех звёздных суток, которые последовали за юлианской датой 0.0 JD. Целую часть GSD называют Greenwich siderial day number.

ГРИНВИЧСКИЙ МЕРИДИАН – начальный (нулевой) географический меридиан, от которого ведётся отсчёт долгот на Земле. Этот меридиан проходит через Гринвичскую обсерваторию.

ГРИНСТЕЙН, Джесси Леонард (Greenstein, Jesse Leonard) (15.10.1909–21.10.2002) – американский астроном. Широко известен работами по спектроскопии звёзд и межзвёздной среды. Объяснил межзвёздную поляризацию излучения звёзд за счёт ориентации пылинок в межзвёздном магнитном поле (механизм Дейвиса–Гринстейна).

ГРУБОЕ НАВЕДЕНИЕ – начальная стадия наведения телескопа, обеспечивающая приблизительную ориентацию телескопа в направлении нужного объекта.

ГРУЗИНСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ – научно-исследовательское учреждение в составе Государственного университета им. И. Г. Чавчавадзе в г. Тбилиси (Республика Грузия): бывшая Абастуманская астрофизическая обсерватория. Основана в 1932 г. Е. К. Харадзе как первая высокогорная астрономическая обсерватория СССР. Расположена на горе Канобили (Грузия) на высоте 1650 м. Крупнейший инструмент – рефлектор АЗТ-11 диаметром 125 см системы Ричи–Кретьена, установленный в 1977 г. Представляют интерес: рефрактор Цейс (D=40 см, F=6,8 м), установлен в 1936 г.; двойной астрограф Цейс (D=40 см, F=3 м), установлен в 1978 г. В группе солнечных инструментов – большой внезатменный коронограф КГ-2 системы Г. М. Никольского (D=53 см, F=8 м); горизонтальный солнечный телескоп (D=44 см, F=605 см), коронограф Лио (D=12 см, F=3 м); параболический радиотелескоп (D=1 м, длина волны = 3,25 см).

ГУДРАЙК, Джон (Goodricke, John) (17.09.1764, Гронинген, Нидерланды, – 20.04.1786) – английский астроном. В возрасте 5 лет, переболев скарлатиной, потерял речь и слух. Окончил школу для глухих в Эдинбурге и Уоррингтонскую академию. Затем жил и работал в своём имении в Йорке. Джон Гудрайк и его друг Эдуард Пиготт (1753–1825) на частной обсерватории отца Пиготта первыми начали систематическое изучение переменных звёзд. Гудрайк открыл (1782) периодичность изменений блеска звезды Алголь и сделал верное предположение о природе её переменности (взаимное затмение компонентов в двойной звезде). Открыл переменность звёзд β Лиры и δ Цефея. Умер от воспаления лёгких через 4 дня после своего избрания в Лондонское королевское общество, так и не узнав об этом.

ГУЛД, Бенджамин (Gould, Benjamin Apthorp) (27.09.1824, Бостон, шт. Массачусетс, США, – 26.11.1896, Кембридж, шт. Массачусетс, США) – американский астроном. Обратил внимание (1879) на кольцо из ярких звёзд, опоясывающее небесную сферу и наклонённое на 18° к галактическому экватору («Пояс Гулда»), оказавшееся частью Местной системы нашей Галактики.

ГУРЕВИЧ, Лев Эммануилович (14.06.1904, Париж, Франция, – 28.06.1990, Ленинград, СССР) – советский физик и астрофизик, профессор (1946), основоположник школы физической кинетики, зав. сектором Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН. Окончил (1925) Ленинградский политехнический институт. Открыл (1940) эффект увлечения электронов фононами в твёрдых телах («фононный ветер»), термомагнитные волны, существующие в проводниках при наличии градиента температуры. Совместно с А. И. Лебединским развил (1945–1950) теорию конденсации звёзд и планетных систем из разреженного вещества. Доказал (1947–1954) возможность повторяющихся термоядерных взрывов в тонких оболочках звёзд. Разработал теорию первичного космологического вакуума (1975). Книги: Гуревич Л. Э. Физическая кинетика (М.: Гостехиздат, 1940), Гуревич Л. Э., Чернин А. Д. Введение в космогонию: происхождение крупномасштабной структуры Вселенной» (М.: Наука, 1978), Гуревич Л. Э., Чернин А. Д. Происхождение галактик и звёзд (М.: Наука, 1983) и др.

ГУСЕВ, Матвей Матвеевич (16(28).11 ноября 1826 г., Вятка, Россия, – 10 (22) апреля 1866 г., Берлин) – русский астроном, один из пионеров астрофизики в России. Окончил Казанский университет (1847), работал в Пулковской обсерватории (1850–1852), с 1852 г. – в обсерватории в Вильнюсе (Вильно). Создал одну из первых в мире фотографическую службу Солнца. Наблюдательно подтвердил (1860) вывод о вытянутости фигуры Лу-

ны в направлении Земли. Основал (1860) первый в России физико-математический журнал «Вестник математических наук».

ГЮЙГЕНС, Христиан (Huygens, Christiaan) (14.4.1629, Гаага, Нидерланды, – 8.7.1695, Гаага) – голландский физик, математик, астроном. Труды в области теории вероятностей механики и оптики. Строил длиннофокусные телескопы. Открыл кольцо Сатурна и его спутник – Титан. В трактате «Космотеорос» защищал идею множественности обитаемых миров.

Д

ДАЛЬНОСТЬ ГОРИЗОНТА – максимальное расстояние от наблюдателя до видимых деталей на ровной поверхности планеты. Возрастает с увеличением высоты точки наблюдения над поверхностью. При высоте 1,7 м составляет 5 км. См. *Понижение горизонта.*

ДАНЖОН, Андре (Danjon, André-Louis) (6.04.1890, Кан, Франция, – 21.04.1967, Париж) – французский астроном, член Парижской АН (1948). Директор Страсбурской обсерватории (1930–1945) и Парижской обсерватории (1945–1963). Изобрёл призменную астролябию («астролябия Данжона») – прибор для измерения долготы и широты места. Предложил метод оценки качества изображений звёзд по виду дифракционной картины.

ДАРВИН, сэр Джордж Хоуард (Darwin, G. H.) (9.07.1845, Даун, графство Кент, Англия, – 7.12.1912, Кембридж, Англия) – английский математик и астроном, сын натуралиста Чарлза Дарвина. Окончил Тринити-колледж Кембриджского университета, где в 1883 г. стал Плюмиановским профессором астрономии и экспериментальной философии. Он применил гармонический анализ для предвычисления морских приливов, изучил влияние приливного трения на эволюцию Земли, Луны и двойных звёзд. Теоретически восстановил прошлую и определил будущую историю системы Земля–Луна и показал возможность изменения длины месяца и суток, а также возможность возникновения Луны путём её отделения от Земли (ныне эта гипотеза непопулярна). Автор классической книги «Приливы и родственные им явления в Солнечной системе» (1898; рус. пер. 1923, 1965). Исследовал проблему трёх тел и периодические орбиты.

ДАТЧИК ГАРТМАНА – детектор искажений, вносимых атмосферой в волновой фронт излучения, приходящего от опорной звезды (естественной или искусственной). Датчик используется в системе адаптивной оптики. Он назван так, поскольку по принципу действия напоминает диафрагму Гартмана. Основой датчика Гартмана служит матрица микролинз, помещённая в выходном зрачке телескопа. Каждая из микролинз строит отдельное изображение опорной звезды на ПЗС-приёмнике. Смещения мгновенного фотоцентра каждого из изображений содержат информацию о меняющихся искажениях волнового фронта на входной апертуре.

ДАФНИС (S XXXV, Daphnis) – естественный спутник Сатурна. Открыт 6 мая 2005 г. на снимках, переданных зондом «Кассини». Большая полуось орбиты 136 505 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,5940798 сут = 14,2579 час. Эксцентриситет орбиты 0,0. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,004°. Размеры 8,6×8,2×6,4 км. Масса $7{,}7 \cdot 10^{13}$ кг. Средняя плотность около 0,34 г/см^3. Альбедо около 50%. Блеск 24^m и максимальное угловое расстояние от планеты 22″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 78 К.

ДВИЖУЩЕЕСЯ СКОПЛЕНИЕ – группа звёзд, не связанных гравитационно, но населяющих ограниченную область Галактики, имеющих почти одинаковые пространственные скорости, одинаковый возраст и химический состав, что несомненно указывает на взаимную генетическую связь этих звёзд. В последнее время такие звёздные коллективы называют движущимися группами (moving group). Вместе со звёздными ассоциациями и звёздными потоками они образуют «кинематические группы» (kinematic groups). Их объединяет очень низкая пространственная плотность, говорящая о том, что звёздная группировка распадается под влиянием приливного эффекта Галактики. Однако сходство пространственных скоростей и возрастов звёзд говорит о том, что члены движущейся группы (равно как звёздной ассоциации или звёздного потока) связаны между собой общим происхождением и некогда представляли более плотное объединение.

Одна из ближайших движущихся групп – группа Большой Медведицы, в которую входят пять из семи ярких звёзд Ковша. Всего в ней выделено полсотни членов, четверть из которых видна в созвездии Большая Медведица, а остальные разбросаны по всему небу, поскольку Солнце располагается сейчас на самом краю этой группы (практически внутри неё). Расстояние до центра группы около 25 пк. Возраст звёзд группы около 500 млн лет. Само Солнце, естественно, не относится к этой группе; оно в 10 раз старше.

Ещё ближе к нам, на расстоянии около 20 пк, расположена движущаяся группа AB Золотой Рыбы (AB Dor), в которой выделено около 30 членов возрастом 50 (или 120) млн лет. Известны также движущиеся группы Альфы Персея, Беты Живописца, группа Кастора, а также группа Гиад (Поток Гиад, Hyades Stream), окружающая известное звёздное скопление Гиады.

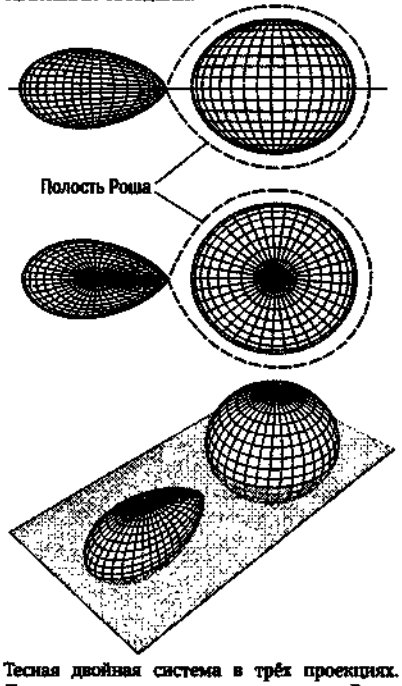
Исследование движущихся групп позволяет лучше понять динамику процесса звёздообразования и процессы распада звёздных скоплений и ассоциаций. Кроме того, движущиеся группы звёзд помогают в построении шкалы космических расстояний. Вследствие эффекта перспективы собственные движения отдельных звёзд группы кажутся наблюдателю сходящимися в одной точке неба – в точке радианта. Угол между радиантом и звездой (α) равен углу между вектором пространственной скорости звезды и лучом зрения наблюдателя в её направлении. Поэтому, спектроскопически измерив лучевую скорость звезды и зная угол α, легко вычислить трансверсальную (перпендикулярную лучу зрения) скорость звезды, а сравнивая её с собственным движением звезды, легко вычислить расстояние до неё. Этот способ определения расстояния до звёзд движущегося скопления называют методом группового параллакса. Он оказался очень полезен при определении расстояния до скопления Гиады.

ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА – две звезды, видимые на небе очень близко друг к другу или даже неразличимые по отдельности. Если звёзды действительно расположены рядом друг с другом в пространстве и связаны силой тяготения, то это «физическая двойная». Примером физической пары, хорошо видимой в бинокль или небольшой телескоп, служит яркая звезда γ And (гамма Андромеды), на расстоянии около 10″ от которой заметен её более слабый спутник. Не менее половины наблюдаемых в Галактике звёзд являются физическими парами (см. *Двойная система*). А если звёзды находятся на разном расстоянии от нас и видны рядом лишь в результате случайной проекции, то это «оптическая двойная».

ДВОЙНАЯ СИСТЕМА – система из двух звёзд, обращающихся по орбитам вокруг общего центра массы. Такие системы бывают нескольких типов: у «визуальных двойных» оба компонента видны по отдельности. Но даже если компоненты не видны раздельно, о двойственности системы можно узнать по анализу её спектра, по периодическому изменению яркости или по периодическому колебанию положения на небе. Так, «спектральные двойные» обнаруживают по периодическому доплеровскому смещению линий в спектре: если в нём заметны линии двух компонентов, то они периодически раз-

дваиваются, а если только одного – то колеблются то в голубую, то в красную сторону спектра. «Астрометрические двойные» проявляют себя периодическими колебаниями в собственном движении видимого компонента. Если Земля лежит в плоскости орбиты двойной звезды, то её компоненты периодически затмевают друг друга, такие системы называют «затменными двойными»; их обнаруживают по периодическому ослаблению блеска в моменты затмений (см. *Затменные переменные звёзды*).

Более яркую звезду двойной системы обычно называют главным компонентом системы, а менее яркую – вторичным компонентом или спутником. Когда расстояние между звёздами оказывается таким, что лишь ненамного превышает сумму их радиусов, – такие системы называют тесными, – может возникнуть перетекание (аккреция) вещества с менее плотной звезды на более плотную. Такие двойные звёзды называют тесными двойными системами. Обмен вещества между звёздами сильно влияет на их эволюцию. Системы из трёх и более звёзд (но не больше нескольких десятков) называют кратными звёздными системами или просто – кратными звёздами.



Тесная двойная система в трёх проекциях. Пунктиром показана граница полости Роша правой звезды. Левая звезда уже достигла границы своей полости Роша, поэтому её форма заметно искажена приливным эффектом, а её вещество может перетекать на правый компонент

ДВОЙНОЙ ПУЛЬСАР ХАЛСА–ТЕЙЛОРА – двойная система, оба компонента которой – нейтронные звёзды, обращающиеся с орбитальным периодом 7,75 часа, причём один из компонентов является радиопульсаром PSR B1913+16; другие его обозначения: PSR J1915+1606 и PSR 1913+16. Его английское название: Hulse–Taylor binary pulsar.

Физики из Принстонского университета (США) Russell Alan Hulse и Joseph Hooton Taylor открыли этот объект в 1974 г. и путём длительных наблюдений обнаружили, что его орбитальный период медленно сокращается. Расчёты в рамках общей теории относительности показали, что сокращение периода происходит именно в таком темпе, какой и должен быть, если механическую энергию уносят гравитационные волны. За эту работу Халс и Тейлор награждены Нобелевской премией по физике 1993 г.

Считается, что эта работа косвенно подтвердила существование гравитационных волн. Однако прямой регистрации гравитационных волн с помощью наземных детекторов гравитационных волн до сих пор (2012) проделать не удалось.

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ФОТОМЕТР, или **двухзвёздный фотометр**, – астрономический фотометр, позволяющий выполнять измерение потоков излучения от двух звёзд одновременно. Обычно это изучаемая звезда и звезда сравнения, или изучаемая звезда и фон неба.

ДЕВА – крупное зодиакальное созвездие, лежит между Львом и Весами, содержит много интересных звёзд и галактик. В мифах Дева представляет богиню любви и материнства. Ярчайшая звезда (α Vir) – Спика, что на латинском значит «колос». Спика – очень тесная двойная система; в ней с периодом 4 сут вокруг общего центра массы обращаются две горячие голубые звезды; каждая из них раз в десять массивнее Солнца, а светимость каждой в тысячу раз выше солнечной. Эти звёзды так близки друг к другу, что взаимная гравитация и быстрое вращение деформируют их тела: звёзды имеют эллипсоидальную форму, поэтому их орбитальное движение приводит к небольшому колебанию блеска Спики. Звезда Порримa (γ Vir), носящая имя богини пророчеств, – одна из ближайших к нам двойных звёзд: расстояние до неё 39 св. лет. Два её компонента, очень похожие друг на друга, обращаются по вытянутой орбите с эксцентриситетом 0,883 и периодом 169 лет. Блеск каждого из них $3{,}5^m$, а вместе $2{,}8^m$. Максимальное расстояние между ними около 7″ было в 1921 г., тогда их можно было разделить в любительский телескоп, но к 2005 г. оно уменьшилось до 0,3″, и звезда стала видна как одиночная. После 2020 г. её вновь можно будет увидеть как двойную в маленький телескоп.

На расстоянии около 55 млн св. лет находится скопление галактик Virgo, содержащее более 3000 галактик, среди которых эллиптические M49, M59, M60, M84, M86, M87 и M89; пересечённая спираль M58, яркая спираль M90, повёрнутая к нам ребром спираль M85 и большая, развернутая плашмя спираль M61. Почти с ребра видна галактика Сомбреро (M104), названная так из-за мощной тёмной пылевой полосы, проходящей вдоль экваториальной плоскости. В созвездии Дева расположен ярчайший квазар 3C 273; относительно высокий блеск (12^m) делает его наиболее далёким объектом, доступным любительскому телескопу: расстояние до него около 3 млрд св. лет!

ДЕЗДЕМОНА (U X, Desdemona) – естественный спутник Урана. Его открыл Стивен Синнотт 13 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 62 658 км. Орбитальный период 0,47364960 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00013. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,113°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 90×54×54 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным, причём большая ось эллипсоидальной фигуры спутника постоянно ориентирована на планету. Масса около $1{,}8 \cdot 10^{17}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 11 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 27 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск $22{,}0^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 5″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

ДЕЙМОС (M II, Deimos) – естественный спутник Марса. Большая полуось орбиты 23,46 тыс. км. Орбитальный период 1,262441 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0002. Наклонение орбиты к плоскости Лапласа 1,79°. Наклон плоскости Лапласа к экватору планеты 0,90° (эпоха 1950.0). Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Размер 15×12,2×10,4 км. Масса $1{,}48 \cdot 10^{15}$ кг. Средняя плотность 1,47 г/см^3. Блеск $12{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1′ 02″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Автор открытия – Асаф Холл (1877).

ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ – изображение, образованное сходящимися лучами. Его можно увидеть, если в место схождения лучей поместить белый экран, и зарегистрировать, если этот экран будет светочувствительным (фотопластинка, видикон, ПЗС-матрица). Действительные изображения получают, например, при падении пучка параллельных лучей на собирающую линзу или вогнутое зеркало. Противоположностью действительного является мнимое изображение, которое образуется расходящимися

лучами; его можно увидеть только с помощью дополнительной оптической системы, в частности оптической системы глаза.

ДЕЛОНЭ, Шарль Эжен (Delaunay, Charles-Eugène) (9.04.1816, Люзиньи-сюр-Барс, Франция, – 5.08.1872, Шербур, Франция), французский астроном и математик. Открыл (1865) вековое замедление вращения Земли, вызванное её приливным взаимодействием с Луной и Солнцем. Разработал (1846–1855) метод решения задачи возмущённого движения (метод Делонэ).

ДЕЛЬФИН – экваториальное созвездие; симпатичная маленькая группа звёзд, похожая на ромбик из четырёх звёзд с хвостиком из двух звёзд. Лежит между Орлом и Лебедем, к востоку от Стрелы – столь же маленького и симпатичного созвездия. Согласно греческому мифу, это тот самый дельфин, который помог Посейдону найти нимфу Амфитриту, за что и был им помещён на небо. Интересный объект – двойная звезда γ Del в северо-восточном углу ромбика.

ДЕМПФИРОВАНИЕ – сглаживание, торможение резких изменений в какой-либо системе. Например, это дополнительное трение, которое намеренно вводится в механическую систему для гашения или уменьшения амплитуды её нежелательных вибраций. В электронных системах – специальная цепь из резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности, уменьшающая нежелательные электрические колебания.

ДЕНЕБ – α Лебедя, звезда 1,3 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 3,3 тыс. св. лет. Белый сверхгигант со светимостью в 270 тыс. раз выше солнечной. Вместе с Вегой (в Лире) и Альтаиром (в Орле) образует известный астеризм – Летний треугольник.

ДЕНЬ – светлая часть суток между восходом и заходом верхнего края Солнца. Продолжительность (долгота) дня зависит от географической широты места и меняется с изменением склонения Солнца. За полярными кругами долгота дня может превышать 24 ч (полярный день). Часто астрономические сутки также называют «днём», например говорят, что продолжительность года составляет 365 или 366 дней. Но лучше этого избегать и сутки называть сутками, а светлую часть суток – днём.

ДЕНЬ АСТРОНОМА, или Международный день астрономии (англ. *Astronomy Day*), – неформальный международный праздник, введённый в 1973 г. группой американских астрономов-любителей под руководством Дугласа Бергера. Этот праздник, проходящий под девизом «Нести астрономию людям» (англ. «*Bringing Astronomy to the People*»), отмечается ежегодно в субботу, попадающую во временной интервал с середины апреля до середины мая, и ближайшую ко дню, когда Луна видна в фазе первой четверти. Главное мероприятие – вечерние наблюдения небесных объектов, для которых опытные любители астрономии приглашают к своим телескопам всех желающих. Момент для праздника выбран не случайно. Во-первых, во многих странах в это время года уже достаточно тепло. Во-вторых, после ночных субботних наблюдений у людей есть возможность выспаться в воскресенье. В-третьих, Луна видна в эффектной фазе первой четверти и при этом высоко в небе, что удобно для наблюдений. Днём астрономии заканчивается Неделя астрономии, начинающаяся с предшествующего понедельника. Предыдущие Дни астронома отмечались, например, 21 апреля 2007 г., 10 мая 2008 г., 2 мая 2009 г., 24 апреля 2010 г. В последнее время организуются и аналогичные осенние мероприятия, например, День астронома был 16 октября 2010 г., а также 7 мая и 1 октября 2011 г. Особого размаха этот праздник достиг в 2009 г., который Международный астрономический союз и ЮНЕСКО объявили Международным годом астрономии. Следующие Дни астронома намечены на 28 апреля и 20 октября 2012 г., 20 апреля и 12 октября 2013 г., 10 мая и 4 октября 2014 г.

ДЕПОЛЯРИЗАТОР – устройство, преобразующее поляризованное излучение в неполяризованное. Обычно в деполяризаторах используется принцип усреднения поляризации – во времени, в пространстве или по длине волны. Деполяризаторы используют в некоторых типах поляриметров, а также для устранения зависимости чувствительности приёмника от поляризации измеряемого излучения, например в фотоумножителях.

ДЕСПИНА (N V, Despina) – естественный спутник Нептуна. Его открыли Стив Синнотт и др. в июле 1989 г. на снимках, переданных «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 52 526 км. Орбитальный период 0,3346555 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0002. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,22°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Размеры 180×48×128 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $2{,}2 \cdot 10^{18}$ кг при средней плотности около 1,2 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 2,6 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 63 м/с. Альбедо около 9%. Видимый блеск $22{,}6^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $2''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 51 К.

Вследствие короткого орбитального периода Деспина испытывает приливное торможение и приближается к Нептуну. Вероятно, она уже практически достигла предела Роша, поэтому в будущем может разрушиться и образовать кольцо либо погрузиться в атмосферу Нептуна.

ДЕТЕКТОР – устройство, преобразующее приходящее излучение, частицы и т. п. в регистрируемый сигнал. Примеры: ПЗС-приёмник, фотографическая эмульсия, фотодиод, болометр, радиоприёмник, рентгеновский детектор, детектор нейтрино, детектор гравитационных волн.

ДЕТЕКТОР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ – прибор для регистрации гамма-лучей. Поскольку земная атмосфера непрозрачна для гамма-лучей, детекторы для их регистрации устанавливают на геофизических ракетах, искусственных спутниках Земли и межпланетных зондах. Для регистрации гамма-лучей применяют пропорциональные счётчики, сцинтилляционные детекторы, твердотельные детекторы, ядерные эмульсии и искровые камеры. Эти же типы детекторов используют и для регистрации жёсткого рентгеновского излучения и космических лучей (т. е. космических частиц высокой энергии).

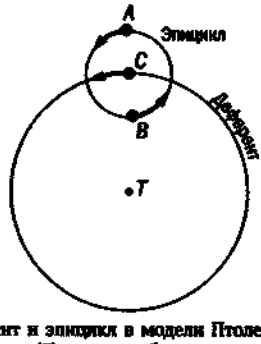
ДЕТЕКТОР НЕЙТРИНО – прибор для регистрации элементарных частиц нейтрино. Обычно имеется в виду нейтрино космического происхождения. Работа первого в мире детектора космического (солнечного) нейтрино началась в 1967 г. и продолжалась до 1998 г. под руководством Раймонда (Рэя) Дэвиса [Raymond (Ray) Davis, Jr., 1914–2006]. Мишенью детектора служила ёмкость с 600 т тетрахлорэтилена (перхлорэтилена) C_2Cl_4, установленная на глубине 1,5 км в шахте, ранее созданной для добычи золота (Хоумстейк, шт. Ю. Дакота, США). Столь значительная толща горных пород необходима для защиты детектора от космических лучей и других видов естественного радиоактивного излучения, на фоне которого было бы практически невозможно зарегистрировать нейтрино. Детектирование нейтрино основано на реакции превращения хлора-37 в аргон-37, который радиоактивен, и его можно обнаружить по высокоэнергичному электрону, излучаемому в момент распада ядра. Исчезающе малое количество атомов аргона, рождаемых нейтрино во всей массе рабочего вещества мишени, аккумулировалось путём продувки ёмкости гелием с последующим разделением гелия и аргона путём вымораживания.

Два других детектора нейтрино, SAGE и GALLEX, работают с использованием реакции захвата нейтрино, при которой галлий-71 превращается в радиоактивный германий-71. Удалось зарегистриро-

вать нейтрино и по черенковскому излучению высокоэнергичных электронов в водной среде. Высокоэнергичные электроны возникают в результате превращения нейтрино и протона в нейтрон и позитрон или ускорения электронов за счёт прямого соударения с нейтрино. Сейчас на этом принципе работает несколько детекторов нейтрино – в глубоких шахтах, под водой и даже в глубинах антарктического льда. См. *Нейтринный детектор.*

ДЕТЕКТОР РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ – прибор для регистрации рентгеновского излучения. Поскольку земная атмосфера непрозрачна для рентгеновского излучения, детекторы для его регистрации устанавливают на геофизических ракетах (вертикально поднимающихся за пределы атмосферы), искусственных спутниках Земли и межпланетных зондах. Для регистрации рентгеновского излучения применяют пропорциональные счётчики, сцинтилляционные детекторы, ПЗС, твердотельные детекторы, ядерные эмульсии, искровые камеры и рентгенкалориметры. Большинство перечисленных типов детекторов используется и для регистрации гамма-излучения, а также частиц космических лучей.

ДЕФЕРЕНТ (лат. *deferens* – несущий, перемещающий) – в геоцентрической системе мира Птолемея это окружность, по которой движется центр эпицикла. В простейшем варианте системы Птолемея в центре деферента располагается Земля, по деференту с постоянной скоростью вокруг Земли обращается эпицикл, по которому с постоянной скоростью обращается планета. Плоскости эпицикла и деферента могут не совпадать. Эта схема использовалась для объяснения наблюдаемого петлеобразного движения планет.



Деферент и эпицикл в модели Птолемея. Вокруг Земли (*T*) по кругу обращается центр эпицикла (*C*), вокруг которого по круговому эпициклу обращается планета. В области точки *A* с Земли наблюдается её прямое движение, а в области точки *B* – попятное

ДЖАККОНИ, Риккардо (Giacconi, Riccardo) (р. 6.10.1931, Генуя, Италия) – американский астроном, один из создателей рентгеновской астрономии. Совместно с Б. Росси первым предложил (1960)



Риккардо Джаккони

строить рентгеновские телескопы для внеатмосферной астрономии. Открыл (1962) первые галактические рентгеновские источники при наблюдении с геофизических ракет. Участвовал в создании крупнейших рентгеновских спутников – «Uhuru», «Эйнштейн», «Чандра». Был первым директором Института космического телескопа, обеспечивающего работу телескопа «Хаббл». Позже – профессор университета Джона Хопкинса. Удостоен многих наград, в том числе Нобелевской премии по физике 2002 г.

ДЖЕФРИС, Харолд (Jeffreys H.) (22.04.1891, Фэтфилд, графство Дарем, Англия, – 18.03.1989, Кембридж) – английский геофизик и астроном. Учился в Кембриджском университете. После блестящего окончания учёбы был оставлен в университете (1914) и с 1946 по 1958 г. был Плюмианским профессором астрономии и экспериментальной философии в Кембридже. Был одним из ведущих геофизиков мира и оставил много трудов по космогонии. Вместе с нидерландским астрономом Виллемом де Ситтером определил сплюснутость Земли по прецессии её оси. Он точно измерил фигуру Луны, вычислил энергию приливного трения на океанских побережьях и развил вслед за Джорджем Дарвином теорию приливной эволюции системы Земля–Луна. Вместе с сэром Джеймсом Джинсом стал автором приливной гипотезы происхождения Солнечной системы, предполагающей столкновение Солнца с другой звездой. Книга Джефриса «Земля: её происхождение, история и физическое строение» (6-е изд., 1976) является фундаментальным пособием по геофизике. Он написал также книги по математике и математической физике. В 1953 г. удостоен рыцарского звания.

ДЖИНС, Джеймс Хопвуд (Jeans, Sir James Hopwood) (11.09.1877, Ормскерк, Ланкашир, Англия – 16.09.1946, Доркинг, Англия) – английский физик и астрофизик. В 1900 г. окончил Тринити-колледж в Кембриджском университете. На протяжении двух лет был вынужден лечиться в санатории от туберкулёза. В 1906 г. избран членом Лондонского королевского общества, а с 1919 по 1929 г. был почётным секретарём этого общества. В 1923–1924 гг. президент Британской ассоциации развития науки, в 1925–1927 гг. президент Королевского астрономического общества. Джинс внёс большой вклад в решение важнейших проблем космогонии. Вместе с Харолдом Джефрисом он выдвинул приливную гипотезу происхождения Солнечной системы. Джинс создал теорию гравитационной неустойчивости (1902) и открыл радиативную вязкость в звёздах (1926).

Основные труды Джинса: «Динамическая теория газов» (1904), «Теоретическая механика» (1906), «Математическая теория электричества и магнетизма» (1908), «Проблемы космогонии и звёздной эволюции» (1919, на основе лекции, прочитанной в Кембридже в 1917 г. при получении премии им. Дж. К. Адамса), «Небулярная гипотеза и современная космогония» (1922), «Астрономия и космогония» (1928). Около 1925 г. Джинс прекратил научные исследования и занялся популяризацией науки, что принесло ему богатство и всемирную известность. Его популярные лекции и книги открыли для многих путь в науку. Среди наиболее известных его книг – «Загадочная Вселенная» (1930), в которой он делает вывод, что Бог – чистый математик; «Вселенная вокруг нас» (1929), «Звёзды и их судьбы» (1931) и «Эос, или Космогония в широком смысле» (1929). Позже он обратился к философии и написал «Новые основания науки» (1933) и «Физика и философия» (1942).

ДЖОНС Харольд Спенсер (Sir Harold Spencer Jones) (29.03.1890, Лондон, Англия, – 4.11.1960, Лондон) – английский астроном. Окончил Кембриджский университет. С 1923 по 1933 г. был Астрономом Его Величества на мысе Доброй Надежды (т. е. директором Капской обсерватории), а с 1933 г. стал Королевским астрономом, т. е. директором Гринвичской обсерватории. В 1956 г., уйдя на пенсию, Джонс стал генеральным секретарём Международного совета научных союзов и исполнял эту обязанность до своей смерти. Он много сделал для точного определения астрономических величин из наблюдений и расчётов. Детально исследовал движение земных полюсов и неравномерность вращения Земли вокруг оси. Вычислил более точное значение массы Луны и уточнил её орбиту из наблюдений покрытия звёзд Луной. Вывел более точное значение солнечного параллакса из наблюдений астероида Эрос, использовав измерения по 2847 фотопластинкам, и таким образом уточнил расстояние Земли от Солнца. Сэр Харольд на-

писал несколько книг, среди которых «Миры без конца» (1935) и «Картина Вселенной» (1947).

ДЖУЛЬЕТТА (U XI, Juliet) – естественный спутник Урана. Его открыл Стивен Синнотт 3 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 64 358 км. Орбитальный период 0,49306549 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0007. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,065°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 150×74×74 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным, причём большая ось эллипсоидальной фигуры спутника постоянно ориентирована на планету. Масса около $5{,}6 \cdot 10^{17}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 16 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 40 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск 21,1^m и максимальное угловое расстояние от планеты 5″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

ДИАГОНАЛЬНОЕ ЗЕРКАЛО – плоское зеркало (или призма с углом 90°), установленное под углом 45° к оптической оси и изменяющее направление падающего пучка света на 90°. Диагональное зеркало служит вторичным зеркалом в телескопе системы Ньютона, а также используется для излома световых пучков в фокусах куде и Несмита.

ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА–РАССЕЛА – диаграмма, показывающая связь между спектральным классом (или цветом, или эффективной температурой поверхности) и светимостью звёзд различного типа. Названа по именам Э. Герцшпрунга, обнаружившего эту зависимость, и Г. Рассела, детально её изучившего. На диаграмме Герцшпрунга–Рассела около 90% звёзд лежат в пределах узкой полосы, называемой главной последовательностью и тянущейся из верхнего левого угла диаграммы (высокая температура и высокая светимость) к правому нижнему. Остальные 10% звёзд, лежащих вне главной последовательности, составляют белые карлики, попадающие в левую нижнюю часть диаграммы, и некоторое количество гигантов и сверхгигантов, расположенных в верхней и в правой частях диаграммы. Диаграмма Герцшпрунга–Рассела позволяет делать важные выводы о природе и эволюции звёзд. Профессиональные астрономы чаще называют её «диаграммой спектр – светимость».

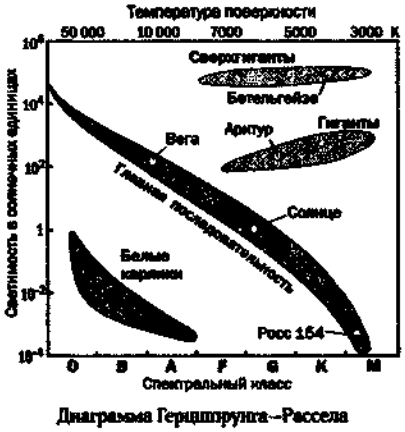


Диаграмма Герцшпрунга–Рассела

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ – графическое представление зависимости коэффициента усиления антенны приёмника или коэффициента направленного действия антенны передатчика от направления антенны в заданной плоскости. Этот термин используется не только в отношении технических устройств (приёмников, передатчиков), но и в отношении природных источников излучения, например радиопульсаров. Обычно диаграмму направленности изображают в полярных координатах, реже – в прямоугольных. У симметричной антенны (например, параболического рефлектора) она имеет вид булавы, а в проекции на плоскость – лепестка, поскольку максимальная чувствительность достигается в направлении оптической оси и уменьшается с удалением от неё. По бокам от основного лепестка обычно присутствуют боковые лепестки, возникающие из-за усиления чувствительности антенны в этих направлениях в результате интерференции.

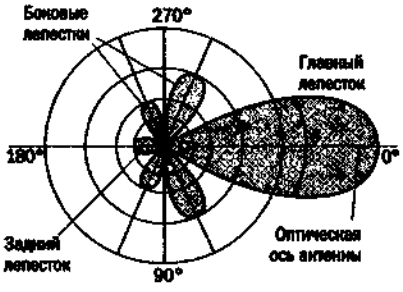


Диаграмма направленности параболической антенны радиотелескопа в полярных координатах. Антенна находится в начале координат (точка О), а расстояние от точки О до кривой пропорционально чувствительности антенны в данном направлении. Полуширина основного лепестка диаграммы (раскрыв на уровне половины максимальной чувствительности) определяется дифракцией: $\delta \approx \lambda/D$, где λ – длина волны излучения, D – диаметр антенны

ДИАПАЗОНЫ СПЕКТРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ – условное деление шкалы электромагнитных волн.

Инфракрасный диапазон обычно подразделяют на ближний инфракрасный диапазон (от 700 нм до 5–40 мкм) и дальний инфракрасный диапазон (от 5–40 мкм до 100 мкм). Ультрафиолетовый диапазон также подразделяют на ближний (200–350 нм) и дальний, или вакуумный (10–200 нм); последний так назван, поскольку интенсивно поглощается атмосферой и исследуется только вакуумными приборами. В обоих случаях (ИК и УФ) «ближний» означает соседство с оптическим диапазоном. Часто как отдельный указывают субмиллиметровый диапазон (от 0,3 до 1 мм; частота от $3 \cdot 10^{11}$ до 10^{12} Гц).

Основные диапазоны спектра электромагнитного излучения

Диапазон	Длина волны	Частота, Гц
Гамма-лучи	0–0,01 нм	$\infty - 3 \cdot 10^{19}$
Рентгеновские лучи	0,01–10 нм	$3 \cdot 10^{19} - 3 \cdot 10^{16}$
Ультрафиолетовые лучи	10–350 нм	$3 \cdot 10^{16} - 8{,}6 \cdot 10^{14}$
Видимый свет	350–700 нм	$8{,}6 \cdot 10^{14} - 4{,}3 \cdot 10^{14}$
Инфракрасное излучение	700 нм – 100 мкм	$4{,}3 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{12}$
Микроволновое излучение	100 мкм – 10 мм	$3 \cdot 10^{12} - 3 \cdot 10^{10}$
Радиоволны	10 мм – ∞	$3 \cdot 10^{10} - 0$

ДИАПАЗОНЫ ЧАСТОТ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ДЛЯ РАДИОАСТРОНОМИИ, – интервалы частот в радиодиапазоне, частично или полностью зарезервированные международными соглашениями для проведения астрономических исследований. Предполагается, что в этих диапазонах должна соблюдаться радиотишина.

Диапазоны частоты, отведённые для радиоастрономии

37,5–38,25 МГц	14,47–14,5 ГГц
73–74,6 МГц	15,35–15,4 ГГц
150,05–153 МГц	22,21–22,5 ГГц
322–328,6 МГц	23,6–24 ГГц
406,1–410 МГц	31,1–31,8 ГГц
608–614 МГц	42,5–43,5 ГГц
1400–1427 МГц	86–92 ГГц
1660–1670 МГц	105–116 ГГц
2655–2700 МГц	182–185 ГГц
4800–5000 МГц	217–231 ГГц
10,6–10,7 ГГц	265–267 ГГц

ДИАФРАГМА ГАРТМАНА – непрозрачный экран с системой небольших отверстий, расположенных в определённом порядке. Такой экран помещают перед объективом телескопа для исследования его качества по методу Гартмана (Hartmann J. F., 1865–1936). Простейший вариант диафрагмы Гартмана, имеющий всего два отверстия, часто используют для фокусировки телескопов, оснащённых ПЗС-камерами. В этом случае расфокусированное изображение содержит два пятна, которые сходятся и расходятся при перемещении фокусировочного устрой-

ства. Когда достигнуто полное совпадение пятен, плоскость ПЗС-матрицы совпадает с фокальной плоскостью телескопа. Если используется диафрагма с тремя отверстиями, форму одного из них следует сделать отличной от других; это позволит различать по виду изображения зафокальное и предфокальное положения плоскости приёмника. При использовании этого способа вначале необходимо раз и навсегда определить соответствие ориентации отверстий и их изображений на приёмнике методом проб и ошибок.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН – отношение максимального регистрируемого детектором сигнала к минимальному. Минимальный сигнал (чувствительность прибора) обычно ограничивается собственным шумом системы, максимальный – переполнением (насыщением). Для фотоэмульсии динамический диапазон составляет около 1000, а для ПЗС достигает 300 000 (определяется отношением максимальной ёмкости пикселя к шуму считывания при нулевой экспозиции).

ДИНАМО-ЭФФЕКТ – см. *Гидромагнитное динамо.*

ДИОНА (S IV, Dione) – естественный спутник Сатурна. Открыт 21 марта 1684 г. Дж. Кассини с помощью Большого «воздушного» телескопа Парижской обсерватории. Тогда же он открыл Тефию, а до этого – Япет и Рею.

Большая полуось орбиты Дионы 377 396 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 2,736915 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0022. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,019°. Размеры 1128,8 × 1122,6 × 1119,2 км. Масса $1{,}09545 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,48 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 23 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 0,51 км/с. Геометрическое альбедо 1,0. Блеск $10{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1′01″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 87 К.

По орбите Дионы движутся ещё два маленьких спутника – Елена и Полидевк. Это «троянцы» в системе Сатурн–Диона. Полидевк располагается в точке Лагранжа L_5, двигаясь по орбите на 60° впереди Дионы, а Елена отстаёт от неё на 60°, занимая точку Лагранжа L_4.

ДИСК ГАЛАКТИКИ – плоская звёздно-газовая подсистема вращающейся галактики. Типичные размеры: диаметр 10–40 кпк, толщина 50–200 пк. В диске галактики сосредоточен почти весь межзвёздный газ и молодые звёзды. Их движение происходит весьма упорядоченно: они обращаются вокруг центра галактики по почти круговым орбитам, лежащим в одной плоскости. Диск галактики имеет высокую плотность по сравнению с окружающей его сферической составляющей галактики (корона, гало, балдж), населённой хаотически движущимися старыми звёздами, звёздными (шаровыми) скоплениями и тёмной материей. В дисках галактик часто наблюдаются спиральные волны плотности («рукава»), расходящиеся от центра галактики к периферии; в них особенно высока плотность межзвёздного газа и молодых звёзд.

ДИСК, ПРОТОПЛАНЕТНЫЙ – газово-пылевой диск, вращающийся вокруг молодой звезды и содержащий остатки протозвёздного вещества. В том случае, если сама звезда не разрушает этот диск до конца своим излучением и звёздным ветром, в нём формируются небольшие протопланетные тела – планетезимали. Затем часть из них объединяется в крупные планеты и их спутники, а другая часть остаётся в виде астероидов и ядер комет. Протопланетные диски уже обнаружены у многих молодых звёзд.

ДИСК ЭРИ – центральный кружок интерференционной картины, возникающей из-за дифракции света на краях объектива телескопа. Изображение точечного источника света, например звезды, даже в безаберрационном телескопе и при отсутствии атмосферных искажений не является точкой, а вследствие дифракции имеет вид диска с замытым краем, окружённого кольцами убывающей яркости. Центральное пятно дифракционной картины и называют диском Эри (Airy disk). Его радиус (до середины первого тёмного промежутка между краем диска и кольцом) составляет $1{,}22\lambda/D$ радиан, где λ – длина световой волны, D – диаметр объектива. Для оптических телескопов эта величина в угловых секундах имеет значение $120''/D$, если D выражено в миллиметрах, и называется рэлеевским угловым разрешением телескопа. У радиотелескопа, имеющего параболическую антенну, диск Эри соответствует главному лепестку диаграммы направленности, а кольца – боковым лепесткам.

ДИСПЕРСИЯ СВЕТА – разложение сложного света при помощи стеклянной призмы или дифракционной решётки на отдельные цветные лучи, идущие в разных направлениях и образующие на экране спектр. Например, при разложении белого света его спектр представляет цветную полоску с постепенным переходом цветов от красного до фиолетового.

ДИСПЕРСИЯ СКОРОСТЕЙ – мера отклонения скорости космических объектов от средней скорости той группы объектов, в которую они входят. В статистическом понимании дисперсия скоростей есть среднее арифметическое квадратов отклонений скоростей объектов v_i от их среднего арифметического значения $v_{ср} = (v_1 + v_2 + \ldots + v_n)/n$, т. е. дисперсия скоростей равна

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(v_i - v_{ср})^2,$$

где n – число объектов.

В литературе по звёздной астрономии дисперсией скоростей часто называют квадратный корень из приведённого выше выражения, т. е. величину, называемую в теории вероятностей средним квадратичным отклонением. Измерение дисперсии скоростей служит одним из способов установления принадлежности звёзд, галактик, межзвёздных облаков и т. д. к определённому скоплению этих объектов. У объектов, входящих в одно и то же скопление, дисперсия скоростей невелика. Наименьшую дисперсию скоростей имеют объекты, принадлежащие к плоской подсистеме Галактики. Так, голубые звёзды спектрального класса B имеют дисперсию скоростей около 10 км/с при средней скорости относительно Солнца около 20 км/с. Типичные представители сферической подсистемы Галактики – шаровые звёздные скопления – имеют дисперсию скоростей около 150 км/с при скоростях отдельных скоплений относительно Солнца до 500 км/с. Расстояния между скоплениями галактик увеличиваются со временем по закону Хаббла, но отдельные галактики в скоплениях имеют свои собственные (пекулярные) скорости. Дисперсия скоростей галактик в скоплениях составляет 300–1000 км/с.

ДИССЕКТОР ИЗОБРАЖЕНИЯ – то же, что *Рассекатель изображения.*

ДИССИПАЦИЯ (от лат. *dissipatio* – рассеяние). В широком смысле диссипацией называют процесс рассеивания чего-либо, например энергии. В астрофизике диссипацией обычно именуют явление улетучивания газов из атмосфер космических объектов, вызванное тем, что тепловые скорости движения молекул могут превышать вторую космическую скорость. Газы, молекулы которых имеют меньшие молекулярные веса, диссипируют – улетучиваются – легче других. В связи с этим такие летучие газы, как водород и гелий, практически отсутствуют в атмосферах планет земной группы, обладающих сравнительно слабыми гравитационными полями. В галактической динамике диссипацией звёздных скоплений называют вылет из них быстро движущихся звёзд. Как правило, это звёзды малой массы, которые в результате гравитационного взаимодействия с другими членами скопления приобретают скорости выше средней.

ДИССИПАЦИЯ АТМОСФЕР — ускользание газов из атмосфер космических тел, вызванное беспорядочным (тепловым) движением атомов и молекул. При диссипации молекулы газов должны преодолеть тяготение космического тела и сопротивление вышележащих слоёв газа. Молекулы нижних плотных слоёв атмосферы даже при наличии достаточной скорости не могут её покинуть из-за многочисленных столкновений друг с другом, меняющих направление и скорость их движения. Во внешних сильно разреженных слоях атмосферы столкновения атомов и молекул столь редки, что те из них, которые обладают скоростью, превышающей вторую космическую V_2 (скорость ускользания), покидают атмосферу. Скорость V_2 определяется по формуле: $V_2=(2GM/R)^{1/2}$, где M — масса космического тела (например, планеты), R — расстояние от центра планеты, G — гравитационная постоянная (см. *Космические скорости*). Согласно распределению Максвелла, наиболее вероятная тепловая скорость частиц газа $V_H = (2kT/m)$, где m — масса частицы, T — температура газа. Максвелловское распределение показывает, что всегда есть частицы с очень большими скоростями, но при $V_2 \gg V_H$ число таких частиц экспоненциально мало, поэтому диссипация эффективна лишь в тех случаях, когда V_2 превышает V_H не в слишком большое число раз: не более чем в 3–5 раз.

Скорость V_H тем выше, чем меньше масса частиц, т. е. вероятность диссипации выше у лёгких газов. К тому же, согласно барометрической формуле, распределение частиц газа в атмосфере с высотой таково, что в верхних слоях атмосферы преобладают газы с малой молекулярной массой, поэтому из атмосферы в первую очередь ускользают лёгкие газы — водород и гелий. Расчёты показывают, что время полного улетучивания водорода из земной атмосферы составляет всего несколько лет, а полного улетучивания гелия — несколько миллионов лет. Эти отрезки времени весьма малы по сравнению с продолжительностью существования Земли, поэтому в земной атмосфере водород и гелий постоянно обновляются за счёт поступления из земных недр и ряда атмосферных процессов. Водород, образующий «корону» вокруг Земли, является продуктом диссоциации молекул воды под действием ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца. Это же излучение поддерживает высокую температуру верхних слоёв земной атмосферы и облегчает ускользание атомов водорода и гелия.

Чем выше температура атмосферы (т. е. чем большее число молекул обладает высокими скоростями) и чем меньше сила тяжести, тем сильнее диссипация. Сила притяжения на поверхности Луны в 6 раз слабее земной, и поэтому к настоящему времени атмосфера Луны практически исчезла. У Меркурия и Марса, на поверхности которых сила тяжести меньше земной примерно в 3 раза, атмосфера существует, но очень разреженная. Планеты-гиганты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — благодаря большей силе притяжения и низкой температуре содержат в своих атмосферах много водорода и гелия. У многих спутников планет и астероидов $V_H \geqslant V_2$, поэтому они практически лишены атмосферы. На таких космических телах крайне слабая атмосфера может поддерживаться за счёт непрерывного выделения газов слагающими их твёрдую поверхность породами.

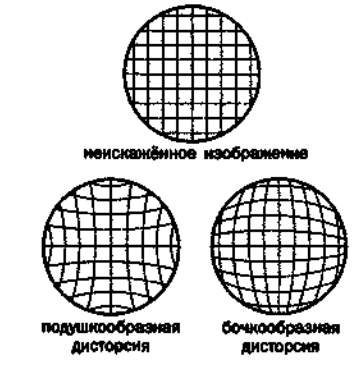
За критерий устойчивости атмосферы можно принять условие $V_H \leqslant 0{,}2V_2$, при котором время диссипации атмосферы превышает время существования планеты. У земной атмосферы эффективно диссипируют только водород и гелий; у Марса — водород, гелий и азот; атмосфера Венеры близка по устойчивости к земной. Атмосферы планет-гигантов устойчивы главным образом вследствие высокого значения скорости ускользания.

Атмосферы звёзд значительно горячее атмосфер планет (от 2800 К у звёзд спектрального класса M5 до 50 тыс. К у звёзд класса O5), а их короны ещё горячее (у Солнца до 2 млн К). Но и вторая космическая скорость у звёзд главной последовательности намного выше, чем у планет. Поэтому прямая тепловая диссипация атмосфер звёзд невелика. В потерях звёздами вещества гораздо более существенную роль играет газодинамическое истечение вещества — звёздный ветер. У горячих звёзд класса O значительные потери вещества происходят также за счёт давления излучения.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ — получение информации наблюдательными средствами без привлечения экспериментальных методов, требующих прямого вмешательства в изучаемый объект или процесс. Большая часть астрономических исследований основана на дистанционном зондировании, хотя аналогичные методы применяются и в других областях знания, например в биологии.

ДИСТАНЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ — наблюдения, проводимые без непосредственного присутствия наблюдателя у телескопа, когда управление телескопом осуществляет с большого расстояния (не из соседней комнаты). Развитие дистанционных наблюдений началось, когда возникла необходимость управлять телескопами, поднимаемыми в стратосферу на воздушных шарах или работающими на околоземной орбите на борту спутников. Позже методы дистанционных наблюдений начали применяться и в наземной астрономии. Дистанционные наблюдения позволяют снизить расходы, повысить эффективность использования обслуживающего персонала и наблюдательного времени, а также дать возможность любителям астрономии иногда проводить наблюдения на крупных телескопах. Развитие этих методов привело к созданию роботизированных телескопов.

ДИСТОРСИЯ (лат. *distorsio* — искривление) — аберрация оптической системы, нарушающая геометрическое подобие между объектом и его изображением. Обусловлена неодинаковостью линейного оптического увеличения на разных участках изображения. Различают подушкообразную, или положительную, дисторсию и бочкообразную, или отрицательную.



Дисторсия

ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ — минимально возможный размер светового пятна (d_{min}), которое можно получить, фокусируя электромагнитное излучение (например, свет) заданной длины волны λ в среде с показателем преломления n: $d_{min} = \lambda/(2n)$.

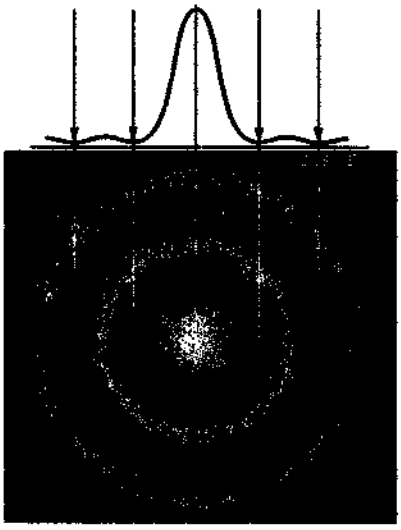
Дифракционный предел открыл в 1873 г. Эрнст Аббе. В астрономии под дифракционным пределом часто понимают минимальный угловой размер изображения монохроматического источника излучения с длиной волны λ, созданного линзой (объективом телескопа) диаметром D, который равен $\varphi_{min} \approx \lambda/D$ (см. *Дифракция*). В настоящее время разрабатываются методы преодоления дифракционного предела.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА — отклонение лучей, прошедших вблизи края экрана, или сквозь малое отверстие, или сквозь узкую щель. Роль отверстия играет и объектив телескопа. Степень отклонения лучей возрастает с увеличением длины волны излучения (λ) и уменьшением размера отверстия (например, диаметра объектива D). Дифракция ограничивает чёткость изображений, даваемых оптическими приборами; по этой причине с помощью идеально изготовленного объектива обычно не удаётся различить детали объекта угловым размером менее $1{,}22\lambda/D$.



Дифракция лазерного луча на круглом отверстии

Этот предел называют дифракционной разрешающей способностью (или угловым разрешением) объектива. См. *Разрешающая сила.*



Дифракция света (длина волны λ) от круглого отверстия диаметром *D*. Внизу – картина дифракции, вверху – распределение в ней освещённости

ДИФФУЗНОЕ ГАЛАКТИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ (ГАММА-) ИЗЛУЧЕНИЕ – компонент галактического рентгеновского (гамма-) излучения, характеризующийся непрерывным угловым распределением интенсивности.

ДЛИНА ВОЛНЫ – линейное расстояние между последовательными максимумами (или минимумами) волны. Обычно обозначается символом λ.

ДЛИНА КОГЕРЕНТНОСТИ – расстояние, при смещении на которое одной волны она остаётся когерентной другим.

ДНЕВНОЕ ЗРЕНИЕ – зрение при ярком освещении, достаточном для работы колбочек в сетчатке глаза. Противопоставляется сумеречному зрению, основой которого служит работа нечувствительных к цвету палочек сетчатки глаза.

ДОЛГОТА – одна из координат на поверхности тела сферической формы, например географическая долгота на Земле. Долгота – это угол между избранным начальным меридианом (например, Гринвичским меридианом на Земле) и меридианом, проходящим через объект.

ДОЛГОТА ВОСХОДЯЩЕГО УЗЛА – угол, измеряемый против часовой стрелки (при наблюдении из северного полушария) вдоль эклиптики от точки весеннего равноденствия до восходящего узла орбиты. См. *Элементы орбиты.*

ДОЛГОТА, ГАЛАКТИЧЕСКАЯ – одна из координат в галактической системе: угол, измеряемый вдоль галактического экватора к востоку, от точки, обозначающей галактический центр, до меридиана, проходящего через небесное светило и галактические полюса.

ДОЛГОТА, ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ – угол с вершиной в центре Земли между точками, в которых Гринвичский меридиан и меридиан данной области пересекают экватор.

ДОЛГОТА ПЕРИГЕЛИЯ – сумма аргумента перигелия (угол от восходящего узла орбиты до точки перигелия, измеряемый в плоскости орбиты против часовой стрелки) и долготы восходящего узла. Таким образом, долгота перигелия измеряется от точки весеннего равноденствия до точки перигелия последовательно в двух плоскостях. См. *Элементы орбиты.*

ДОЛГОТА, ЭКЛИПТИЧЕСКАЯ – одна из координат в эклиптической системе; угол, измеряемый вдоль эклиптики в сторону движения Солнца по эклиптике, между точкой весеннего равноденствия и меридианом, проходящим через небесное светило и полюса эклиптики.

ДОНАТИ, Джованни Баттиста (1826–1873) – итальянский астроном. В 1858 г. открыл комету Донати – одну из самых ярких и интересных в истории астрономии. Первый исследовал спектры комет и доказал, изучая комету Темпеля 1864 г., что кометы являются самосветящимися телами.

ДОППЛЕРОВСКОЕ СМЕЩЕНИЕ – смещение линий в спектре движущегося источника излучения вследствие эффекта Доплера.

ДОПОЛНЕННЫЙ ГАРВАРДСКИЙ КАТАЛОГ – астрономический каталог, включающий данные примерно о 9000 звёзд до $6{,}5^m$, опубликованный в 1908 г. Гарвардской обсерваторией. Впоследствии этот каталог послужил основой для Каталога ярких звёзд.

ДРАКОН – северное созвездие; извивается вокруг северного полюса мира, охватывая Малую Медведицу с трёх сторон. Греческий миф говорит, что это дракон Ладон, которого Гера поместила в саду Гесперид для защиты дерева с золотыми яблоками.

В прошлом звёзды Дракона играли более важную роль, чем в нашу эпоху. В результате прецессии земной оси северный и южный полюсы мира движутся среди звёзд. С 3700 до 1500 г. до н. э. северный полюс мира перемещался вблизи звезды Тубан (α Dra), и тогда именно она указывала направление на север. В наши дни эту роль играет Полярная звезда в М. Медведице. Движение полюса мира происходит с периодом 25 770 лет вокруг полюса эклиптики, в который направлена ось земной орбиты. Это место на небе отмечено симпатичным объектом: яркая зеленовато-голубая планетарная туманность NGC 6543 расположена почти точно в северном полюсе эклиптики, между звёздами ξ и χ Дракона. Ежегодно 8–10 октября наблюдается метеорный поток Драконид, вызванный частицами периодической кометы Джакобини–Циннера. Его метеоры, вылетающие из радианта в голове «дракона», отличаются невысокой скоростью. Обычно в течение часа можно заметить несколько метеоров.

ДРАКОНИДЫ – метеорный поток, обычно слабый, но дававший обильные дожди в 1926, 1933 и 1946 гг. Поток активен в период приблизительно с 8 по 10 октября каждого года. Максимальная активность наблюдается около 9 октября. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Дракон, т. е. метеоры выглядят летящими со стороны этого созвездия. Для наблюдателя в средней полосе России после полуночи созвездие Дракон в этот период располагается в северо-западной части неба. Геоцентрическая скорость частиц потока 23 км/с, поэтому его метеоры довольно медленные. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности около 10. Родоначальницей потока считается периодическая комета 21P/Джакобини–Циннера.

ДРЕЙЕР, Йохан Людвиг (Dreyer, Johan Ludvig Emil в молодости, а позже John Louis Emil) (13.2.1852, Копенгаген, Дания, – 14.9.1926, Оксфорд, Англия) – ирландский астроном датского происхождения. Наблюдатель в обсерватории Бёрнакл (1874–1878), ассистент в обсерватории в Дансинке (близ Дублина), директор обсерватории в г. Арма (1882–1916). Составил «Новый общий каталог туманностей и звёздных скоплений» (NGC), опубликованный в 1888 г., и дополнения к нему – ICI (1895) и ICII (1908); в целом свыше 13 тыс. объектов. Подготовил к печати и издал труды В. Гершеля и Т. Браге. Прези-

дент Лондонского королевского астрономического общества (1923–1924 гг.).

ДРЕЙК, Фрэнк (Drake, Frank Donald) (р. 28.5.1930, Чикаго, США) — американский радиоастроном. Инициатор многих программ по поиску связи с внеземными цивилизациями (SETI, CETI), один из авторов посланий на борту межпланетных зондов «Пионер» и «Вояджер». Широко известна «формула Дрейка» для оценки количества развитых цивилизаций в Галактике.

ДУБОШИН, Георгий Николаевич (25.12.1904, Серпухов, Россия, — 20.10.1986, Москва) — российский астроном. Окончил МГУ (1924), преподавал в МГУ с 1930 г., профессор (1935), в 1956–1979 гг. — зав. кафедрой небесной механики и гравиметрии МГУ и зав. отделом небесной механики Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (МГУ). Развил теорию Ляпунова об устойчивости движения (1940), впервые детально изучил поступательно-вращательное движение небесных тел, руководил созданием аналитической теории межпланетных траекторий. Автор фундаментальных курсов «Основы теории устойчивости движения» (1952), «Теория притяжения» (1961), «Небесная механика» (1962–1983). Лауреат Государственной премии СССР (1971).

ДУГИ (*лат. arcus, мн. arces*) — дугообразные формы рельефа, каналы (образования, возможно заполненные жидкостью) и острова (участки, окружённые жидкой субстанцией) на Титане.

ДУХИ — см. *Паразитные изображения.*

E

ЕВРОПА (J II, Europa) — естественный спутник планеты Юпитер, один из четырёх галилеевых её спутников, открытых итальянским физиком и астрономом Галилео Галилеем 8 января 1610 г. с помощью первого созданного им телескопа. Для земного наблюдателя видимая звёздная величина Европы в период противостояния составляет $5{,}3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 3′ 40″.

Европа — второй по расстоянию от Юпитера крупный спутник. Средний радиус его орбиты 670 900 км, её эксцентриситет 0,009. К экватору Юпитера орбита Европы наклонена на 0,0,47°. Орбитальный период 3,551181 сут, средняя орбитальная скорость 13,740 км/с. Эксцентриситет орбиты 0,009. Радиус Европы 1569 км (= 0,90 радиуса Луны); масса $4{,}8 \cdot 10^{22}$ кг; средняя плотность 3,01 г/см^3. На поверхности Европы ускорение свободного падения составляет 1,314 м/с^2, а вторая космическая скорость 2,025 км/с. Однако следует помнить, что взлетающий с такой скоростью аппарат удалится от поверхности Европы, но не покинет её орбиту. Вторая космическая скорость относительно Юпитера на орбите Европы составляет 19,4 км/с. Ось вращения Европы почти перпендикулярна плоскости орбиты (наклон 0,1°), а само вращение происходит синхронно с орбитальным движением, так что на Юпитер всегда смотрит одно и то же полушарие спутника, подобно тому как видимая сторона Луны смотрит на Землю. Причина та же — приливное влияние планеты.

Вся поверхность Европы покрыта ледяным панцирем, поэтому спутник хорошо отражает солнечный свет: его альбедо 0,67. Средняя температура поверхности 102 К, а диапазон измеренной температуры составляет от 50 К у полюсов до 125 К на экваторе. Спутник практически лишён атмосферы: давление газа у поверхности оценивается ничтожной величиной 10^{-12} атм. На поверхности Европы очень велик радиационный фон: он составляет 5,4 зиверта в сутки (= 540 бэр/сут); для человека это убийственная доза.

Относительно высокая средняя плотность спутника указывает на то, что в основном он состоит из силикатных пород. Толщина ледового покрова, вероятно, составляет от 10 до 30 км. Подо льдом, скорее всего, находится океан жидкой воды, простирающийся вглубь, согласно расчётам, почти на 100 км: его объём вдвое превосходит объём Мирового океана Земли. Вода в океане Европы, по-видимому, солёная: на это указывает слабое магнитное поле спутника, для поддержания которого требуется электропроводящая среда. Не исключено, что в океане Европы может существовать жизнь. Для этого необходимы внутренние источники энергии (химические или термальные), о которых пока ничего не известно.

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЮЖНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (European Southern Observatory, ESO) — международная астрономическая организация ряда европейских стран, наблюдательные базы которой расположены в чилийских Андах на вершинах Ла-Силья и Серро-Паранал (пустыня Атакама, высота 2500 м), а также на плато Чахнантор (пустыня Атакама, высота 4800 м). Штаб-квартира ЕЮО находится в Гархинге близ Мюнхена (Германия). Оборудование обсерватории включает комплекс из четырёх 8-метровых телескопов VLT (Паранал). 3,5-метровый телескоп новой технологии NTT, 3,6-метровый телескоп, 1-метровую камеру Шмидта и ещё несколько телескопов (Ла-Силья). В 2013 г. заканчивается создание комплекса субмиллиметровых телескопов ALMA на плато Чахнантор.

ЕВРОПЕЙСКОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО (European Space Agency, ESA) — международная организация, созданная в 1975 г. в целях исследования космоса. ЕКА состоит из 19 постоянных членов (западноевропейские страны, включая Великобританию); в некоторых проектах принимают участие Канада и Венгрия. Целью ЕКА является создание и запуск космических аппаратов, развитие сопутствующих технологий, средств наземного обеспечения полётов и выполнение исследований космоса. Штаб-квартира ЕКА находится в Париже, а космодром — в Куру (Французская Гвиана). Главный носитель ЕКА для запуска космических аппаратов — серия многоступенчатых ракет «Ариан».

ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ — любая теория, описывающая все четыре типа взаимодействий (электромагнитное, сильное, слабое и гравитационное) и все типы материи в рамках единого универсального формализма.

ЕДИНОРОГ — экваториальное созвездие. Впервые появилось в каталоге Я. Гевелия в 1690 г. Расположено между Большим Псом, Малым Псом и Орионом. Единорог почти целиком лежит в Млечном Пути, поэтому в нём много объектов, связанных с процессом формирования звёзд: тёмных и светлых туманностей, молодых звёздных скоплений, однако ярких звёзд нет. Молодое звёздное скопление NGC 2244 окружено облаком горячего газа, которое астрономы называют эмиссионной туманностью NGC 2237-9, а любители астрономии — Розеткой, поскольку оно выглядит как клочковатое кольцо, обрамляющее звёздное скопление. Видимый размер Розетки вдвое больше, чем лунного диска. Это облако в 11 тыс. раз массивнее Солнца и имеет около 55 св. лет в диаметре. Представляют интерес рассеянное скопление M50, а также скопление Рождественская Ель (NGC 2264), включающее тёмную туманность Конус, направленную к нему своей вершиной с юга, а также «Переменная туманность Хаббла» (NGC 2261), изменяющая свой блеск на 2^m из-за переменности излучения, освещающего её звёзды. Утверждают, что именно эта туманность была первым объектом, сфотографированным Паломарским 5-метровым телескопом. В Единороге находится и самая массивная в нашей Галактике двойная звезда, открытая Дж. Пласкеттом в 1922 г. Она имеет период 14,4 сут и состоит из двух очень горячих звёзд спектрального класса O8, поэтому её обычно называют «горячая звезда Пласкетта». Полная масса этой системы — около 150 масс Солнца, а её главный компонент массивнее Солнца в 80–90 раз.

ЕЛЕНА (S XII, Helene) — естественный спутник Сатурна. Открыт 1 марта 1980 г. астрономами Pierre Laques и Jean Lecacheux на французской обсерватории

Пик-дю-Миди. Большая полуось орбиты 377 396 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 2,736915 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0022. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,2°. Размеры 43,4×38,2×26 км. Геометрическое альбедо 1,67. Блеск $18{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1′ 01″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

Маленькие спутники Елена и Полидевк движутся практически по орбите крупного спутника Диона, являясь «троянцами» в системе Сатурн–Диона. Полидевк располагается в точке Лагранжа L_5, двигаясь по орбите на 60° впереди Диона, а Елена отстаёт от неё на 60°, занимая точку Лагранжа L_4.

ЕРТОВ, Иван Данилович или **Давидович** (1777–1828) – русский самоучка, любитель астрономии, первый русский космогонист. Родился в семье купца, работал приказчиком, затем бухгалтером. В серии книг «Начертание естественных законов происхождения Вселенной» (1798–1800), представляющей популярную энциклопедию астрономии того времени, он изложил и свою гипотезу формирования звёзд и планет. Предполагал возможность жизни на других планетах.

Ж

ЖАНСЕН, Пьер Жюль Сезар (Janssen, Pierre Jules Cesar) (22.02.1824, Париж, Франция, – 23.12.1907, Медон, Франция) – французский астроном. Преподавал математику и физику, параллельно занимаясь естественнонаучными исследованиями. Много раз участвовал в экспедициях по наблюдению солнечных затмений. Наблюдая в Индии полное солнечное затмение 18 августа 1868 г., с помощью спектроскопии доказал, что солнечные протуберанцы состоят из газа, открыл хромосферу Солнца и обнаружил жёлтую спектральную линию (587,49 нм) гелия – элемента, не известного тогда на Земле. 20 октября 1868 г. ту же линию обнаружил Дж. Н. Локьер, который и назвал новый элемент в честь Солнца – гелием. В 1875 г. Жюль Жансен назначен первым директором Медонской астрофизической обсерватории (под Парижем). На этом посту он проработал около 30 лет; изучал Солнце, опубликовал атлас 6000 фотографий солнечной поверхности.

ЖЕВАКИН, Сергей Александрович (11.04.1916, Москва, Россия, – 21.02.2001, Нижний Новгород) – советский физик и астрофизик; внес существенный вклад в развитие радиофизики и теоретической астрофизики. В 1939 г. окончил физико-математический факультет Горьковского университета по специальности «физика колебаний». До 1941 г. работал на одном из заводов г. Горького (ныне Н. Новгород). В 1941–1945 гг. участвовал в Великой Отечественной войне, был дважды ранен, награждён орденом Красной Звезды (1944). После демобилизации в 1946 г. поступил в аспирантуру к академику А. А. Андронову в Горьковском университете и в 1948 г. защитил в Ленинградском университете кандидатскую диссертацию на тему «Цефеиды как термомеханические автоколебательные системы». С 1949 г. работал ассистентом, затем доцентом Горьковского университета. В 1958 г. защитил докторскую диссертацию «Теория пульсационной звёздной переменности». С 1963 г. профессор. Лауреат премии им. Ф. А. Бредихина АН СССР (1965) за цикл работ 1953–1960 гг. по теории звёздной переменности.

Причина и основные закономерности пульсаций звёзд оставались загадкой в течение двух столетий. Попытки решения проблемы звёздной переменности предпринимались крупнейшими астрофизиками (А. Эддингтоном и др.). Впервые Жевакину удалось построить полную теорию пульсационной звёздной переменности, сочетающую глубокий теоретический анализ с обобщением многочисленных наблюдательных фактов. Эта теория позволила объяснить особенности переменных звёзд, а также предсказать ряд новых явлений, в частности, уточнить нуль-пункт соотношения период–светимость у цефеид. Получил также физическое истолкование сдвиг фаз между блеском и лучевой скоростью у основных типов пульсирующих звёзд.

С 1957 г. Жевакин работал в Научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ) при Горьковском университете; с 1960 г. заведующий отделом. Стал одним из пионеров в освоении миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов радиоволн. Награждён Государственной премией СССР (1987) за цикл работ по механизмам молекулярного поглощения радиоволн в атмосфере, позволивших оценить перспективы использования этих волн для связи и радиолокации.

ЖЕЛЕЗНЫЙ ПИК – локальный максимум на кривой распространённости химических элементов во Вселенной (обычно – в звёздах типа Солнца). Этот избыток приходится на элементы группы железа – от скандия Sc до никеля Ni, до синтеза которых протикают квазистационарные термоядерные реакции в ядрах массивных звёзд. Дело в том, что эти реакции – от синтеза гелия до никеля – идут с выделением энергии. А для синтеза более тяжёлых элементов необходима затрата энергии, поэтому при обычных условиях в ядрах звёзд такой синтез не происходит (но он происходит, например, при взрывах сверхновых).

ЖЕРТВЕННИК – южное созвездие; одно из древнейших. Расположено под «хвостом» Скорпиона. Шумеры называли его «созвездием древнего жертвенного огня», а Птолемей называл «кадилом». Согласно Эратосфену, это алтарь, на котором боги дали общую клятву, когда Зевс собирался напасть на своего отца Кроноса. Возможно, в древности это было одно из созвездий Зодиака, но позже часть его звёзд отнесли к Скорпиону. Жертвенник лежит в Млечном Пути, поэтому в нём немало ярких звёзд и интересных объектов. Например, там наблюдается одно из ближайших к нам шаровых звёздных скоплений NGC 6397, удалённое на 8200 св. лет. Пока в Галактике обнаружено около 160 этих древнейших звёздных скоплений, а всего их, очевидно, не более 200. Они разбросаны по всему объёму нашей звёздной системы, на расстояниях до 400 тыс. св. лет от её центра. Поэтому их среднее расстояние от Солнца велико, и изучать их сложно. Обычный телескоп обнаруживает в них лишь самые яркие звёзды – красные гиганты; и только наиболее крупные телескопы способны увидеть в этих скоплениях многочисленные звёзды солнечного типа; их там сотни тысяч, а порой – миллионы! В отличие от шаровых скоплений, миллиарды лет назад расставшихся с остатками газа, из которого сформировались их звезды, рассеянные скопления часто располагаются вблизи генетически связанных с ними газовых облаков. Довольно яркое и молодое рассеянное скопление NGC 6193, имеющее суммарный блеск звёзд около $5{,}5^m$, осветило и разогрело вокруг себя эмиссионную туманность NGC 6188, на фоне которой наблюдается сложное переплетение волокон тёмных туманностей.

ЖЁСТКИЙ РЕНТГЕН – коротковолновая часть рентгеновского диапазона, охватывающая длины волн от 0,4 до 0,01 нм.

ЖИВОПИСЕЦ – южное созвездие. Введено Н. Лакайлем (1713–1762), назвавшим его Живописный Станок, т. е. мольберт. В наши дни это название упростилось и стало восприниматься как «художник», а не как «прибор для рисования». Это маленькая группа тусклых звёзд к югу от созвездия Голубь. Найти её очень легко: буквально у границы Живописца располагается «звезда № 2» всего небосвода – Канопус из созвездия Киль. Вокруг звезды β Pic, удалённой на 55 св. лет, в конце XX в. был обнаружен вращающийся диск из пылинок и льдинок. Возможно, это планетная система в процессе формирования: в начале XXI в. в ней было отмечено присутствие довольно крупных объектов. На угловом расстоянии 8,5° к северо-западу от звезды β Pic расположена Звезда Каптейна – красный карлик, известный тем, что он на втором месте после Ле-

тящей звезды Барнарда по скорости собственного движения (8,654″/год).

ЖИДКОЕ ЗЕРКАЛО – зеркало, образованное отражающей жидкостью, например, ртутью. Плоские ртутные зеркала используются в астрометрических приборах, применяющихся для измерения зенитного расстояния звёзд (призменная астролябия Данжона, фотографическая зенитная труба). В этом случае поверхность жидкости играет роль искусственного горизонта. Чтобы использовать жидкое зеркало в качестве объектива телескопа, ему нужно придать вогнутую форму. Для этого жидкость (ртуть) помещают в сосуд, вращающийся вокруг вертикальной оси, вследствие чего поверхность жидкости приобретает форму параболоида. Подобное зеркало можно использовать только для наблюдения объектов, близких к зениту. В принципе это довольно дешёвый метод создания телескопа с объективом большого диаметра. Но используется он редко (см. *Большой зенитный телескоп*). Принцип придания формы жидкому зеркалу используется и при производстве крупных монолитных зеркал. Расплавленную стеклянную массу выливают в «тарелку», вращающуюся с такой скоростью, чтобы остывающая масса под действием центробежной силы приняла нужную форму. После остывания остаётся лишь отполировать и алюминировать отражающую поверхность. Так изготавливают тонкие зеркала диаметром 8–9 м.

ЖИРАФ – крупное северное созвездие, протянувшееся от Персея, Возничего и Рыси к Малой Медведице. Выделил и назвал его астроном Якоб Барч в 1614 г. Созвездие состоит из очень тусклых звёзд, но одна из них весьма популярна среди любителей астрономии. Это карликовая новая Z Жирафа (Z Cam), которая обычно вспыхивает раз в 2–3 недели, увеличивая свой блеск менее чем за 2 сут от 13^m до 10^m. Но нередко и при этом совершенно неожиданно она приостанавливает свои вспышки и замирает на уровне $12{,}5^m$, испытывая лишь слабые колебания яркости. Это «выключение» вспышек может длиться месяцы, а то и годы и вдруг неожиданно прекращается. Для того чтобы понять механизм функционирования этой странной звезды, требуется накопить длительные ряды наблюдений. Большую помощь профессиональным астрономам в этом деле оказывают любители. Детальную информацию о звезде Z Cam можно найти на сайте Американской ассоциации наблюдателей переменных звёзд (www.aavso.org). Для любителей дальнего космоса в созвездии Жираф представляет интерес большая спиральная галактика NGC 2403, имеющая блеск около 9^m.

«ЖИРНЫЙ НОЛЬ» – методика получения ПЗС-изображений объектов низкой поверхностной яркости. Перед съёмкой объекта поверхность ПЗС-матрицы равномерно засвечивается слабым потоком излучения. Эта операция сдвигает шкалу интенсивностей объекта съёмки на величину уровня засветки, уменьшая влияние нелинейности приёмника, что особенно существенно для самых бледных участков регистрируемого изображения. Однородный пьедестал в изображении, возникший от предварительной засветки (уровень «жирного ноля»), вычитается при последующей обработке изображения.

ЖУРАВЛЬ – южное созвездие. Выделено И. Байером в 1603 г. Лежит между Южной Рыбой на севере и Туканом на юге. Его ярчайшая звезда Альнаир (α Gru) имеет блеск $1{,}7^m$ и находится на расстоянии 100 св. лет.

З

ЗАВИСИМОСТЬ МАССА—СВЕТИМОСТЬ – функциональная связь между массой (M) и светимостью (L). Существование этой зависимости обусловлено прежде всего тем, что светимость звезды пропорциональна среднему по её объёму градиенту (перепаду) температуры ∇T (теплопроводность $\sim\nabla T$), который определяется градиентом давления. В гидростатически равновесной звезде, где притяжение в каждой точке уравновешивается давлением, средний градиент давления тем больше, чем больше масса звезды, следовательно, с увеличением M растёт L. В теории внутреннего строения звёзд с центральным термоядерным источником энергии показано, что светимость звезды существенно зависит от прозрачности её недр и очень слабо зависит от скорости генерации ядерной энергии. Прозрачность определяется плотностью вещества и его температурой, т. е., в конечном итоге, также массой звезды. На практике для звёзд главной последовательности часто используется зависимость масса–светимость в форме $L\sim M^{\alpha}$. К сожалению, показатель α сам зависит от массы звезды (в ед. $M_{\odot}$): $\alpha\approx 2{,}3$ при $M<0{,}43$; $\alpha\approx 4$ при $0{,}43<M<2$; $\alpha\approx 3{,}5$ при $2<M<20$; $\alpha\approx 1$ при $M>20$. Поэтому зависимость масса–светимость с фиксированным значением α можно использовать только в ограниченном интервале масс.

ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРИОД—СВЕТИМОСТЬ – связь между абсолютной звёздной величиной (т. е. светимостью) и периодом изменения блеска у переменных звёзд-цефеид. Впервые эта связь была замечена в 1908 г., когда гарвардский астроном Генриетта Ливитт открыла около 2000 переменных звёзд в Малом Магеллановом Облаке (ММО) и определила периоды переменности некоторых из них. Она заметила, что звёзды ММО, меняющие свой блеск примерно с такими же периодами, что и цефеиды Млечного Пути, оказываются в среднем тем ярче, чем больше период их переменности. Обнаруженные Ливитт звёзды действительно были цефеидами, но тогда она ещё не была в этом уверена. Важно, что размер ММО невелик по сравнению с расстоянием до него, и приближенно можно считать, что все его звёзды находятся на одинаковом расстоянии от нас. Поэтому Ливитт и удалось обнаружить зависимость «период–светимость» для цефеид: чем больше период переменности блеска, тем выше светимость цефеиды. Эта зависимость оказалась справедливой не только для ММО, но и для цефеид любой галактики.

Зависимость «период–светимость» постоянно уточняется. Один из современных её вариантов для классических цефеид выглядит так:

$$M_v \approx -1{,}01-2{,}79\,\lg P,$$

где M_v – средняя за период пульсаций абсолютная величина звезды в фильтре V, а P – период, выраженный в сутках.

Период переменной звезды нетрудно определить из наблюдений. Вычислив затем по зависимости «период–светимость» абсолютную величину цефеиды и сравнив её с видимой звёздной величиной, можно определить расстояние до цефеиды, а если она входит в звёздную систему (звёздное скопление, галактику), то и до этой звёздной системы. Цефеиды – сверхгиганты, т. е. звёзды высокой светимости, и их можно обнаружить даже в довольно отдалённых галактиках. Поэтому зависимость «период–светимость» является очень эффективным средством определения расстояний во Вселенной. Именно благодаря цефеидам астрономы научились определять расстояния до отдалённых частей нашей Галактики и до других галактик. Не случайно эти переменные звёзды называют «маяками Вселенной».

ЗАВИСИМОСТЬ ЦВЕТ—СВЕТИМОСТЬ – один из вариантов диаграммы Герцшпрунга–Рассела. При графическом изображении зависимости по оси абсцисс откладывают показатели цвета звёзд, а по оси ординат – видимые или абсолютные звёздные величины. Показатели цвета (чаще всего используется показатель $B-V$) более объективно, чем спектральные классы звёзд, характеризуют распределение энергии в спектрах звёзд. Зависимость цвет–светимость играет важную роль при исследовании групп удалённых или абсолютно слабых звёзд, спектральная классификация которых при современном состоянии астрономической тех-

ники сопряжена со значительными трудностями или даже невозможна.

ЗАГОТОВКА ЗЕРКАЛА — диск из стекла, кварца, стеклокерамического материала (ситалл, церодур, цервит, ULE и др.) или металла (алюминий, берилий), одна из поверхностей которого будет обработана путём шлифовки, полировки и фигуризации для получения точной формы, необходимой для астрономического зеркала. Иногда заготовки для больших тонких зеркал отливают сразу в форме параболоида, используя центробежный метод.

ЗАДАЧА ТРЁХ ТЕЛ — математическая задача, состоящая в определении положений и скоростей трёх массивных тел, гравитационно взаимодействующих друг с другом. В качестве примера можно привести систему Солнце–Юпитер–Сатурн или же систему из трёх звёзд. Эта проблема гораздо сложнее задачи двух тел. Практически, как показали многие математики, задачу трёх тел в общем случае невозможно решить в аналитическом виде, т. е. выразить координаты и скорости тел в виде известных функций от времени. Более того, если взять случайную конфигурацию трёх тел, то их результирующее движение почти всегда будет хаотичным. Невозможно предсказать, как будут двигаться эти тела. Тем не менее для некоторых частных случаев этой задачи периодические решения найдены.

Исследовано множество вариантов ограниченной задачи трёх тел. Например, если одна из масс ничтожно мала по сравнению с двумя другими, то их движение описывается относительно простыми решениями задачи двух тел, а третье (лёгкое) тело движется в известном гравитационном поле двух первых тел.

ЗАКОН БОДЕ — эмпирическое правило для приблизительного определения расстояний планет Солнечной системы от Солнца. См. *Правило Тициуса–Боде.*

ЗАКОН ВЕБЕРА—ФЕХНЕРА — эмпирический психофизиологический закон, утверждающий, что если интенсивность раздражителя изменяется в геометрической прогрессии, то интенсивность вызванного им ощущения меняется в арифметической прогрессии. Иными словами, интенсивность ощущения пропорциональна логарифму интенсивности стимула. А можно сказать и так: отношение минимального приращения силы раздражителя, впервые вызывающего новые ощущения, к исходной величине раздражителя есть величина постоянная. Закон Вебера—Фехнера касается всех органов чувств человека. Он основывается на работах немецких физиологов Эрнста Генриха Вебера (1795–1878) и Густава Теодора Фехнера (1801–1887). Этот закон служит обоснованием шкалы видимых звёздных величин, описываемой формулой Погсона.

ЗАКОН СМЕЩЕНИЯ ВИНА — физический закон, определяющий длину волны, на которой абсолютно чёрное тело излучает наибольшее количество энергии. Теоретически его обосновали русский физик Владимир Александрович Михельсон (1860–1927) и немецкий физик Вильгельм Вин (1864–1928) в 1893 г. Закон смещения утверждает, что максимум в распределении излучательной способности абсолютно чёрного тела по длине волны (т. е. поток энергии в единичном интервале длины волны) приходится на длину волны

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T},$$

где T — абсолютная температура, а b — постоянная Вина, равная 0,2898 см·К. Иными словами, максимум в распределении энергии излучения чёрного тела смещается обратно пропорционально его абсолютной температуре.

Например, у звёзд типа Солнца, имеющих эффективную температуру поверхности 5780 К, максимум излучения, в соответствии с законом смещения Вина, должен лежать на $\lambda_{max} = 0{,}2898/5780 = 5{,}014 \cdot 10^{-5}$ см ≈ 500 нм, т. е. в сине-зелёной области спектра. Это весьма близко к действительности, хотя спектр Солнца всё же заметно отличается от идеального спектра абсолютно чёрного тела: в коротковолновой (голубой) части у него недостаток потока, поэтому визуально цвет Солнца кажется нам более жёлтым.

Тело человека, имеющее температуру около $T = 310$ К, излучает в инфракрасном диапазоне с максимумом на $\lambda_{max} = 0{,}2898/310 = 9{,}35 \cdot 10^{-4}$ см ≈ 9,4 мкм.

ЗАКОН ПЛАНКА — зависимость излучательной способности ε_λ абсолютно чёрного тела от температуры T и от длины волны λ:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1\right)},$$

где h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, c — скорость света. Величина ε_λ показывает мощность излучения единицы поверхности абсолютно чёрного тела в единичном интервале длины волны.

ЗАКОН СТЕФАНА—БОЛЬЦМАНА — физический закон, устанавливающий связь между температурой T абсолютно чёрного тела и полной мощностью электромагнитной энергии E, излучаемой единицей его поверхности:

$$E = \sigma T^4.$$

Коэффициент пропорциональности $\sigma = 5{,}6705 \cdot 10^{-8}$ Вт·м$^{-2}$·К$^{-4}$ называется постоянной Стефана–Больцмана. С помощью этого закона легко устанавливается связь между светимостью звезды (L), её радиусом (R) и эффективной температурой поверхности:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$

ЗАКОН ХАББЛА — наблюдаемая связь между расстоянием до галактики (D) и её лучевой скоростью (V_r), открытая американским астрономом Э. Хабблом в 1929 г.:

$$V_r = H_0 D,$$

где H_0 — постоянная Хаббла, значение которой определяется из наблюдений пока не очень точно: $H_0 = 72 \pm 3$ км/(с·Мпк). Часто закон Хаббла называют «законом расширения Вселенной», но это не означает, что по такому закону расширяются все без исключения предметы или космические системы. Напротив, связанные физическими силами тела (планеты, звезды, и т. п.) или их системы (Солнечная система, Галактика, скопления галактик) не расширяются по закону Хаббла. Даже свободно разлетающиеся друг от друга галактики и их скопления под действием гравитационного притяжения друг к другу стремятся снизить скорость взаимного удаления. А влияние «антигравитации», наличие которой обсуждается в современной космологии, должно ускорять разлёт галактик (некоторые наблюдения указывают на это).

Увеличение взаимного расстояния и изменение скорости разлёта галактик приводят к тому, что значение постоянной Хаббла со временем изменяется. Поэтому её нельзя считать мировой константой, неизменной во все эпохи (как, например, постоянную тяготения, заряд и массу электрона и т. п.) и правильнее было бы называть параметром Хаббла. Значение этой величины, измеренное в нынешнюю эпоху, отмечают нижним индексом «0» у величины H_0. Универсальность же закона Хаббла состоит в том, что он одинаково справедлив для наблюдателя, расположенного в любой из галактик и проводящего измерения в любом направлении; т. е. этот закон указывает, что расширение Вселенной происходит однородно и изотропно.

Относительно того, заслуженно ли указанное свойство Вселенной носит имя Хаббла, существуют различные мнения. На основе теории относительности А. Эйнштейна подобное свойство Вселенной предвидели теоретики (Александр Фридман, Жорж Леметр). Наблюдательный материал по красным смещениям в спектрах галактик и их изображения в значительной степени были получены коллегами Хаббла (Весто Слайфер, Милтон Хьюмасон). Всё это было давно известно, но, по общему мнению, не преуменьшало заслуг Хаббла в измерении расстояний до галактик и выводе закона

расширения Вселенной. Однако в 2011 г. историки астрономии выяснили, что ещё в 1927 г. Жорж Леметр опубликовал исследование, основанное на наблюдательном материале и демонстрирующее линейную зависимость красного смещения в спектре галактик от их расстояния почти с тем же значением параметра Хаббла, которое двумя годами позже опубликовал сам Хаббл. Эту работу Леметр опубликовал на французском языке в не очень популярном бельгийском журнале. Но когда в 1931 г. её перевод на английский язык был опубликован в престижном журнале «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», в переводе исчезли как раз те места, в которых демонстрировался будущий «закон Хаббла». В остальном перевод статьи Леметра сделан безупречно. Кто был «цензором» перевода и по какой причине это было сделано, пока остаётся неясным. Высказываются подозрения в отношении самого Хаббла, но доказательств нет.

ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА — три закона движения планет вокруг Солнца, выведенные И. Кеплером в 1609–1619 гг. на основании многолетних наблюдений за положением планет, проделанных Тихо Браге в конце XVI в. Кеплер нашёл, что:

1) планета движется по эллипсу, в фокусе которого расположено Солнце (1609);

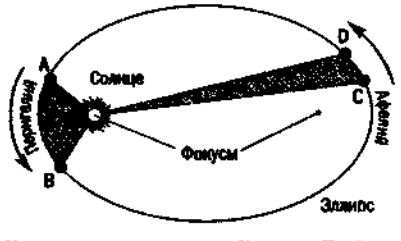
2) скорость планеты меняется так, что её радиус-вектор (прямая, соединяющая планету с Солнцем) за равные промежутки времени описывает равные площади (1609);

3) кубы средних расстояний планет от Солнца пропорциональны квадратам периодов их обращения вокруг Солнца (1619).

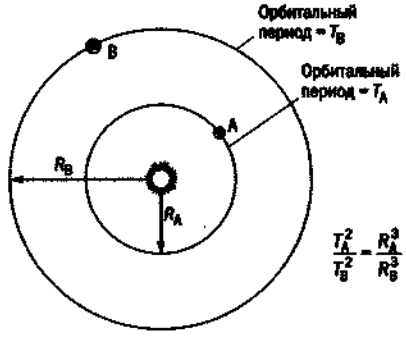
Позже на основании законов механики и закона всемирного тяготения И. Ньютон дал объяснение законам Кеплера и уточнил их для движения только двух тел под действием взаимного притяжения:

1) орбитами могут быть не только эллипс, но и другие конические сечения — гипербола и парабола;

2) плоскость орбиты неизменна в пространстве;



Первый и второй законы Кеплера. Пройденные за одинаковое время площади (показаны серым цветом) под дугами AB и CD, равны, но скорости на этих дугах различны



Третий закон Кеплера

3) отношение куба среднего расстояния между телами к квадрату периода их взаимного обращения пропорционально сумме масс этих тел.

Если в системе находится более двух тел, то формально эти законы становятся неверными. Однако если масса одного из тел подавляюще велика (в Солнечной системе это Солнце), то законы Кеплера, уточненные Ньютоном, весьма точно описывают истинное движение тел.

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА — законы механики, сформулированные Исааком Ньютоном. Иногда в их число включают и закон гравитационного взаимодействия (притяжения) тел, также сформулированный И. Ньютоном. Три закона «классической» механики Ньютона в современной формулировке звучат так.

1. Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальная точка при отсутствии внешних воздействий сохраняет величину и направление своей скорости неограниченно долго.

2. В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое получает материальная точка, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе. В виде формулы это выглядит так: $a = F/m$, где a — ускорение, F — сила, m — масса.

3. Материальные точки попарно действуют друг на друга с силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению. (Проще говоря — действие равно противодействию.)

Закон всемирного тяготения Ньютона утверждает, что две точечные массы m_1 и m_2 притягиваются друг к другу с силой, равной произведению масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними: $F = Gm_1m_2/R^2$. Константа G («постоянная тяготения») зависит от выбора системы единиц. В системе СИ её значение равно $6{,}674 \cdot 10^{-11}$ Н(м/кг)^2.

ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ — явление, состоящее в том, что с точки зрения покоящегося наблюдателя часы движущегося наблюдателя отстают. Впервые это явление в общем виде было предсказано в рамках частной (специальной) теории относительности А. Эйнштейна и позже неоднократно было проверено в экспериментах.

ЗАНСТРА, Херман (Zanstra, Herman) (3.11.1894, Шотерланд, Нидерланды, — 2.10.1972, Харлем, Нидерланды) — нидерландский астроном. Создал (1926) теорию фотоионизации газовых туманностей и предложил метод определения температуры возбуждающей звезды (метод Занстра), а также предложил (1950) метод определения температуры солнечной хромосферы по величине бальмеровского скачка.

ЗАПАД (точка запада) — точка пересечения западной части математического горизонта с небесным экватором, лежащая слева (посередине между точками юга и севера) от наблюдателя, стоящего лицом к северу. Обозначается буквами З или W (West).

ЗАПОЛНЕННАЯ АПЕРТУРА — объектив телескопа, вся поверхность которого между его крайними точками служит для сбора падающего потока излучения. См. *Апертурный синтез.*

ЗАПОТЕВАНИЕ — конденсация паров воды из тёплого влажного воздуха на холодной поверхности. Частая конденсация влаги на оптических поверхностях может привести к быстрому разрушению их покрытий и к появлению ржавчины на стальных деталях трубы и монтировки телескопа. Запотевание — серьёзная проблема для переносных инструментов, которые с холодной улицы вносят в тёплое помещение по окончании наблюдений. Для предотвращения запотевания необходимо принимать специальные меры для быстрой осушки телескопа (но никогда не пытайтесь «сушить» запотевшую оптику путём протирания!). Например, на объективе должен быть противороспик, а перед входом в помещение нужно закрывать крышку объектива. У инструмента, установленного стационарно в башне, запотевание может проявляться из-за тепловой инерции при перепадах температуры в течение суток. В этом случае для предотвращения запотевания можно использовать вентиляторы для ускорения циркуляции воздуха, а также осушители.

ЗАПРЕЩЁННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЛИНИИ — спектральные линии, возникающие при энергетических переходах, не допускаемых правилами отбора для разрешённых переходов и поэтому не наблюдающиеся в обычных лабораторных условиях. В зависимости от характера изменения набора квантовых чисел, описываю-

щих состояния атома или иона до и после перехода, запрещённые линии делят на магнитно-дипольные, квадрупольные, магнитно-квадрупольные, октупольные и др., а также на интеркомбинационные (переходы с изменением полного спина электронной оболочки атома или иона).

Запреты на переходы не носят абсолютного характера. Нарушение правил отбора возможно из-за взаимодействия электронов в оболочках сложных атомов или из-за особых физических условий, например чрезвычайно низкой плотности газа в межзвёздных туманностях. Для лёгких атомов и ионов (расположенных в начале Периодической таблицы элементов) правила отбора для так называемой LS-связи выполняются довольно точно, и вероятность запрещённых переходов очень мала. Для более тяжёлых атомов и высокозарядных ионов часть правил отбора менее точна, и вероятность запрещённых переходов может быть не намного меньше, чем для разрешённых.

Запрещённые линии излучения могут возникать только при переходах атома из метастабильных состояний, т. е. из таких, из которых нет других переходов вниз, кроме запрещённых (в противном случае гораздо чаще происходят разрешенные переходы, чем запрещённые). Но продолжительность жизни атома в метастабильном состоянии очень велика: например, для иона O^{2+} в состоянии $^1D_2$, из которого испускаются мощные небулярные линии N_1 и N_2, она равна 38 секундам (на обычном же уровне атом удерживается около 10^{-8} с). Следовательно, для того чтобы смог совершиться спонтанный переход из метастабильного состояния, необходимо, чтобы атом в течение длительного времени не был подвержен каким-либо возмущениям: ни воздействию излучения, ни столкновениям. Значит, для появления запрещённых линий необходимы малая плотность излучения и малая плотность вещества.

Отсутствие запрещённых линий в звёздных спектрах говорит о том, что в атмосферах звёзд указанные условия не выполняются. Наоборот, на основании наличия многочисленных и весьма интенсивных запрещённых линий в спектрах газовых туманностей делается вывод о крайне малой плотности излучения и плотности вещества в этих объектах. К примеру, в 1 см^3 воздуха земной атмосферы при нормальных условиях содержится $2{,}7 \cdot 10^{19}$ молекул, концентрация атомов в солнечной фотосфере $\sim 10^{16}$–10^{17} см$^{-3}$, в солнечной короне электронная плотность $n_e \sim 10^8$–10^9 см$^{-3}$, а в планетарных туманностях $n_e \sim 10^2$–10^6 см$^{-3}$. Именно поатому запрещённые спектральные линии впервые были обнаружены в спектрах небесных тел малой плотности.

В солнечной короне столкновения ионов между собой, ионов с электронами и фотонами из-за низкой плотности вещества очень редки, что приводит к накоплению ионов на метастабильном уровне. Впрочем, плотность солнечного излучения во внутренней короне ещё достаточно высока, но это излучение содержит мало высокоэнергичных фотонов, способных перевести ион с метастабильного на более высокий уровень энергии. Сочетание указанных благоприятных условий приводит к появлению в спектре короны запрещённых линий.

Эмиссионные линии короны долго не удавалось отождествить с линиями лабораторных источников излучения. Было даже высказано предположение, что корональные линии принадлежат неизвестному на Земле очень лёгкому газу «коронию». Лишь в 1942 г. удалось расшифровать эмиссионный спектр короны как излучение, возникающее при запрещённых переходах у многократно (от 12 до 15 раз) ионизованных атомов Fe, Ni, Ca (температура короны составляет несколько миллионов кельвинов, чем и вызывается такая высокая степень ионизации вещества). Наиболее характерная запрещённая линия солнечной короны — зелёная линия Fe XIV ($\lambda = 530{,}286$ нм).

Запрещённые линии обозначаются спектральным символом атома, заключенным в квадратные скобки, обычно с указанием длины волны, о чём говорит буква «лямбда». Например, запись [O II] λ 31,99 нм означает «запрещённая линия однократно ионизованного атома кислорода с длиной волны 731,99 нанометров».

Степень «запрещённости» линии варьируется от вероятности возникновения в 1% по сравнению с нормальными линиями до 10^{-20}% и меньше. При вероятности порядка 1% запрещённая линия может проявляться в спектре звезды в виде слабой линии поглощения. При более низкой вероятности запрещённые линии обычно наблюдаются только как эмиссионные. В межзвёздных туманностях наиболее сильные эмиссионные линии — это запрещённые линии кислорода и азота: [O III] λ 495,9 нм, [O III] λ 500,7 нм, [O II] λ 372,6 нм, [O II] λ 372,9 нм и [N III] λ 386,9 нм. Эти линии возникают при заполнении верхних метастабильных энергетических уровней, вызванных ударным возбуждением. Эти метастабильные уровни ионов лежат близко к основному уровню, поэтому ионы легко возбуждаются при столкновениях со свободными электронами. Такие столкновения эффективно охлаждают туманности (до 10^4 K).

Исследование интенсивности запрещённых линий иона кислорода O III (436,3 нм), N_1 и N_2 лежит в основе одного из главных методов определения температур планетарных туманностей. Из экспериментально определённого отношения интенсивностей этих линий, учитывая вероятность возбуждения электронным ударом, можно оценить отношение доли быстрых электронов, способных возбудить ион O III на 3-й энергетический уровень, к доле менее быстрых электронов, способных возбудить атом до 2-го уровня. Из этого отношения, используя тепловое распределение скоростей частиц, легко найти температуру газа. Поскольку интенсивности запрещённых линий определяются как возбуждениями атомных уровней соударениями электронов с атомами, так и деактивацией атомов ударами других атомов, по наблюдаемым интенсивностям запрещённых линий можно определять также концентрацию электронов в среде. Сильные запрещённые линии наблюдаются в оптическом излучении ядер сейфертовских галактик и квазаров.

Радиолиния атомарного водорода 21 см также служит примером запрещённой линии с чудовищно малой вероятностью возникновения: время жизни атома в возбуждённом состоянии составляет 11 млн лет! Тем не менее излучение в этой линии наблюдается из-за огромного количества водорода в межзвёздной среде.

ЗАРОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ — цепь физико-химических процессов и космических явлений, приводящая к появлению живых (т. е. биологических самовоспроизводящихся) структур. Пока нам известен лишь один пример биосферы — земной, поэтому все попытки решить проблему зарождения жизни сводятся к поиску ответа на вопрос: «Как возникла жизнь на Земле?» Один из вариантов ответа состоит в том, что жизнь была занесена на Землю извне естественным или искусственным путём (*см. Панспермия*). Но очевидно, что это не решает проблему зарождения жизни как таковой. Наиболее радикальный подход к этой проблеме — попытки осуществить процесс формирования живого из неживого в лабораторных условиях.

Наиболее богатый экспериментальный материал получен в связи с исследованиями зарождения жизни на Земле. Считается, что первичная атмосфера Земли имела основной состав, т. е. была богата водородосодержащими компонентами. В такой атмосфере, как предположил в 1923 г. А. И. Опарин, на поверхности планеты из простейших веществ могли формироваться сложные соединения, послужившие основой для развития жизни. Это убедительно показали ещё в конце 1950-х гг. опыты Стэнли Миллера, Хуана Оро, Лесли Оргела и других биохимиков, которые в лабораторных установках имитировали первичную атмосферу планет, содержавшую в большом количестве водород, метан и аммиак вместе с сероводородом и парами воды. Для имитации условий на молодой планете эту «первичную атмосферу» освещали ультрафиолетовым излучением и воз-

буждали искровыми разрядами (поскольку активная вулканическая деятельность должна была сопровождаться сильными грозами).

Например, Миллер подверг действию электрических разрядов смесь $H_2+CH_4+NH_3$, циркулирующую над кипящей водой. Среди продуктов реакций в его установке обнаружились мочевина $(NH_2)_2CO$, метилмочевина, большой набор органических кислот и шесть аминокислот. Другие исследователи модифицировали опыт и получали несколько иной набор веществ. В результате подобных экспериментов выяснилось, что в условиях молодой планеты из простейших веществ быстро формируются сложные соединения. Например, в лабораторных условиях появлялись 12 из 20 аминокислот, образующих все белки земных организмов, и 4 из 5 оснований, образующих информационные молекулы РНК и ДНК. Из этих элементарных «кирпичиков» построены все земные организмы.

Однако в подобных экспериментах не удалось продвинуться до синтеза высокоорганизованных комплексов белков и тем более таких самовоспроизводящихся структур, как молекулы ДНК. Осталось много нерешённых проблем, связанных с переходом от сложных органических веществ к простым живым организмам. Но большинство биологов считает, что таким путём постепенно могла образоваться биосфера Земли. Позже в результате фотосинтеза, обусловленного деятельностью растений, земная атмосфера стала окислительной. Считается, что присутствие кислорода в составе атмосферы планеты является достаточным (хотя и не обязательным) признаком наличия на ней жизни.

ЗАРЯ – закономерная смена цветов неба, сопровождающая заход и восход Солнца.

ЗАРЯД – мера взаимодействия элементарных частиц. Исторически понятие заряда возникло в связи с исследованием электростатических явлений и открытием закона Кулона: сила взаимодействия F двух точечных электрических зарядов q_1 и q_2 в пустоте $F = kq_1q_2/r^2$, где r – расстояние между зарядами. Условие отсутствия в этом выражении численного множителя (k) определяет электростатическую единицу заряда (единицу СГСЭ). В Международной системе единиц (СИ) единицей электрического заряда служит кулон (Кл). 1 Кл = $3\cdot10^9$ единиц СГСЭ.

Упорядоченное движение электрических зарядов создаёт электрический ток, сила которого определяется как количество заряда, протекающего через сечение данного проводника за единицу времени. С точки зрения теории электромагнитного поля не следует говорить о взаимодействии зарядов между собой. Заряды создают вокруг себя поле; сила, действующая на заряд, – это сила, с которой он взаимодействует с полем. При этом в электростатических явлениях играет роль взаимодействие заряда (q_1) с полем, созданным другим зарядом (q_2). Движущиеся заряды, т. е. электрические токи, создают также магнитные поля и взаимодействуют с ними. Комплекс взаимодействий электрических зарядов, токов и полей описывается уравнениями Максвелла. Эти уравнения неизбежно приводят к закону сохранения электрического заряда, согласно которому изменение заряда в данном объёме (теле) за определённое время равно разности втекающих и вытекающих из него токов, умноженной на это время.

После открытия электронов (e^-), несущих отрицательный электрический заряд $e=-4{,}8\cdot10^{-10}$ ед. СГСЭ $=-1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл, и положительно заряженных протонов (p) с зарядом той же величины (а также ядер, содержащих различное число протонов) стала возможной новая трактовка заряда: электрический заряд данного тела равен разности числа протонов и числа электронов, умноженной на заряд электрона (или протона). При этом электрический ток равен разности потоков этих же частиц, с тем же множителем. Закон сохранения электрического заряда стал тривиальным следствием представления о том, что электроны и протоны стабильны, не исчезают и не возникают, а лишь перемещаются из одного места в другое.

На следующем этапе развития физики были открыты процессы превращения элементарных частиц, например распад нейтрона $n\to p+e^-+\tilde{\nu}_e$ или аннигиляция пары электрон–позитрон: $e^-+e^+\to\gamma+\gamma$. Принцип соответствия требовал, чтобы эти процессы не нарушали действующий в макрофизике закон сохранения электрического заряда. Отсюда следовал вывод, что в каждом элементарном акте этот закон выполняется и, в частности, что электрический заряд нейтрона и нейтрино в точности равен нулю, поскольку атом водорода нейтрален, и заряд электрона по абсолютной величине в точности равен заряду протона. Сохранение электрического заряда в процессах аннигиляции требовало, чтобы электрический заряд античастицы был равен взятому с обратным знаком заряду частицы. Так, например, суммарный электрический заряд электрона и позитрона равен нулю.

В квантовой механике классические понятия положения и перемещения частицы теряют свой смысл. Поэтому на смену классическим представлениям о плотности электрического заряда и плотности тока (ток через единичное сечение проводника) приходят квантовомеханические представления о плотности вероятности распределения заряда и потоке вероятности заряженных частиц. Изменение состояния заряженных частиц при их взаимодействии с электромагнитным полем описывается в квантовой механике как переход из начального состояния частицы ψ_i в конечное состояние ψ_f. Возникает представление о заряде перехода $\psi_i\to\psi_f$ и токе такого перехода.

Дальнейшее исследование элементарных частиц показало, что в их превращениях наблюдаются и другие закономерности, подобные сохранению электрического заряда. Для их описания вводят новые типы зарядов (не имеющих прямого отношения к взаимодействию с электрическим или другим дальнодействующим полем). Так, например, вводят барионный заряд B, определяя его так, что $B=+1$ для протона, нейтрона и других барионов, $B=-1$ для антипротона, антинейтрона и других антибарионов, $B=0$ для мезонов, лептонов, фотона. Во всех известных в настоящее время процессах барионный заряд сохраняется. В частности, стабильность нерадиоактивных ядер является следствием закона сохранения барионного заряда, так как такое ядро является системой с минимальной энергией при данном B.

Аналогично можно рассматривать и сохранение лептонного заряда, присущего лептонам (электрону, мюону, τ-лептону, всем сортам нейтрино и их античастицам). Имеющиеся опытные данные свидетельствуют в пользу существования трёх видов лептонного заряда: электронного L_e, мюонного L_μ и τ-лептонного L_τ. Обычно принимают $L_e=+1$ для e^- и ν_e, $L_e=-1$ для e^+ и $\tilde{\nu}_e$; $L_\mu=+1$ для μ^- и ν_μ, $L_\mu=-1$ для μ^+ и $\tilde{\nu}_\mu$; $L_\tau=+1$ для τ^- и ν_τ, $L_\tau=-1$ для τ^+ и $\tilde{\nu}_\tau$. Для всех остальных частиц лептонный заряд равен алгебраической сумме лептонных зарядов входящих в неё частиц, и сохранение лептонного заряда означает, что разность между числами лептонов и их античастиц в процессах микромира должна сохраняться.

Как заряды, для которых в ряде процессов также можно применять закон сохранения, часто рассматривают квантовые характеристики адронов: странность, очарование, красоту. Все указанные заряды (барионный, лептонный и др.) существенно отличаются от электрического заряда, поскольку они не являются источниками дальнодействующего поля (к дальнодействующим относят электрическое и гравитационное поля). Более точно эти заряды следует называть сохраняющимися квантовыми числами и соответственно говорить, например, о барионном или лептонном числе.

Приближённый характер сохранения таких зарядов, как странность, очарование и др., приводит к тому, что имеющие их частицы являются нестабильными относительно распада на более лёгкие частицы. В современных теориях элементарных частиц сохранение барионного и

лептонного зарядов также является приближённым, что может привести, например, к нестабильности протона. В отличие от указанных зарядов, электрический заряд сохраняется точно, поэтому электрон (а также позитрон) должен быть абсолютно стабильным.

Современная квантовая теория поля на основе обобщения понятия электрического заряда стремится описать в рамках единых представлений сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия элементарных частиц. Эти обобщения основаны на развитии динамического аспекта электрического заряда как источника электромагнитного поля. В единой теории электромагнитного и слабого взаимодействий (электрослабого взаимодействия) заряды слабого взаимодействия служат источниками соответствующих ($W^{\pm}$-бозонных, Z^0-бозонных) полей. В теории сильного взаимодействия — квантовой хромодинамике — вводят три вида цветовых зарядов, которые служат источниками соответствующих цветовых (глюонных) полей.

Обобщённые заряды и соответствующие токи в моделях великого объединения являются зарядами и токами квантовых переходов, в которых меняется не только состояние частицы — меняется сама частица. Такие токи называют заряженными, поскольку в квантовом переходе меняется заряд, уносимый рождающейся заряженной частицей. В этом смысле электромагнитный ток квантовой электродинамики является нейтральным: в электромагнитных квантовых переходах между состояниями электрически заряженной частицы электрический заряд не меняется и испускается электрически нейтральный фотон.

Цветовые заряды сильного взаимодействия связаны с цветовыми токами перехода между различными цветовыми состояниями кварков. В таких переходах не меняется тип кварка и, следовательно, его электрический заряд. Однако цвет кварка в таком переходе меняется. Изменение цвета кварка в цветовом токе компенсируется испусканием глюона, обладающего цветовым зарядом.

Современная теория предполагает, что на очень малых расстояниях ($\sim 10^{-14}$–10^{-16} см) имеется полная эквивалентность взаимодействий зарядов слабого взаимодействия и цветовых зарядов: они взаимодействуют по закону, аналогичному закону Кулона. Однако с увеличением расстояния закон их взаимодействия меняется. В слабом взаимодействии существенную роль начинают играть эффекты, связанные с большой массой промежуточных $W^{\pm}$ и Z^0-бозонов — переносчиков слабого взаимодействия. Глюоны — переносчики сильного взаимодействия между кварками — могут взаимодействовать и друг с другом, так как обладают цветовым зарядом (подобное взаимодействие у фотонов, не несущих электрический заряд, отсутствует). Цветовое «самодействие» глюонов приводит к тому, что начиная с некоторого расстояния наступает конфайнмент (удержание цветовых зарядов): частица, обладающая цветовым зарядом (глюон, кварк), может выйти из области удержания только после полной компенсации её цветового заряда — в форме бесцветных (белых) адронов.

Экспериментальный факт отсутствия свободных частиц, несущих цветовой заряд, квантовая теория поля связывает с ростом эффективного цветового заряда между кварками с увеличением расстояния (антиэкранировкой заряда). Увеличение заряда препятствует взаимному удалению кварков на значительное расстояние, они обладают относительной свободой перемещения лишь на достаточно малых расстояниях ($r < 1$ ферми).

В рамках моделей великого объединения взаимодействия зарядов всех известных видов (кроме гравитационного) при энергии частиц 10^{14}–10^{16} ГэВ оказываются сравнимыми по величине. Такие модели, в частности, позволяют объяснить дискретную природу электрического заряда (наличие элементарного электрического заряда). Неизбежным следствием этих моделей является существование частиц с магнитным зарядом — магнитных монополей (идею о возможном существовании магнитных монополей высказал ещё в 1931 г. английский физик П. Дирак, основываясь на квантовании электрического заряда). Предполагаемая масса магнитных монополей составляет $\sim 10^{16}$ ГэВ, так что они могли бы образовываться только на очень ранних стадиях эволюции Вселенной, когда энергия всех частиц была высока.

ЗАСВЕТКА НЕБА — нежелательное постороннее свечение ночного неба, затрудняющее наблюдение астрономических объектов. Бо́льшая часть засветки неба имеет искусственное происхождение, например рассеянный свет от ночного освещения улиц и сооружений. За последние столетие в связи широким применением электрического освещения населённых пунктов астрономические обсерватории, некогда построенные в городах или вблизи них, потеряли своё значение. Поэтому места для строительства новых обсерваторий выбирают вдали от густонаселённых районов.

На территориях, занятых экономически развитыми странами, явление подсвечивания земной атмосферы в ночное время искусственными источниками освещения приняло характер «светового загрязнения» (англ. *light pollution*). Это явление не только препятствует астрономическим наблюдениям из обсерваторий в этих регионах, но и оказывает влияние на всё человечество. Заметная часть населения Земли живёт сейчас в условиях настолько сильного светового загрязнения, что многие люди заканчивают свой жизненный путь, ни разу не увидев настоящее звёздное небо.

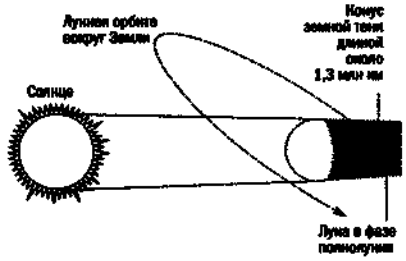
Естественными источниками засветки являются также ночное свечение атмосферы, полярные сияния, зодиакальный свет, рассеянный лунный свет и т. п. Для борьбы с засветкой неба используются специальные светофильтры, имеющие значительное поглощение на тех длинах волн, где засветка неба наиболее интенсивна. Например, фильтр LPR (light pollution rejection — подавление засветки). Если для местного уличного освещения используются натриевые лампы низкого давления, фильтр, поглощающий область вблизи 590 нм (линия D натрия), будет весьма эффективным. К сожалению, ртутные и натриевые лампы высокого давления излучают почти во всём видимом диапазоне спектра, поэтому полностью исключить их влияние практически невозможно.

Ухудшаются условия наблюдений с Земли космических объектов и в радиодиапазоне. Расширение частотных диапазонов, мощности и количества различных излучающих радиоустройств вносит всё больше радиопомех в радиодиапазоны, которые интересуют астрономов.

ЗАТМЕНИЕ — ситуация, когда три небесных тела располагаются на одной прямой. При этом наблюдатель, находящийся на одном из этих тел, может видеть, как другие два тела совмещаются в проекции и одно закрывает собой другое либо как тень одного из тел ложится на другое (в том случае, если третье тело светящееся). Наиболее известны солнечные и лунные затмения. Наблюдаются также затмения в системах спутников планет-гигантов (см. *Покрытие*).

Луна закрывает от нас Солнце в моменты солнечных затмений. Если диск Луны полностью закрывает диск Солнца, то это полное затмение. Если Луна закрывает лишь часть солнечного диска, потому что их центры видны на некотором расстоянии друг от друга, то это частное затмение. Если же в момент, когда центры дисков Луны и Солнца совместились, тонкий ободок солнечного диска оказался незакрытым (поскольку в этот момент угловой диаметр Луны меньше, чем Солнца), то такое затмение называют кольцеобразным.

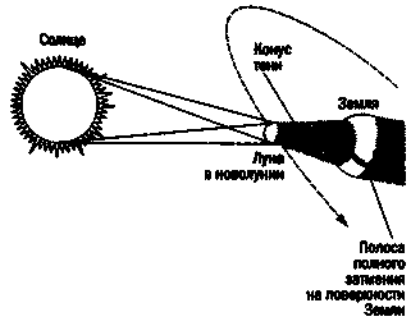
В моменты лунных затмений земная тень ложится на Луну. Лунные затмения тоже бывают полные и частные в зависимости от того, покрывает тень весь лунный диск или его часть. Если земная тень не касается лунного диска, но проходит вблизи него, происходит полутеневое лунное затмение. В этот момент



Лунное затмение. Луна попадает в тень Земли и скрывается от всех наблюдателей

для наблюдателя на Луне Земля закрывает собой часть солнечного диска; говорят, что на Луну ложится «полутень» Земли. Если же земная полутень покрывает лишь часть Луны, то это частное полутеневое лунное затмение (заметить его глазом весьма сложно).

Длительность полных солнечных затмений не превышает 7,5 мин, частных (большой фазы) — 2 часа. Лунная тень скользит по Земле со скоростью около 1 км/с, пробегая расстояние до 15 тыс. км; её диаметр около 270 км — это максимальная ширина области полного солнечного затмения. Полные лунные затмения могут длиться до 1 час 45 мин. Затмения повторяются в определённой последовательности через период времени в 6585 1/3 сут (так называемый сарос). Ежегодно бывает не более 7 затмений, из них не более 3 лунных.



Солнечное затмение. Луна закрывает диск Солнца от некоторых наблюдателей на Земле

С Земли наблюдаются также затмения в системах затменно-двойных звёзд, когда одна из звёзд системы проходит на фоне другой. Если угловой размер экранирующего тела существенно меньше, чем фонового (экранируемого) тела, то такие затмения называют прохождениями. Например, иногда наблюдаются прохождения Меркурия и Венеры по Солнцу, т. е. на фоне солнечного диска. Нередко наблюдаются прохождения экзопланет на фоне их звёзд. Обстоятельства затмений, покрытий и прохождений публикуются в астрономических ежегодниках.

ЗАТМЕННАЯ ДВОЙНАЯ (ЗВЕЗДА) — см. *Двойная система, Затменные переменные звёзды.*

ЗАТМЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ — двойные звёзды, плоскости орбит которых наклонены под малым углом к лучу зрения наблюдателя, что создаёт условия для периодических взаимных покрытий звёзд. В моменты покрытий, когда одна из звёзд загораживает собой от наблюдателя другую, он видит уменьшение суммарной яркости звёзд. Неоднократно наблюдать такие явления возможно только в системах, имеющих короткий орбитальный период, где звёзды близко расположены друг к другу и, следовательно, не видны раздельно в телескоп. Поэтому затменные звёзды не бывают визуальными двойными — их изображения сливаются в одно. Наблюдая изменение яркости «суммарной звезды» (т. е. построив её кривую блеска — зависимость видимой звёздной величины системы от времени) и измерив по смещению спектральных линий орбитальную скорость каждой из звёзд, можно определить их массы, радиусы, температуры поверхности и другие параметры (иногда даже форму). Часто у затменных переменных звёзд наблюдается эффект отражения, проявляющийся в том, что в промежутках между затмениями их блеск не остаётся постоянным, поскольку изменяется видимая для наблюдателя доля более тёплого полушария спутника, обращённого к яркому компоненту. Первую и наиболее яркую из затменных переменных — Алголь (β Персея) открыл английский астроном Джон Гудрайк в 1782 г.

ЗАХОД — явление пересечения светилом математического горизонта при его переходе из видимой части небесной сферы в невидимую. В момент захода объект скрывается за линией горизонта. При астрономических расчётах обычно имеется в виду математический горизонт, а не истинный (который у каждого наблюдателя свой). В астрономических ежегодниках моменты восхода и захода Солнца и Луны публикуют для верхней точки видимого диска, отстоящей от центра светила в среднем на 16′. При этом учитывается атмосферная рефракция у горизонта, увеличивающая видимую высоту светила на 35′ (иногда составители ежегодников принимают 34′).

ЗАЯЦ — древнее экваториальное созвездие, расположенное прямо под Орионом. История его неизвестна. Арат пишет: «У орионовых ног изо дня в день Заяц бежит, от погони спасаясь. Но неотступно по следу его несётся Сириус, не отстав ни на шаг». Одна из интереснейших красных звёзд на всем небе — R Зайца (R Lep), которую открыл в 1845 г. астроном Джон Расселл Хайнд (1823–1895), назвавший её Малиновой Звездой и описавший как «каплю крови на чёрном фоне». Впервые эту переменную типа Миры Кита исследовал Иоганн Фридрих Юлиус Шмидт (1825–1884): с периодом 427 сут её блеск меняется от 5,5 до 11,7 звёздной величины. Это прекрасный объект для любительских наблюдений. Удалённая от нас на 29 св. лет γ Lep — двойная звезда с компонентами, сильно различающимися по цвету: рядом с яркой белой звездой красный компаньон. Для их наблюдения достаточно бинокля. В Зайце также видно шаровое скопление M79.

ЗВЕЗДА — небесное тело, светимость которого поддерживается протекающими в его недрах термоядерными реакциями. В стационарном состоянии этому условию отвечают объекты массой более 0,07–0,08 масс Солнца ($M_\odot$), состоящие в основном из невырожденной водородно-гелиевой плазмы, в целом пребывающей в гидростатическом равновесии или квазиравновесии (медленное изменение размера). Верхний предел массы звёзд, по современным (2012) наблюдениям, составляет 150–300 $M_\odot$. Типичная звезда — Солнце.

Существование звёзд возможно только благодаря силе гравитации, удерживающей газ от быстрого расширения. Температура вещества в недрах звёзд составляет миллионы кельвинов, а на их видимой поверхности — тысячи кельвинов. Энергия в недрах большинства звёзд выделяется в результате термоядерных реакций превращения водорода в гелий или гелия в углерод. Звёзды часто называют главными телами Вселенной, поскольку в них заключена основная масса светящегося вещества в природе.

ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ — звезда, которая в соответствии со своей светимостью и температурой поверхности занимает место на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рассела. В этом состоянии звёзды пребывают большую часть своей жизни, используя в качестве источника энергии термоядерные реакции синтеза более сложных химических элементов из более простых, например гелия из водорода. На главной последовательности любая звезда проводит наиболее длительную и стабильную часть своей жизни. Собственно, именно поэтому на диаграмме «температура–светимость» и существует главная последовательность как область, наиболее плотно населённая звёздами.

ЗВЕЗДА-КОКОН — звезда, являющаяся источником мощного инфракрасного излучения, но не видимая в оптическом диапазоне, поскольку погружена в плотное газово-пылевое облако. Некоторые из таких звёзд молодые, их возраст не более одного миллиона лет, и они скрыты веществом, оставшимся после их формирования. Встречаются также старые звёзды-

коконы: это красные гиганты или сверхгиганты, находящиеся на той стадии эволюции, когда с их поверхности выбрасывается большой поток обогащённого углеродом вещества, в котором при остывании конденсируются твёрдые частицы (пылинки), образующие вокруг звезды непрозрачный кокон. Некоторые из этих старых звёзд-коконов мощно излучают в инфракрасном диапазоне, а также являются источниками мазерного излучения молекулы ОН.

Наибольший интерес для астрономов сейчас представляют молодые звёзды-коконы. Согласно современным представлениям о звёздообразовании, формирующиеся звёзды на определённом этапе обязательно проходят стадию звезды-кокона. Исследование таких звёзд было стимулировано открытием необычных источников ИК- и радиоизлучения в областях звёздообразования — газово-пылевых комплексах. Для этих источников характерны небольшие размеры (~0,1–1 пк), значительная светимость (~10^2–10^5 $L_\odot$). Их эффективная и цветовая температуры составляют от десятков до сотен кельвинов. В тех же областях были обнаружены компактные зоны HII (т. е. зоны ионизованного водорода) примерно таких же размеров и с высокой электронной плотностью (~10^3–10^6 см$^{-3}$), окружённые мощными пылевыми оболочками, переизлучающими коротковолновое излучение центральной звезды в более длинноволновом диапазоне (далёком ИК-диапазоне). Несомненное генетическое родство источников этих двух типов позволило создать сценарий образования массивной звезды в газово-пылевом облаке.

В результате развития гравитационной неустойчивости облако (или фрагмент облака) коллапсирует так, что в его центре при достижении достаточно высокой плотности возникает гидростатически равновесное звездообразное ядро, окружённое продолжающей коллапсировать массивной оболочкой. Эта оболочка, собственно, и делает рождающуюся звезду невидимой в оптических лучах (отсюда и аналогия с коконом). По мере роста светимости и температуры центральной звезды и по мере разрежения оболочки может образоваться компактная зона HII, а после рассеяния пылевой оболочки — обычная зона HII вокруг молодой звезды спектрального класса O или B.

Расчёты, проведённые для массивных звёзд, образующихся из газово-пылевых фрагментов с массой более $3M_\odot$, показали, что вначале вещество оболочки свободно падает на звезду. Оптическая толща такой оболочки очень велика (~10^3) в основном из-за присутствия пыли. Внешнему наблюдателю подобный объект представляется как источник длинноволнового ИК-излучения небольших угловых размеров со светимостью, соответствующей светимости ИК-источников протозвёздного типа с цветовой температурой $T_c \approx 50$ К. Переработка излучения оболочкой вследствие большой оптической толщи настолько эффективна, что изменение температуры молодой центральной звезды от нескольких тысяч до десятков тысяч кельвинов не приводит к существенному изменению внешней цветовой температуры: T_c возрастает не более чем в 2 раза.

По мере роста массы и светимости звезды важным динамическим эффектом становится давление излучения. Импульс поглощённого пылью излучения перераспределяется между пылью и газом посредством эффективного (при плотности газа более 10^{14} г/см^3) механизма трения пылинок о газ. Торможение коллапсирующего вещества давлением излучения приводит к появлению в оболочке уплотнения (кокона) близ границы испарения пыли на расстоянии от звезды $r \approx 10$–$100\ R_3$, где R_3 — радиус звезды. По современным представлениям, пылинки имеют сложную структуру: силикатное или графитовое ядро с температурой испарения ≈1500–3500 К, покрытое загрязнёнными льдами с температурой плавления ≈100 К. На расстоянии $r \approx 10^4$–$10^5\ R_3$, где находится граница испарения льдов, образуется второе уплотнение в звёздной оболочке — внешний кокон.

В спектре звезды-кокона помимо обусловленного внешним коконом мощного пика длинноволнового ИК-излучения (с $T_c \approx 60$–100 К) должен наблюдаться и более коротковолновый компонент, обусловленный излучением внутреннего кокона ($T_c \approx 300$–700 К). Наблюдения подтверждают эти теоретические представления.

С увеличением светимости центральной звезды давление излучения возрастает настолько, что коллапс оболочки останавливается и затем оболочка «сдувается» излучением. Характерная особенность: чем больше масса исходного фрагмента, тем большая относительная доля вещества сбрасывается. Это один из основных механизмов ограничения массы образующихся звёзд. При меньших плотностях в оболочке важными механизмами ограничения массы звезды служат также истечение вещества из звёзд и динамические эффекты, связанные с распространением ионизационного фронта. Перепад температур от ~10^4 К в ионизованной зоне к ~10^2 К в неионизованной зоне приводит к появлению ударной волны, тормозящей коллапс.

За 10^4–10^5 лет плотность во внутренних областях оболочки падает настолько, что создаются благоприятные условия для развития компактной зоны HII. Оптическое излучение на этой стадии всё ещё эффективно поглощается и перерабатывается во внешнем коконе. Распад кокона вследствие взаимодействия с ионизационным фронтом и из-за неизбежной неоднородности может привести к образованию уплотнений вещества — источников мазерного излучения. С этой стадией связывают существование в местах активного звёздообразования OH- и H_2O-мазеров.

ЗВЕЗДА ПОЛЯ — звезда, находящаяся в том же поле зрения, что и изучаемый объект (галактика, звёздное скопление и т. п.), но не являющаяся частью изучаемого объекта. Звезда поля называется звездой поля переднего фона, если она расположена ближе изучаемого объекта, и звездой заднего фона в обратном случае.

ЗВЕЗДА-СВЕРХГИГАНТ — звезда очень высокой светимости, находящаяся на ветви сверхгигантов диаграммы Герцшпрунга–Рассела. Звёзды-сверхгиганты могут иметь различную температуру и различный цвет — как голубой, так и красный. Примерами ярких сверхгигантов служат голубая звезда Ригель (β Ориона) и красная звезда Бетельгейзе (α Ориона). Важной особенностью сверхгигантов является их относительно небольшой возраст (десятки миллионов лет).

ЗВЕЗДА-СПУТНИК — менее массивная из двух звёзд, образующих двойную звёздную систему. См. *Двойная система*.

ЗВЕЗДА СРАВНЕНИЯ — звезда-стандарт, с которой сравнивается наблюдаемая звезда в процессе её измерения. Например, при измерении блеска звёзд используются звёзды сравнения, в постоянстве блеска которых есть уверенность. Ещё лучше, если блеск звёзд сравнения измерен методами абсолютной фотометрии, т. е. известны потоки излучения звёзд сравнения в физических единицах. Для контроля и оценки точности измерения обычно используются несколько звёзд сравнения.

ЗВЕЗДА β ЖИВОПИСЦА (β Pic) — одна из близких звёзд (расстояние около 20 пк) в созвездии Живописец; спектральный класс A5V, скорость вращения на экваторе около 140 км/с. Звезда окружена несколькими большими пылевыми кольцами, видимыми почти с ребра. В 1983 г. с помощью инфракрасного астрономического спутника были получены свидетельства существования околозвёздного пылевого диска, расположенного на внешней стороне внутренней, чистой, зоны вокруг звезды. Температура вещества диска составляет около −173 °C (т. е. 100 К), а сам диск простирается до более чем 600 а. е. Изображение диска получили в 1984 г. Ричард Террил (Richard Terrile) и Бредфорд Смит (Bradford Smith). Они использовали 2,5-метровый телескоп обсерватории Лас-Кампанас в Чили, оснащённый коронографом и ПЗС-камерой. На основании этих

снимков разгорелась дискуссия о том, может ли этот диск быть протопланетным, подобным тому, что было в Солнечной системе до формирования планет. Но здесь совсем иной случай, так как β Pic является звездой главной последовательности возрастом менее 20 млн лет. Пыль в её диске живёт около 100 тыс. лет и должна постоянно пополняться. Хотя диск на сегодняшний день и не является местом формирования планет, возможно, что внутри него движутся уже существующие планеты. В пользу этой идеи говорят и наблюдения разрыва в диске на расстояниях от 10 до 30 а. е. Было сделано предположение, что это свободное от пыли пространство было вычищено планетой массой около 5 масс Земли, обращающейся по почти круговой орбите радиусом примерно 20 а. е. Спектральный анализ выявил смещённые к красному концу спектра абсорбционные линий (т. е. линии поглощения), которые, как считают некоторые астрономы, обусловлены падающими на звезду кометами. Предположение о кометах согласуется с идеей о существовании планетной системы, так как один или несколько газовых гигантов могут быть причиной таких падений. В 1996 г. космический телескоп «Хаббл» обнаружил небольшое искривление диска внутри радиуса 80 а. е., которое, согласно одной из теорий, обусловлено гравитационным влиянием массивной планеты, обращающейся перпендикулярно диску. В 1998 г. было замечено ещё большее искривление диска между 500 и 800 а. е. Оно может быть результатом существования коричневого карлика на далёкой орбите вокруг β Pic или же прохождением мимо неё другой звезды.

ЗВЕЗДА 47 БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (47 UMa) — одна из первых звёзд солнечного типа (спектральный класс G0V), у которой была обнаружена планета; произошло это в 1996 г. Этот спутник, обозначенный как 47 UMa b, стал первой планетой иной звезды (экзопланетой), отнесённой к категории «классических юпитеров». Иными словами, эта планета не только по массе (2,5 массы Юпитера), но и по размеру орбиты напоминает Юпитер (в отличие от массивных планет, очень близких к своей звезде, — «горячих юпитеров»). Планета 47 UMa b расположена примерно на том же расстоянии от звезды (2,1 а. е.), что и пояс астероидов в Солнечной системе. В 2001 г. в системе 47 UMa была обнаружена вторая планета — 47 UMa c, массой в половину Юпитера и радиусом орбиты 3,6 а. е. В 2010 г. обнаружилась третья планета (1,6 массы Юпитера, 11,6 а. е.). Таким образом, все три экзопланеты — классические юпитеры.

ЗВЁЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, исследующий общие закономерности строения, состава, динамики и эволюции звёздных систем (скоплений и галактик).

ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — безразмерная физическая величина, характеризующая освещённость, создаваемую небесным объектом вблизи наблюдателя. Субъективно её значение воспринимается как блеск (у точечных источников) или яркость (у протяжённых). При этом блеск одного источника указывают путём его сравнения с блеском другого, принятого за эталон. Такими эталонами обычно служат специально подобранные непеременные звёзды. Звёздную величину сначала ввели как указатель видимого блеска оптических звёзд, но позже распространили и на другие диапазоны излучения: ИК, УФ. Шкала звёздных величин логарифмическая, как и шкала децибелов. В шкале звёздных величин разность на 5 единиц соответствует 100-кратному различию в потоках света от измеряемого и эталонного источников. Таким образом, разность на 1 звёздную величину соответствует отношению потоков света в $(100)^{1/5} \approx 2{,}512$ раза.

Обозначают звёздную величину латинской буквой «*m*» (от *лат. magnitudo* — величина) в виде верхнего курсивного индекса справа от числа. Направление шкалы звёздных величин обратное, т. е. чем больше значение, тем слабее блеск объекта. Например, звезда 2-й звёздной величины (2^m) в 2,512 раза ярче звезды 3-й величины (3^m) и в $2{,}512 \cdot 2{,}512 = 6{,}310$ раза ярче звезды 4-й величины (4^m).

Видимая звёздная величина (m), или просто «звёздная величина», указывает поток излучения вблизи наблюдателя, т. е. наблюдаемую яркость небесного источника, которая зависит не только от реальной мощности излучения объекта, но и от расстояния до него. Шкала видимых величин ведёт начало от звёздного каталога Гиппарха (до 161 г. — около 126 г. до н. э.), в котором все видимые глазом звёзды впервые были разбиты на 6 классов по яркости. У звёзд Ковша Большой Медведицы блеск около 2^m, у Веги около 0^m. У особо ярких светил значение видимой звёздной величины отрицательно: у Сириуса около $-1{,}5^m$ (т. е. поток света от него в 4 раза больше, чем от Веги). а блеск Венеры в некоторые моменты почти достигает -5^m (т. е. поток света почти в 100 раз больше, чем от Веги). Подчеркнём, что видимая звёздная величина может быть измерена как невооружённым глазом, так и с помощью телескопа; как в визуальном диапазоне спектра, так и в других (фотографическом, УФ. ИК). Таким образом, в этом термине «видимая» (англ. *apparent*) означает «наблюдаемая», «кажущаяся» и не имеет отношения конкретно к человеческому глазу (см. *Визуальная звёздная величина*).

Для удобства сравнения измерений, проведённых на разных обсерваториях при разных зенитных расстояниях звёзд, публикуемые в статьях и каталогах значения видимой звёздной величины обычно исправлены за поглощение в атмосфере («вынесены за атмосферу»).

Абсолютная звёздная величина (M) указывает, какую видимую звёздную величину имело бы светило в том случае, если бы расстояние до него составляло 10 пк и при этом отсутствовало бы межзвёздное поглощение света. Таким образом, абсолютная звёздная величина, в отличие от видимой, позволяет сравнивать истинные светимости небесных объектов (в заданном диапазоне спектра).

Что касается спектральных диапазонов, то существует множество систем звёздных величин, различающихся выбором конкретного диапазона измерения. При наблюдении глазом (невооружённым или через телескоп) измеряется «визуальная звёздная величина» (m_v). По изображению звезды на обычной фотопластинке, полученному без дополнительных светофильтров, измеряется «фотографическая звёздная величина» (m_p).

Поскольку фотоэмульсия чувствительна к синим лучам и нечувствительна к красным, на фотопластинке более яркими (чем это кажется глазу) получаются голубые звёзды. Однако и с помощью фотопластинки, используя ортохроматическую эмульсию и жёлтый светофильтр, получают так называемую фотовизуальную шкалу звёздных величин (m_{pv}), которая практически совпадает с визуальной.

Сопоставляя яркости источника, измеренные в различных диапазонах спектра, можно узнать его цвет, оценить температуру поверхности (если это звезда) или альбедо (если планета), определить степень межзвёздного поглощения света и другие важные характеристики. Поэтому разработаны стандартные фотометрические системы, содержащие от двух до дюжины и более спектральных диапазонов, в основном определяемых подбором светофильтров. Наиболее популярна трёхцветная система *UBV*: ультрафиолетовый (Ultraviolet), синий (Blue) и жёлтый (Visual). При этом жёлтый диапазон очень близок к фотовизуальному ($V \approx m_{pv}$), а синий — к фотографическому ($B \approx m_p$). При записи значений звёздных величин в определённых диапазонах («фильтрах») обычно используют такую форму: $m_p = 5$, $V = 11$, $U = 7{,}8$ и т. п., не употребляя при цифре верхний индекс «*m*», поскольку и так ясно, о каких единицах изменения идёт речь. (См. *Фотометрическая система.*)

Кроме спектрально-чувствительных приёмников, существуют болометры — интегральные приёмники излучения. Поток излучения, просуммированный по всем диапазонам спектра, даёт «боломе-

трическую звёздную величину» (m_b или m_{bol}) и позволяет (если известно расстояние до источника и степень межзвёздного поглощения) вычислить светимость объекта. Знание видимой болометрической величины позволяет вычислить приходящий от источника поток энергии:

$$f = 2{,}5\cdot10^{-8}\,\mathrm{dex}\{-0{,}4m_b\}\ \text{Вт/м}^2.$$

Вычисленное (через расстояние и поглощение) значение абсолютной болометрической величины (M_b или M_{bol}) легко перевести в светимость (т. е. мощность излучения) звезды:

$$L = 3{,}0\cdot10^{28}\,\mathrm{dex}\{-0{,}4M_b\}\ \text{Вт}.$$

Для Солнца $m_b = -26{,}83$ и $M_b = 4{,}74$. Это соответствует светимости Солнца $L_\odot = 3{,}85\cdot10^{26}$ Вт и потоку его излучения у Земли $f_\odot \approx 1369$ Вт/м^2.

ЗВЁЗДНАЯ ДИНАМИКА — раздел астрономии, изучающий строение, устойчивость и эволюцию звёздных систем — звёздных скоплений, галактик, а также скоплений галактик. Уравнения, описывающие поведение отдельной звезды в системе, — это обычные уравнения механики в сочетании с законом всемирного тяготения. Однако изучать с помощью этих уравнений поведение звёзд в системах, состоящих из миллионов и миллиардов звёзд, практически невозможно даже с помощью самых мощных компьютеров. В звёздной динамике вместо изучения траекторий отдельных звёзд часто исследуют усреднённые характеристики, определяемые функцией распределения звёзд, зависящей от времени (t), координат (r) и скоростей (v): $f(t, r, v)$. Величина $f\,\Delta x\,\Delta y\,\Delta z\,\Delta v_x\,\Delta v_y\,\Delta v_z$ даёт число звёзд, находящихся в момент t в объёме $\Delta x\,\Delta y\,\Delta z$, компоненты скорости которых попадают в интервалы $\Delta v_x\,\Delta v_y\,\Delta v_z$. С помощью функции распределения можно выразить все средние величины, характеризующие звёздную систему: плотность ρ, скорость u, давление и др.

При таком подходе описание системы звёзд подобно описанию газа. Наиболее велико сходство между звёздным скоплением и плазмой — ионизованным газом, состоящим из ионов и электронов. Подобно звёздам в скоплении, электроны и ионы плазмы взаимодействуют между собой с силой, убывающей с расстоянием по закону обратных квадратов. Однако в характере взаимодействий имеется и существенное различие, связанное с тем, что звёзды между собой всегда притягиваются, а в плазме частицы как притягиваются, так и отталкиваются в зависимости от знака зарядов. Вследствие этого плазму всегда можно считать нейтральной, а звёздное скопление всегда «заряжено» и должно иметь особое строение, чтобы находиться в равновесии.

Уравнение для функции f называется кинетическим; оно учитывает изменение f при регулярном движении звёзд, а также при их столкновениях. При взаимодействии звёзд по закону обратных квадратов сила, действующая на звезду, определяется в основном гравитационным полем, создаваемым далёкими звёздами, а не столкновениями звёзд. Таким образом, чтобы найти f для звёзд, нужно знать создаваемое ими гравитационное поле, т. е. совместно с кинетическим уравнением решать и уравнение для гравитационного потенциала φ. Систему уравнений для описания бесстолкновительных звёздных систем вывел в 1915 г. английский астрофизик Дж. Джинс. Аналогичную систему уравнений для описания бесстолкновительной плазмы с учётом электрических и магнитных сил в 1938 г. получил советский физик А. А. Власов.

Помимо усреднённого гравитационного поля на движение каждой звезды оказывают влияние случайные близкие пролёты других звёзд (сближения или «столкновения»), которые приводят к изменению их траекторий, представляющих собой криволинейное движение в усреднённом поле. Эти изменения описываются столкновительным членом, входящим в уравнение для f. В равновесной звёздной системе, согласно теореме вириала, кинетическая энергия звезды в среднем равна половине потенциальной: $m\langle v^2\rangle/2 \approx GMm/2R$, где m и $\langle v^2\rangle$ — масса и средний квадрат скорости звезды, а M и R — масса и характерный размер системы. В этом состоит существенное отличие звёздной системы от газа и плазмы, где кинетическая энергия частицы много больше потенциальной (частица между столкновениями практически свободна), и поэтому траектории частиц до и после столкновения почти прямолинейны. Это приводит к тому, что в газе и плазме столкновительный член является локальным (изменение траекторий происходит лишь в области достаточно тесного сближения частиц), а в звёздной системе он в каждой точке зависит от распределения звёзд во всей системе, что делает его намного более сложным.

Бесстолкновительная звёздная система (характерное время между столкновениями много больше времени существования системы) может прийти в стационарное состояние и находиться в нём весьма долго. Переход системы в стационарное состояние (релаксация системы) происходит за счёт перемешивания траекторий звёзд при их движении в общем гравитационном поле. Процесс бесстолкновительной релаксации звёздных систем был впервые рассмотрен английским астрономом Д. Линден-Беллом в 1967 г. и назван им бурной релаксацией (violent relaxation). Стационарное состояние достигается за характерное время t_h, определяемое несколькими пролётами звездой радиуса системы R: $t_h \approx R\langle v^2\rangle^{-1/2}$. Это время для звёздных скоплений и галактик меньше космологического $t_K \approx 14$ млрд лет (возраст Вселенной). Для Галактики $t_h \approx 2\cdot10^8$ лет. Таким образом, большинство звёздных систем во Вселенной находятся в стационарном состоянии, которое можно описать решением бесстолкновительного кинетического уравнения. Характерной чертой стационарного состояния, достигаемого в результате бурной релаксации, является выравнивание средних скоростей звёзд различной массы. В этом её принципиальное отличие от истинной релаксации (столкновительной), приводящей к выравниванию средних энергий звёзд различной массы и достижению локального термодинамического равновесия.

Наблюдаемое разнообразие форм и размеров галактик в значительной степени связано с различием начальных условий их образования. В системе без столкновений стационарное решение для функции распределения звёзд имеет большой произвол; нужно лишь, чтобы оно зависело только от интегралов движения звезды (величин, не изменяющих своего значения в процессе движения). Очевидными интегралами являются энергия звезды $E = Mv^2/2 + M\varphi$ и при наличии аксиальной симметрии — её орбитальный момент импульса. Из анализа распределения звёзд в Галактике следует вывод о существовании по крайней мере ещё одного интеграла движения, не имеющего столь очевидного физического смысла.

Роль парных столкновений в звёздных системах зависит от плотности звёзд (числа звёзд в единице объёма) и в достаточно плотных скоплениях может быть существенной. В отличие от бесстолкновительного случая, столкновения ведут к образованию единой функции распределения, соответствующей термодинамическому равновесию — распределению Максвелла:

$$f \sim \exp\{-M(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2T\},$$

где $T \propto M\langle v^2\rangle/3$ — температура скопления в энергетических единицах, характеризующая среднюю кинетическую энергию звезды в системе. Универсальность функции распределения приводит к сглаживанию различия между такими системами и установлению универсального распределения плотности. Системы могут отличаться только сплюснутостью, обусловленной их вращением. Характерное время установления равновесного распределения

$$\tau \approx 10^5 (N^{1/2}/\ln N)\,(R/1\ \text{пк})^{3/2}\,(M_\odot/M)^{1/2}\ \text{лет},$$

где N — полное число звёзд в системе, R — размер системы. Для галактики это время $\sim 10^{14}$ лет $\gg t_K$, но для шаровых скоплений

и ядерных областей галактик $\tau \ll t_k$, т. е. система успевает релаксировать за время существования галактики.

«Испарение» звёзд и эволюция звёздных систем

Тесные сближения («столкновения») звёзд ведут к установлению максвелловского распределения, в котором должны быть звёзды всех энергий. Однако гравитационный потенциал скопления конечен, поэтому звёзды, обладающие достаточно большой энергией, покидают систему («испаряются»). Иными словами, столкновения приводят к «испарению» звёзд из системы. Чтобы покинуть систему, звезда должна приобрести скорость $v \geqslant v_{\text{исп}} = (12T/M)^{1/2}$, что вдвое больше среднеквадратичной скорости $\langle v^2 \rangle^{1/2} = (3T/M)^{1/2}$. За характерное время τ количество улетевших звёзд примерно соответствует числу звёзд в максвелловском распределении с $v > v_{\text{исп}}$, что равно $\approx 0{,}007\ N$. Испарение звёзд из системы в результате столкновений впервые исследовали советский астрофизик В. А. Амбарцумян (1938) и независимо от него американский астрофизик Л. Спитцер (1940).

Наибольшую роль в испарении звёзд играют столкновения со звёздами, пролетающими далеко от данной звезды и передающими ей малые порции энергии. Это приводит к тому, что лишь небольшая доля звёзд ($\sim 1/\ln N$) улетает с большой скоростью, а основное их число медленно расплывается и образует разреженное гало звёздного скопления. Одновременно оставшаяся доля звёзд, теряющих энергию, сжимается, образуя уплотняющееся ядро. Изолированная звёздная система (при учёте только парных столкновений) должна закончить своё существование испарением большинства звёзд системы и релятивистским гравитационным коллапсом остатка. В реальном звёздном скоплении, входящем в состав галактики, коллапсирующее ядро может не возникнуть, если масса остатка окажется слишком малой ($\leqslant 100\ M_\odot$). В этом случае образуется массивная нормальная звезда либо двойная система, судьба которой определяется её ядерной эволюцией и такова же, как и у других звёзд Галактики, не входивших в плотные скопления. Оценки показывают, что итогом эволюции ядер шаровых звёздных скоплений с числом звёзд $\sim 10^5$–10^6 вряд ли могут явиться коллапсирующие объекты — чёрные дыры. В ядрах галактик и в квазарах, в которых число звёзд может достигать $\sim 10^8$–10^{11}, в результате эволюции и испарения звёзд в конце может произойти релятивистский коллапс и возникнуть чёрная дыра с массой $(10^3$–$10^7)\ M_\odot$. Приведённые оценки сделаны без учёта вращения, которое уменьшает массу коллапсирующего остатка.

Помимо парных сближений звёзд, в плотных звёздных скоплениях могут происходить лобовые столкновения звёзд, приводящие к их частичному слиянию, сбросу массы, образованию ударных волн. Оценки показывают, что лобовые столкновения могут играть заметную роль в эволюции только самых плотных ядер галактик и квазаров с $N \sim 10^{10}$ внутри объёма с $R = 10^{15}$ м ($\approx 0{,}03$ пк). В шаровых и рассеянных скоплениях, входящих в состав Галактики, лобовые столкновения весьма маловероятны.

Неустойчивости и спиральная структура галактик

Итак, за исключением плотных центральных областей галактик и шаровых скоплений, основная часть звёзд не испытывает столкновений и движется в усреднённом гравитационном поле галактики. Характерная черта бесстолкновительной звёздной системы — возможность развития в ней неустойчивостей различных типов. Главный стимул для изучения этих неустойчивостей — желание объяснить природу спиральной структуры галактик. Спиральные рукава представляют собой волны — спиральные уплотнения, распространяющиеся по веществу галактики и сохраняющие почти неизменной свою форму. Рассматриваются различные причины возникновения таких волн. Согласно одной точке зрения, спиральная волна связана с существованием в центре галактики асимметричного образования — вращающегося бара (англ. *bar* — брусок, полоса), являющегося генератором волны. Действительно, в некоторых галактиках видны вращающиеся вытянутые образования, от которых отходят спиральные рукава. Однако во многих спиральных галактиках бары не видны, поэтому, согласно другой точке зрения, причиной возникновения спиральной волны служат неустойчивости.

В звёздной системе возможно развитие гравитационных неустойчивостей, а также кинетических неустойчивостей, связанных, как и в плазме, с видом функции распределения. Невращающиеся системы — эллиптические галактики, шаровые скопления — устойчивы относительно всех типов возмущений, что позволяет им сохранять правильную форму даже в отсутствие столкновений. По мере увеличения вращения и приобретения галактикой формы диска возрастает число неустойчивых мод (видов) собственных колебаний. Наиболее важной является джинсовская неустойчивость тонкого диска. При образовании уплотнения в тонком диске возрастают гравитационные силы, стремящиеся увеличить плотность. Центробежные силы и давление препятствуют росту плотности. Центробежные силы приводят к стабилизации самых крупномасштабных возмущений, связанных со сжатием или расширением диска как целого. Изотропное давление в диске стабилизирует мелкомасштабные возмущения с длиной волны порядка или меньше толщины диска. Возмущения промежуточных масштабов в тонком диске оказываются неустойчивыми, и в результате их развития может возникнуть спиральная структура. Численные расчёты развития неустойчивостей в тонком диске в гидродинамическом приближении показывают, что наиболее быстро растёт двухрукавная спиральная мода, соответствующая отстающей спирали (с закручивающимися ветвями). Результаты численных расчётов собственных колебаний диска находятся в соответствии с наблюдениями галактик, которые показывают, что основным типом спиралей являются двухрукавные отстающие.

Кинетические неустойчивости

Впервые неустойчивости подобного типа были изучены в плазме. Они обусловлены взаимодействием волн с частицами. Неустойчивость возникает, когда частицы передают волне больше энергии, чем отнимают у неё. Для этого необходимо, чтобы функция распределения была далека от равновесной. Так называемая пучковая неустойчивость развивается, когда функция распределения f имеет локальный максимум в области больших скоростей (т. е. имеется пучок частиц с большими скоростями). Циклотронная неустойчивость может развиваться в быстровращающейся звёздной системе. Дрейфовая, или градиентная, неустойчивость развивается в неоднородной звёздной системе при наличии градиентов плотности или температуры.

Роль кинетических неустойчивостей в галактиках ещё не совсем понятна. Скорость нарастания обусловленных этими неустойчивостями возмущений обычно меньше, чем у гравитационной неустойчивости. В спиральных галактиках имеется сферическая подсистема, скорость вращения которой много меньше, чем у диска. В этих условиях должна развиваться пучковая, а также две другие кинетические неустойчивости, чем можно объяснить некоторые особенности структуры спиральных галактик. При наличии резких градиентов скорости в галактике возможно развитие неустойчивости, связанной со скачками тангенциальной скорости.

Бароподобная неустойчивость, массивные короны галактик

Аксиально-симметричная форма вращающегося самогравитирующего тела становится неустойчивой при достаточно быстром вращении. В результате развития этой неустойчивости образуется трёхосная фигура (бар), из-за чего данная неустойчивость названа бароподобной. Она изучена ещё в XIX в. при рассмотрении самогравитирующих конфигураций несжимаемой жидкости и носит универсальный характер, в том числе имеет место и в звёздных системах. Момент вра-

щения у дисков в спиральных галактиках столь велик, что должно было бы существовать большое количество эллиптических дисков. Однако наблюдения не позволяют отличить эллиптический диск от эллиптической проекции кругового диска на небесную сферу. Обычно считают, что галактические диски являются круговыми, поэтому для их устойчивости необходимо наличие массивной сферической составляющей с массой, превышающей массу светящегося вещества. Анализ распределения скоростей галактик — спутников нашей Галактики — показывает, что эта масса может быть распределена в обширной короне, окружающей Галактику, причём масса короны может в несколько раз превышать массу Галактики. Без сомнения, аналогичные короны есть и у других галактик.

Численные расчёты в звёздной динамике

С развитием вычислительной техники стало возможным изучать звёздные системы, не прибегая к кинетическому уравнению, а решая непосредственно уравнения движения отдельных тяготеющих масс. Количество рассматриваемых тяготеющих масс ограничено возможностями компьютера и составляет десятки тысяч при учёте тяготения каждой массы в отдельности и десятки миллионов при учёте только усреднённого потенциала звёзд. Расчёты подтверждают появление и развитие спиральных структур, «испарение» отдельных точечных масс. В системах с несколькими тысячами звёзд (при реальном учёте тяготения каждой звезды) эволюция ведёт к образованию большого числа связанных пар. Выделяющаяся при образовании таких пар потенциальная энергия приводит к полному разлёту скопления в конце эволюции. Подобные расчёты могут применяться для описания последних стадий эволюции ядра шарового скопления и указывают на то, что чёрные дыры при этом не образуются. Численные расчёты с успехом применяются при исследовании скоплений галактик, где число членов сравнительно невелико.

Численные расчёты позволяют исследовать столкновения галактик, которые моделируются десятками тысяч точек. Получается, что после достаточно близкого пролёта одной галактики мимо другой в диске возбуждаются спиральные волны. Это может происходить в богатых скоплениях галактик, где близкие пролёты галактик достаточно вероятны.

ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ — гравитационно связанные группы звёзд, содержащие от дюжины до нескольких миллионов светил и входящие в состав галактик. В отличие от созвездий, в которых звёзды лишь случайно видны на небе рядом друг с другом, а в действительности не связаны между собой ни общим происхождением, ни даже близким расположением в пространстве, звёздные скопления — это группы звёзд, родившихся в одно время из одного облака межзвёздного газа. Члены звёздного скопления длительное время живут вместе, удерживая друг друга общими силами тяготения.

Наиболее известное звёздное скопление — Плеяды, которое в народе называют Стожарами, Волосожаром, Утиным гнездышком и т. п. Это симпатичный маленький «ковшик» в созвездии Телец. Невооружённый глаз видит в Плеядах от 5 до 7 звёзд, но это лишь самые яркие; в бинокль их видно около 50, а всего в этом скоплении более 300 звёзд, занимающих в пространстве область диаметром 7 пк и хаотически движущихся друг относительно друга со скоростями около 1 км/с. Плеяды удалены от нас примерно на 150 пк. Это относительно молодое скопление, его возраст около 100 млн лет.

Астрономам известны и значительно более молодые скопления, возраст которых всего несколько миллионов лет, но обнаружены также и очень старые, возрастом до 13 млрд лет. Любители астрономии хорошо знакомы ещё с одним скоплением в Тельце — Гиадами, ближайшим к нам звёздным скоплением, расстояние до которого всего 45 пк. Поэтому оно занимает на небе обширную область вокруг оранжевой звезды Альдебаран (α Тельца), хотя сам Альдебаран в это скопление не входит.

Некоторые скопления звёзд были открыты ещё до изобретения телескопа — это уже знакомые нам Плеяды и Гиады, а также туманное пятнышко в созвездии Рака, известное как Ясли (*лат.* Praesepe); англичане называют его *Beehive Cluster*, т. е. Улей. Кроме того, в созвездии Волосы Вероники издавна известна россыпь слабых звёзд, как раз и ставшая причиной названия этого созвездия, единственного на небе, связанного с реальным историческим персонажем — Вереникой, женой египетского фараона Птолемея III Эвергета (III в. до н. э.). В Яслях, удалённых от нас на 170 пк, самые яркие звёзды имеют блеск 7^m. Чтобы их заметить, нужен чрезвычайно зоркий глаз (а лучше — бинокль) и очень тёмное небо. Ещё несколько скоплений можно увидеть невооружённым глазом как слабые «туманные звёзды», но догадаться об их истинной природе до изобретения телескопа было невозможно. А тот факт, например, что звёздная россыпь в Волосах Вероники представляет собой единое скопление, был доказан лишь в 1915 г.

Известны случаи, когда компактную группу звёзд принимали за звёздное скопление и даже давали ему имя, но детальные исследования показывали, что эти звёзды случайно видны рядом на небе, а в пространстве они разделены огромным расстоянием и не связаны друг с другом.

Появление в XVII в. телескопа привело к открытию множества звёздных скоплений, В одном из первых каталогов «туманных объектов» — каталоге Шарля Мессье (1781) — содержится всего 103 объекта, из них 57 являются звёздными скоплениями. К настоящему времени в нашей Галактике открыто уже около 2000 звёздных скоплений. Разумеется, это лишь малая их часть; предстоит открыть намного больше.

В астрономической практике случается и такое, что звёздное скопление не выделяется «на глаз» среди россыпи звёзд на небе, но детальное исследование показывает, что часть звёзд в данной области неба удалена от нас на одинаковое расстояние и, что ещё важнее, движется согласованно. Обычно такое совпадение не бывает случайным: например, если в толпе людей мы видим группу идущих в одном направлении, то это неспроста. Особенно нелегко заметить близкие к нам скопления, поскольку их члены широко рассеяны среди случайных звёзд фона. Чтобы точно доказать принадлежность звёзд к такому скоплению, нужно убедиться, что все они движутся в пространстве одинаково. Если это доказано, то такие группы звёзд называют «движущимися скоплениями» или «движущимися группами»; их известно уже несколько десятков. Например, из семи ярких звёзд Ковша Большой Медведицы пять звёзд принадлежат одной движущейся группе.

Лишь у немногих звёздных скоплений есть свои имена — Плеяды, Гиады и ещё несколько. Остальные скопления обозначают номерами по какому-либо каталогу; часто одно скопление имеет несколько обозначений. Например, яркое шаровое скопление в Геркулесе по каталогу Мессье обозначается как M13, а по «Новому общему каталогу туманностей и звёздных скоплений» (New General Catalogue of Nebulae and Star Clusters), опубликованному Дж. Дрейером (1852–1926) в 1888 г., это же скопление обозначается как NGC 6205. Плеяды имеют свой номер в каталоге Мессье (M 45), но их нет в каталоге NGC. Некоторые скопления сначала были нанесены на карты как звёзды и получили соответствующие обозначения. Лишь позже в них разглядели, как выражались когда-то, «звёздные кучи» и присвоили номера по каталогам незвёздных объектов. Например, это шаровые скопления 47 Тукана (NGC 104) и Омега Кентавра (NGC 5139).

Рождение звёздных скоплений

Скопления звёзд рождаются в недрах огромных холодных облаков межзвёздного газа и пыли. Наблюдать этот процесс сложно, поскольку пыль делает такие облака непрозрачными для света. Но с помощью инфракрасных и радио-

телескопов процесс рождения звёзд все же можно наблюдать. В самой плотной части облака под действием собственного тяготения газ сжимается и делится на части — протозвёзды. Продолжая сжатие, протозвезды разогреваются и становятся звёздами разных масс. Наиболее массивные из звёзд приобретают высокую температуру и светимость, они разогревают вокруг себя остатки протозвёздного газа, его давление возрастает, он стремится расшириться и в результате разрушает материнское облако. На этом рождение звёзд прекращается, и начинается жизнь звёздного коллектива. Его судьба может быть разной в зависимости от того, много ли звёзд в коллективе, близко ли они расположены друг к другу и насколько велико их взаимное движение. Если в момент разрушения облака звёзды располагались поодаль друг от друга и не ощущали сильного взаимного притяжения, а их взаимные скорости при этом были велики, то они не смогут удержаться вместе и разлетятся менее чем за миллион лет. Если же родилась плотная и многочисленная группа звёзд, крепко связанных между собой взаимным тяготением, то она образует устойчивый рой, который долго будет жить в виде звёздного скопления.

«Вылупление» звёздного скопления из родительского облака межзвёздного газа — процесс очень интересный и до конца ещё не изученный. Звёзды разного типа по-разному влияют на окружающее облако. Самые массивные из них своим мощным излучением разогревают окружающий газ, повышают его давление и заставляют расширяться. Быстро прожив отпущенные им природой несколько миллионов лет, эти звёзды взрываются как сверхновые и своей расширяющейся оболочкой выгребают наружу остатки окружавшего их газа. А звёзды малой массы, похожие на наше Солнце, влияют на окружающий газ в период своего формирования: окружённые аккреционным диском, они выбрасывают вдоль оси вращения диска мощные газовые струи, которые расталкивают и нагревают межзвёздное вещество, заставляют его покидать область звёздообразования.

Типы скоплений

Звёздные скопления принято делить на несколько типов по их внешнему виду, возрасту и количеству звёзд. Наиболее известны три типа звёздных группировок: рассеянные скопления, шаровые скопления и звёздные ассоциации.

Шаровые скопления — самые плотные и массивные; они содержат от 10 тыс. до нескольких миллионов звёзд; в среднем около 200 тыс. Это очень старые скопления: с момента их формирования прошло 10–13 млрд лет. Поэтому их звёзды, имевшие массы больше, чем у Солнца, уже закончили свою эволюцию, а светить в них продолжают только звёзды малых масс.

Хотя некоторые шаровые скопления можно заметить глазом как размытые пятнышки (например, скопление M13 в Геркулесе или скопление ω Кентавра), их истинную природу открыли с помощью телескопа. Первый туманный объект (M22), который в наши дни причисляют к шаровым скоплениям, открыл в созвездии Стрелец с помощью телескопа немецкий астроном А. Иль в 1665 г. Следующим было открыто скопление ω Кентавра, которое в 1677 г. обнаружил английский астроном Э. Галлей. Пока в нашей Галактике найдено около 160 шаровых скоплений; всего же их, вероятно, около 200. Они обнаруживаются по всему объёму Галактики, заполняют галактическое гало до расстояния в 100 кпк от галактического центра, но чем ближе к центру Галактики, тем чаще можно встретить шаровые скопления. Поэтому особенно много их наблюдается в созвездиях Стрелец и Скорпион — в том направлении, где лежит центр Галактики.

Рассеянные скопления содержат от нескольких десятков до нескольких тысяч звёзд; в среднем 200–300. Эти скопления, как правило, располагаются вблизи галактической плоскости, а значит, наблюдаются в полосе Млечного Пути или невдалеке от неё. По этой причине раньше их называли «галактическими скоплениями». Английское название этих скоплений — *open clusters* — иногда переводят буквально, как «открытые скопления», что недопустимо.

Звёзды в рассеянных скоплениях значительно моложе, чем в шаровых: обычно им не более 1 млрд лет, а их типичный возраст около 10 млн лет, т. е. всего лишь около $^1/_{500}$ от возраста Земли и Солнца. Поэтому вполне объяснимо расположение рассеянных скоплений в плоскости Галактики, там, где много межзвёздного газа, из которого формируются звёзды. Поскольку рассеянные скопления сравнительно молоды, они содержат много массивных ярких звёзд Но «упакованы» эти звёзды не так плотно, как в шаровых скоплениях.

Как правило, шаровые скопления выглядят плотнее рассеянных и имеют более правильную, симметричную форму. Но по фотографии не всегда отличишь рассеянное скопление от шарового: у далёких шаровых скоплений видны только самые яркие звёзды — красные гиганты, которых раз в сто меньше, чем обычных звёзд главной последовательности. Поэтому на фотографии далёкого и не очень богатого шарового скопления видно около сотни звёзд, так что сразу не понять, какого типа это скопление. Известно немногим более 1500 рассеянных скоплений, однако ещё многие тысячи их наверняка скрываются в удалённых областях Галактики, закрытых от нас облаками межзвёздной пыли.

Звёздные ассоциации — это ещё более разреженные группировки звёзд, чем рассеянные скопления. Ассоциации расположены в спиральных рукавах Галактики, там, где сконцентрировано межзвёздное вещество и рождаются звёзды. Известно менее ста ассоциаций, и все они состоят из молодых, ярких и массивных звёзд, в основном спектральных классов O и B. Звёзды меньшей массы в ассоциациях тоже есть, но их сложнее заметить. Часто звёзды ассоциации разлетаются от общего центра, где они когда-то родились. Если проследить их пути назад, то оказывается, что они «тронулись в путь» всего около миллиона лет назад — совсем недавно по масштабам возраста звёзд. Когда через несколько миллионов лет эволюция наблюдаемых сейчас O- и B-звёзд закончится, заметить на небе известные ныне ассоциации станет невозможно. Но на смену им наверняка родятся новые. Возможно, большая часть звёзд в Галактике родилась именно в составе короткоживущих ассоциаций.

Эволюция скоплений

«Паспортом» каждого скопления служит диаграмма Герцшпрунга–Рассела для его звёзд: по ней можно определить возраст скопления, расстояние до него и другие важные параметры. Очень интересно изучать расположение и движение звёзд внутри скоплений. Звёзды, члены скопления, движутся по орбитам вокруг общего центра массы примерно так же, как планеты обращаются вокруг Солнца. Разница лишь в том, что массивное Солнце полностью подчиняет себе движение лёгких планет, делая их орбиты весьма простыми — почти круговыми, а скорости движения по ним — почти постоянными. Движение же каждой звезды в скоплении происходит под влиянием всех остальных звёзд, отчего её орбита становится весьма сложной, немного напоминающей ромашку.

Когда звезда проходит особенно близко от соседних с ней звёзд, её скорость под действием их притяжения может резко уменьшиться или увеличиться. Если скорость звезды уменьшается, она переходит на более компактную орбиту и большую часть времени проводит вблизи центра скопления. Если же скорость увеличивается, то звезда уходит на периферию скопления — в его гало. Иногда скорость звезды возрастает настолько, что она может вырваться из притяжения своих соседок и навсегда покинуть скопление. Поэтому время от времени каждое звёздное скопление теряет своих членов и в конце концов полностью «испаряется». Скопления из 50–100 звёзд живут примерно 100 млн лет, из 1000 звёзд — 1 млрд лет, а из 10 тыс. звёзд — около 10 млрд лет.

Взаимодействие звёзд друг с другом приводит к тому, что самые массивные

из них, а также двойные звёзды постепенно опускаются к центру скопления и формируют там плотное ядро, а более лёгкие звёзды уходят на периферию скопления и образуют его корону. Когда в ядре скопления происходит тесное сближение одиночной звезды с двойной системой, их взаимодействие может завершиться заменой партнёра в двойной или полным разрушением системы. Но чаще всего пролёт одиночной звезды мимо двойной приводит к тому, что двойная становится более компактной и прочно связанной системой, а пролетающая одиночная звезда получает дополнительный импульс и с увеличенной скоростью уносится прочь.

Помимо «испарения» звёзд существуют и другие причины разрушения скоплений. Например, когда мимо звёздного скопления пролетает массивный объект – крупное облако межзвёздного газа или другое звёздное скопление, – своим притяжением оно нарушает спокойное движение звёзд, которые начинают двигаться более хаотично, и скопление от этого «распухает». Маленькие звёздные скопления не выдерживают таких «гравитационных ударов» и полностью разрушаются.

Внутренняя структура звёздных скоплений изменяется с их возрастом: в процессе эволюции ядро скопления становится все меньше и плотнее, а окружающая его звёздная «корона» – всё больше и разреженнее. Проходя мимо массивных объектов, таких как гигантские молекулярные облака или ядро Галактики, скопление под действием приливных гравитационных возмущений теряет звёзды из своей короны и может заметно изменить свою структуру. Поэтому, изучив распределение звёзд в скоплении, можно немало узнать о том, как долго и в каких областях Галактики оно путешествовало.

Не менее важно изучать и расположение самих звёздных скоплений в Галактике. Молодые рассеянные скопления и звёздные ассоциации концентрируются в спиральных рукавах, позволяя астрономам определять как положение самих спиральных рукавов, так и распределение в них областей активного формирования звёзд. Изучая звёздные скопления, можно весьма детально восстановить прошлое нашей Галактики и соседних звёздных систем. Например, тот факт, что самые старые шаровые скопления населяют гало Галактики, говорит о том, что в период ранней молодости Галактика имела более или менее сферическую форму. Затем межзвёздный газ, из которого формируются звёзды, сконцентрировался во вращающемся диске, поэтому звёздные скопления среднего и молодого возраста заполняют только диск Галактики и не встречаются в её гало.

Звёздные скопления очень ценны для астрономии, поскольку это группы звёзд, одинаково удалённых от нас и родившихся одновременно из одинакового вещества. Звёзды в скоплении различаются только исходной массой, что значительно облегчает изучение их эволюции.

ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОЙ СВЕТИМОСТИ (ultra-luminous clusters) – молодые шаровые скопления, сформированные десятки или сотни миллионов лет назад и состоящие в основном из голубых ярких звёзд. Эти скопления в сотни раз ярче древних шаровых скоплений, обнаруженных в нашей Галактике, и характерны для галактик, которые недавно пережили столкновения или слияние, таких как галактика «Мирный атом» (NGC 7252) и галактики «Антенны» (NGC 4038 и NGC 4039). Считается, что в ранней Вселенной такие объекты были обычным явлением.

ЗВЁЗДНЫЕ СУТКИ – промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия. Продолжительность звёздных суток составляет 23 час 56 мин 4,1 с. Поскольку звёздные сутки короче солнечных на 3 мин 55,9 с, звёздные часы в течение солнечных суток опережают обычные часы на 3 мин 56,5 с. Различие в продолжительности солнечных и звёздных суток обязано годичному обороту Солнца на фоне звёзд, наблюдаемому вследствие орбитального движения Земли. Из-за прецессии звёздные сутки приблизительно на 0,01 секунды короче суточного периода вращения Земли.

ЗВЁЗДНЫЙ ВЕТЕР – постоянное истечение газа из атмосферы звезды, уносящее вещество звезды в межзвёздное пространство. Звёздный ветер имеет место у звёзд всех спектральных классов, но наиболее сильным он является у горячих массивных звёзд. Скорость истечения газа обычно близка ко второй космической скорости на поверхности звезды, т. е. заключена в пределах от 30–50 км/с для красных гигантов до 1000 км/с для массивных звёзд спектрального класса О. Поток вещества, теряемого светилом в виде звёздного ветра, может достигать 10^{-5} $M_{\odot}$/год (у массивных звёзд типа Вольфа–Райе), но у нормальных звёзд он значительно меньше; например, поток солнечного ветра всего около 10^{-14} $M_{\odot}$/год, а его скорость в окрестности Земли – около 400 км/с. Для большинства звёзд потеря массы в виде звёздного ветра за всё время жизни звезды незначительна. Но у наиболее массивных звёзд, несмотря на их короткое время жизни (~10^7 лет), эта потеря может составить существенную долю исходной массы звезды.

ЗВЁЗДНЫЙ ДОЖДЬ (метеорный дождь) – значительно более частое, чем обычно, появление на ночном небе «падающих звезд» (метеоров), вызванное встречей Земли с космическим роем твёрдых частиц – метеорных тел (см. *Метеорный поток*).

ЗВЁЗДНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА – оптический интерферометр, с помощью которого американский физик Альберт Майкельсон (1852–1931) в начале XX в. измерил угловые диаметры нескольких звёзд. В интерферометре использованы два подвижных плоских зеркала, укреплённые на концах фермы длиной 6 м, которая устанавливалась на верхнем конце трубы 2,5-метрового телескопа «Хукер» обсерватории Маунт Вилсон (Калифорния). Свет звезды, отражённый этими зеркалами, с помощью двух дополнительных зеркал в центре фермы направлялся в телескоп, создавая в фокусе интерференционную картину. Меняя расстояние между крайними зеркалами, определяли базу, при которой полосы в интерференционной картине исчезали; исходя из этого, вычисляли угловой диаметр звезды. В 1989 г. на той же обсерватории Маунт Вилсон знаменитый американский физик Чарльз Таунс создал подобный прибор для измерений в ближнем ИК-диапазоне.

ЗВЁЗДНЫЙ КАТАЛОГ SAO – каталог, опубликованный в 1966 г. Смитсонианской астрофизической обсерваторией (США). Содержит координаты и собственные движения более 250 тыс. звёзд.

ЗВЁЗДООБРАЗОВАНИЕ – процесс формирования звёзд из разреженного межзвёздного (т. е. внутригалактического) или догалактического газа. Исследование звёздообразования – одна из фундаментальных проблем современной астрофизики. Существование в Галактике нескольких звёздных населений (с типичными для звёзд каждого населения физическими характеристиками, химическим составом и пространственным распределением) теория объясняет непрекращающимся рождением звёзд (различием возрастов звёзд) и изменением их свойств со временем в ходе их эволюции. Каждое население, каждое поколение звёзд хранит следы тех условий, которые имели место в период их рождения.

Процесс современного звёздообразования астрономы изучают путём прямых наблюдений, поэтому многие стороны этого процесса уже понятны или быстро проясняются. Однако чёткого представления о формировании первых поколений звёзд и звёздных систем, таких как шаровые скопления и галактики разного типа, пока нет. Поэтому далее мы изложим традиционное представление об этих процессах, которое будет уточняться и, возможно, существенно изменится.

Картина формирования нашей Галактики и подобных ей звёздных систем представляется так: в молодой расширяющейся Вселенной обычное (барионное) вещество и заметно превосходящая его по плотности тёмная материя неизвестной пока природы были распределены в пространстве чрезвычайно (но не абсолютно!) однородно. Под действием гравитации малые флуктуации плотности быстрее росли у тёмной материи, не обладающей такой упругостью, как взаимодействующее с излучением барионное вещество. Поэтому первые гравитационно связанные структуры сформировались из тёмной материи, а затем уже в эти потенциальные ямы стало стягиваться барионное вещество — протогалактический газ.

В период, когда рождались первые звёзды, протогалактическое газовое облако состояло из водорода (около 75% по массе) и гелия (около 25%) и занимало, как считается, примерно сферический объём. В конце своей эволюции звёзды первого поколения обогащают межзвёздный газ элементами более тяжёлыми, чем водород и гелий. Поэтому звёзды, родившиеся позже, относительно богаче тяжёлыми химическими элементами. Старые звёзды (родившиеся вначале) населяют сферическую подсистему Галактики, для которой характерна сильная концентрация звёзд к галактическому центру. Более молодые звёзды концентрируются к галактической плоскости, поскольку газ, из которого они образовались, постепенно оседал к этой плоскости (из-за вращения и действия центробежных сил он не мог столь же эффективно сжиматься к оси вращения Галактики). Самые молодые объекты Галактики располагаются в непосредственной близости к галактической плоскости (их среднее расстояние z от плоскости мало) и обладают небольшой (по сравнению с более старыми популяциями) дисперсией скоростей.

Все индикаторы возраста показывают, что звёзды в Галактике имеют возраст приблизительно от 13 млрд лет (самые старые) до 100 тыс. лет и меньше. Иными словами, звёздообразование происходит в Галактике и сейчас. Об этом свидетельствует присутствие массивных и горячих (молодых) звёзд спектральных классов O и B во внутренних кромках галактических спиральных рукавов (где концентрация газа и пыли повышена), существование мощных источников ИК-излучения в межзвёздных облаках водорода (ими могут быть молодые звёзды на стадии звезды-кокона) и другие факты, о которых будет сказано ниже. Возраст этих объектов порядка 10^5–10^7 лет, т. е. крайне мал по сравнению с возрастом Галактики.

Теоретические представления о звёздообразовании

Звёздообразование начинается с фрагментации протяжённых холодных облаков газа под действием гравитационных сил. Фрагментация становится возможной в случае, если масса выделяющегося фрагмента превосходит критическое значение (джинсовскую массу)

$$M_J=(kT/Gm_H)^{3/2}\rho^{-1/2},$$

где T и ρ — температура и плотность газа, m_H — масса атома водорода, k — постоянная Больцмана. Для фрагмента (облака газа) с такой массой действие гравитационных сил преобладает над действием сил газового давления, и облако начинает сжиматься; это явление называют гравитационной неустойчивостью. Если облако массивное ($M \gg M_J$), то в нём постепенно выделяется центральная плотная часть. Температура этой части облака, несмотря на постепенное увеличение его плотности, остаётся низкой вследствие интенсивного остывания газа: выделяющуюся при сжатии теплоту уносит излучение молекул газа. При достижении определённой степени плотности становятся эффективными столкновения молекул газа с частицами пыли, которая приобретает температуру газа. Излучение пыли в субмиллиметровом и длинноволновом ИК-диапазоне, уносящее значительное количество энергии, удерживает газ холодным. Сжатие газа протекает почти изотермически. Из выражения для M_J видно, что в таком случае значение M_J с ростом плотности уменьшается, и в какой-то момент плотная часть облака вновь может разделиться на отдельные гравитационно связанные фрагменты с массой, близкой к величине M_J на данной стадии.

Наряду с гравитационной неустойчивостью большая роль в звёздообразовании принадлежит фрагментации вследствие тепловой неустойчивости. Заметную роль может играть также магнитное поле, в присутствии которого может возникнуть неустойчивость Рэлея–Тейлора. Магнитное поле вморожено в межзвёздный газ. Поэтому при сжатии газа напряжённость поля возрастает. Этот процесс объясняет в общих чертах происхождение магнитных полей звёзд.

Каждый из возникших фрагментов облака газа снова сжимается под действием собственной гравитации, и когда величина M_J для него становится много меньше его массы, он, в свою очередь, распадается на серию более мелких фрагментов. Этот процесс называют иерархической, или каскадной, фрагментацией. Он продолжается до тех пор, пока на какой-то стадии плотность газа не станет столь высокой, что очередные фрагменты окажутся непрозрачными для излучения, уносящего выделяющуюся теплоту. Сжатие непрозрачных фрагментов сопровождается адиабатическим ростом температуры, который приводит к увеличению M_J, а следовательно, к невозможности дальнейшей фрагментации. Последняя серия фрагментов и представляет собой протозвёзды — непрозрачные массы газа, в которых гравитация уравновешена внутренним давлением. Расчёты показывают, что при достижении газом состояния непрозрачности масса фрагментов имеет вполне определённую величину, которая выражается практически только через фундаментальные константы — скорость света, гравитационную постоянную, постоянную Планка, заряд и массу электрона. Эта величина близка к наблюдаемым массам звёзд, что является одним из важнейших результатов современной теории звёздообразования.

Развить теорию, объясняющую распределение фрагментов по массе (т. е. функцию распределения масс образующихся звёзд), пока не удалось. Однако теория объясняет, почему массы рождающихся звёзд не могут быть слишком большими. Естественно предположить, что непрозрачной для излучения становится сначала центральная плотная часть протозвезды — её ядро, которое излучает с поверхности энергию приблизительно как абсолютно чёрное тело. На ядро падает оставшийся в оболочке газ, постепенно увеличивая массу ядра. С ростом массы быстро растёт светимость ядра, и на некоторой стадии (если оболочка была массивной и на ядро выпало достаточно много вещества) светимость становится столь высокой, что излучение, нагревая газ в оболочке, рассеивает последнюю в межзвёздном пространстве (существенную роль здесь играет также давление излучения). Поэтому дальнейший рост массы ядра протозвезды прекращается, и оно уже окончательно эволюционирует в звезду. Согласно расчётам, максимальные массы, которые могут образоваться путём аккреции протозвездой вещества оболочки, не превышают нескольких десятков масс Солнца, что близко к массам OB-звёзд.

С момента, когда аккреция оболочки на гидростатическое ядро закончилась и объект стал медленно сжиматься, выделяя гравитационную энергию, его называют «молодой звездой» или «звездой на стадии приближения к главной последовательности (pre-main sequence star)». Сначала формирующаяся звезда имеет размеры, значительно превышающие размеры звёзд такой же массы на более поздней стадии эволюции (при выходе на главную последовательность), и потому излучает большое количество энергии. На этой стадии она находится в верхней правой части диаграммы Герцшпрунга–Рассела (ГР-диаграммы), т. е. в области красных гигантов и сверхгигантов. Источником свечения служит выделяющаяся при сжатии гравитационная энергия. По мере сжатия растёт температура поверхности, а полная светимость уменьша-

ется (из-за уменьшения площади излучающей поверхности). В результате протозвезда перемещается на ГР-диаграмме влево и вниз, в сторону главной последовательности.

В конце концов температура в центре достигает значений, при которых включаются термоядерные источники энергии, и дальнейшее сжатие останавливается. Тот момент, когда по своей светимости и температуре поверхности молодая звезда достигает главной последовательности, знаменует её превращение в нормальную звезду.

Стадия протозвезды продолжается сравнительно недолго (у звёзд с массой $\sim 1 M_\odot$ — около $5 \cdot 10^6$ лет); кроме того, протозвёзды окружены «коконом» — плотной газово-пылевой оболочкой, непрозрачной для видимого излучения. Всё это чрезвычайно затрудняет обнаружение и исследование процесса рождения звёзд.

Данные наблюдений

С развитием радио- и ИК-астрономии стало возможным заглянуть в «колыбель» звезды, так как газ и пыль в радио- и ИК-диапазонах прозрачны. Одна из областей звёздообразования в Галактике расположена в созвездии Кассиопеи. Здесь находится рассеянное звёздное скопление IC 1805, имеющее возраст около 10^6 лет; оно содержит ярчайшие короткоживущие О-звёзды. Вокруг звёзд скопления до сих пор видны нитеобразные следы газа (филаменты) — остатки газового облака, из которого сформировалось скопление. Рядом со скоплением звёзды рождаются в современную эпоху. На расстоянии всего 1° от IC 1805 обнаружена область W3, не содержащая видимых звёзд, но сильно излучающая в радиодиапазоне. Оказалось, что почти всё излучение идёт от четырёх-пяти компактных зон HII. Их светимость соответствует светимости зон HII, возбуждаемых УФ-излучением О-звёзд. Нет сомнений в том, что в центре этих областей находятся только что родившиеся звёзды. Таким образом, W3 — «невидимое» звёздное скопление, находящееся на стадии формирования. От IC 1805 оно отличается большей компактностью и большим количеством плотных газово-пылевых облаков, т. е. как раз тем, чего можно ожидать в картине формирования звёзд в результате фрагментации массивного газового облака — протоскопления. Возраст объекта W3 уже не 10^6 лет, а на порядок меньше.

Чрезвычайно молодые звёзды в W3 обнаруживают себя не только ионизацией окружающего газа. Сквозь газово-пылевой кокон может проходить ИК-излучение как самой звезды, так и пыли, которая, поглощая свет звезды, нагревается и переизлучает его в ИК-диапазоне. Все компактные зоны в W3 являются сильными ИК-источниками. Один из них — источник IRS 5 — в десятки тысяч раз мощнее Солнца. Почти всю энергию он излучает на волнах длиннее 3 мкм как тело с эффективной температурой $T_{\text{eff}} \approx 350$ К. Кроме того, он оказался источником мазерного излучения на молекуле воды. Анализ всей совокупности этих фактов показал, что источник IRS 5 — действительно рождающаяся звезда (по-видимому, даже двойная звезда). Похоже, что этот объект находится в промежуточной фазе между стадией сжатия и стадией собственно звезды: в центре объекта, скорее всего, уже идёт термоядерное горение водорода, но масса его продолжает расти за счёт аккреции вещества оболочки. Звёздообразование активно происходит также в туманности Ориона (области W49, W51, W75), в центре Галактики (например, в молекулярном облачном комплексе Sgr B2) и в других местах. Характерные особенности этих областей — наличие ИК-источников, источников мазерного излучения, компактных зон H II, плотных молекулярных и пылевых облаков.

Процессы, замедляющие звёздообразование

Тесная связь компактных областей HII, ИК- и мазерных источников излучения с плотными молекулярными облаками показывает, что звёздообразование происходит в молекулярных облаках. Поэтому следует ожидать, что облака атомарного водорода должны становиться молекулярными перед тем, как в них начнётся звёздообразование. Масса отдельных молекулярных облаков и их комплексов составляет от 20 до $10^5 M_\odot$, температура — от 10 до 80 К. В диффузных молекулярных облаках концентрация молекул $n \approx 20$ см$^{-3}$, в тёмных облаках (например, в глобулах Бока) $n > 10^3$ см$^{-3}$. Полагают, что тёмные облака возникают благодаря быстрому сжатию диффузных. Минимальная величина гравитационно связанной массы (джинсовской массы) для молекулярных облаков ≈ 20–$30 M_\odot$. Масса же тёмных облаков $M_{\text{dc}} \approx 100$–$200 M_\odot$. Если в таких облаках не действуют стабилизирующие факторы (давление, турбулентность, вращение и магнитное поле), то облака должны сжиматься. Полная масса молекулярных облаков в Галактике $\sim 10^9 M_\odot$. В этих условиях, если гравитационное сжатие происходит за время свободного падения t_{ff}, близкое к 10^6 лет при $n_{\text{H}} \approx 10^3$ см$^{-3}$, темп звёздообразования в Галактике должен был бы составить $\sim 10^3 M_\odot$ в год. Это значительно больше, чем следует из данных наблюдений. Таким образом, в плотных облаках газа должны действовать стабилизирующие факторы, препятствующие гравитационному сжатию. Давление не может быть существенным стабилизирующим фактором, так как $M_{\text{dc}} \gg M_J$. Для того чтобы турбулентность могла остановить сжатие, она должна быть сверхзвуковой. Однако сверхзвуковая турбулентность генерирует ударные волны, энергия которых преобразуется в энергию излучения и высвечивается за «время охлаждения» $t_{\text{c}} \ll t_{\text{ff}}$, так что турбулентность не может удержать облака от сжатия.

Стабилизировать облака может вращение. Первоначально слабое исходное вращение газовых облаков усиливается в процессе сжатия из-за сохранения момента импульса. Скорость вращения массивных облачных комплексов, по данным наблюдений, $\omega \approx 0{,}1$ км/(с·пк), массивных облаков $\approx 0{,}4$–2 км/(с·пк), тёмных облаков ≈ 2–3 км/(с·пк), т. е. вращение, по-видимому, способно удержать тёмные облака от сжатия. Звёзды образуются из вращающихся облаков, поэтому они также должны вращаться.

Анализ влияния магнитного поля на гравитационное сжатие диффузных и тёмных молекулярных облаков позволяет сделать следующие выводы. Время диффузии магнитного поля из тёмных облаков мало, следовательно, магнитное поле не влияет на их устойчивость и вращение. В диффузных облаках ситуация обратная. Силовые линии магнитного поля длительно связывают газ облака с окружающей средой, что приводит к передаче части момента вращения облака окружающей среде и замедлению вращения. В этом случае магнитное поле может способствовать гравитационному сжатию. Для предотвращения сжатия энергия магнитного поля в диффузных облаках должна быть порядка гравитационной энергии (тогда давление поля остановит сжатие). Для стабилизации, например, диффузного облака поперечником 5 пк и массой 400 $M_\odot$ (плотность числа частиц $n = 20$ см$^{-3}$) напряжённость магнитного поля в нём должна быть не меньше $3 \cdot 10^{-6}$ Э, что вполне реально.

Процессы, стимулирующие звёздообразование

Поскольку молекулярные облака удерживаются от сжатия стабилизирующими факторами, звёздообразование может начаться только при воздействии триггеров (спусковых механизмов), стимулирующих гравитационное сжатие облаков. Это следует из наблюдений молекулярных облачных комплексов, связанных с ОВ-ассоциациями. Детальное изучение ближайших ОВ-ассоциаций показало, что они состоят из подгрупп различных возрастов. Например, самая старая и одновременно самая протяжённая подгруппа молодых звёзд в созвездии Ориона (OB1) имеет возраст $\approx 12 \cdot 10^6$ лет, самая молодая $\approx 2 \cdot 10^6$ лет. В старых подгруппах меньше межзвёздного газа, в молодых — больше. Молодые ОВ-подгруппы территориально расположены очень близко к молекулярным облакам. Изучение расположенных в молекулярных облачных комплексах H_2O-мазеров, ярких ИК-источников, «горячих пятен» CO (областей интенсивно-

го излучения молекул CO) показало, что звёзды, по-видимому, возникают в плотных фрагментах, локализованных вблизи поверхностей молекулярных облаков (на расстоянии 1–4 пк от поверхности).

Такие же объекты – индикаторы звёздообразования – наблюдаются вблизи поверхностей ионизационных фронтов. По-видимому, формирование OB-подгрупп есть некоторый систематический процесс, который, «стартуя» на одном конце молекулярного облака, распространяется к противоположному. Различия возрастов близких подгрупп $\approx 3 \cdot 10^6$ лет, расстояния между ними ≈10–140 пк. Можно считать, что процесс звёздообразования в OB-ассоциациях распространяется со скоростью ≈10 км/с.

К процессам, эффективно увеличивающим внешнее давление на молекулярные облака и стимулирующим их гравитационное сжатие, относят: ударные волны, порождённые вспышками сверхновых звёзд; ионизационные фронты; волны плотности в галактиках; столкновения облаков; звёздный ветер.

Роль вспышки сверхновой как триггерного механизма рассматривается, в частности, во многих гипотезах о происхождении Солнечной системы. Имеются и другие теоретические соображения и основанные на наблюдениях доказательства того, что порождённые вспышками сверхновых ударные волны могут стимулировать звёздообразование. На это указывают, например, наблюдения окрестностей остатка вспышки сверхновой в созвездии Большой Пёс (CMR1).

Другой триггерный механизм, «включающий» звёздообразование, – спиральные волны плотности – характерен для спиральных галактик. Можно считать практически доказанным, что наблюдаемая в нашей и других подобных галактиках спиральная структура имеет волновую природу. Так как доля газа в Галактике мала (2–5% по массе), волны плотности распространяются по звёздному населению – в спиральных рукавах концентрация звёзд повышается и гравитационный потенциал превышает среднее значение на 5–15%. Межзвёздный газ, попадая в зону действия гравитационного поля спиральной волны, приобретает дополнительную скорость по нормали к её фронту. Возникает скачок плотности – ударная волна, способная служить триггером для сжатия облаков газа, пересекающих границу спиральных ветвей Галактики. Галактическая спиральная волна плотности способствует развитию в газовых облаках неустойчивости Рэлея–Тейлора и образованию в них уплотнений. Действием этой волны объясняют также появление на внутренних кромках спиральных рукавов тёмных полос – уплотнений пыли.

Существует мнение, что гигантские газовые (молекулярные) комплексы в Галактике состоят из множества более мелких облаков, столкновения которых могут приводить либо к их слипанию, при котором общая масса объединившихся облаков становится больше M_J, либо к возникновению ударных волн, сжимающих газ. В любом случае оба процесса могут играть роль триггера для гравитационного сжатия и звёздообразования.

Ещё одним фактором, стимулирующим звёздообразование, может быть звёздный ветер – поток плазмы от горячих звёзд. Энергия, уносимая, например, звёздным ветром за время жизни O-звезды ($\sim 10^{43}$ Дж), сравнима с энергией расширяющейся оболочки сверхновой II типа. Таким образом, сильный звёздный ветер должен оказывать существенное дополнительное давление на межзвёздную среду и инициировать звёздообразование. Другим возможным триггером, увеличивающим внешнее давление на облака и формирующим подгруппы OB-звёзд, могут быть ионизационные фронты от O-звёзд. Излучение O-звёзд приводит к ионизации межзвёздного газа и к росту областей H II. Передняя граница области HII движется в виде ударной волны, за ней идёт ионизационный фронт. Вещество молекулярного облака, втекая в область между фронтами, быстро остывает благодаря излучению и становится изотермическим. С накоплением достаточно большой массы вещество оказывается гравитационно неустойчивым, что в конечном счёте может привести к образованию подгруппы OB-звёзд.

В целом возможные механизмы звёздообразования изучены ещё недостаточно. Прогресс в этой области тесно связан с дальнейшим накоплением и осмыслением данных наблюдений молекулярных облаков, индикаторов недавнего звёздообразования и явлений, которые могут служить триггерами звёздообразования.

ЗВЁЗДОТРЯСЕНИЯ – эквивалент землетрясений, но происходящий в нейтронной звезде и объясняющий сбой пульсаций или внезапные изменения периода некоторых пульсаров. От быстрого вращения нейтронные звёзды-пульсары заметно сжаты (сплющены) вдоль оси вращения. В результате потери энергии на излучение их вращение постепенно замедляется, поэтому форма нейтронной звезды стремится стать более сферической. Некоторое время этому препятствует жёсткость твёрдой коры пульсара. Напряжение в коре возрастает, и в некоторый момент она не выдерживает, ломается – это и есть звёздотрясение (starquake). Перестройка коры сопровождается перемещением её частей. Форма нейтронной звезды становится более сферической, отчего её момент инерции уменьшается, а угловая скорость скачком возрастает. Затем вновь следует медленное замедление вращения, которое приводит к новому звёздотрясению.

ЗВЁЗДЫ – гигантские самосветящиеся газовые шары, по своей природе сходные с Солнцем. Источником энергии излучения звёзд в основном служат термоядерные реакции (нормальные звёзды), хотя на некоторых этапах эволюции это может быть энергия гравитационного сжатия (формирующиеся звёзды). тепловая энергия (белые карлики) и энергия вращения (нейтронные звёзды). Внешние слои нормальных звёзд имеют сходный химический состав: на 1000 атомов водорода приходится около 100 атомов гелия и 2–3 атома более тяжёлых элементов. Недра молодых звёзд имеют такой же состав, но в ходе протекания термоядерных реакций он меняется: к концу эволюции звёзды малой массы приобретают гелиевое ядро, а массивные звёзды – слоистое ядро из гелия, углерода, кислорода... вплоть до железа в центре ядра. Диапазон масс известных звёзд простирается приблизительно от 0,1 до 100 масс Солнца ($M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ кг); температура поверхности – от 1500 до 200 тыс. K; светимость – от 10^{-4} до 10^6 светимостей Солнца ($L_\odot = 4 \cdot 10^{26}$ Вт).

Имена и обозначения звёзд служат для идентификации небесных светил. Система обозначения звёзд складывалась в течение нескольких тысячелетий. В ней много традиционных элементов, но постоянно возникают и новые. Сегодня именем звезды считается любой её однозначный идентификатор, например номер в каталоге или координаты. В нашей Галактике более 100 млрд звёзд, Около 1% из них занесено в каталоги, а остальные безымянны и даже не считаны. Однако у всех ярких звёзд и даже у многих слабых кроме научного обозначения есть и собственное имя; эти имена они получили ещё в древности. Многие из ныне употребляющихся имен звёзд, например Альдебаран, Алголь, Денеб, Ригель и др., имеют арабское происхождение. Сейчас астрономам известно около трёх сотен исторических имён звёзд. Часто это названия частей тела тех фигур, которые дали название всему созвездию: Фомальгаут (в созвездии Южная Рыба) – «рот рыбы», Денебола (в созвездии Лев) – «хвост льва», и т. д. В таблице указаны имена. обозначения и блеск (в звёздных величинах визуального диапазона) для некоторых популярных звёзд. В основном это ярчайшие звёзды, а группа тусклых звёзд в созвездии Тельца: Альциона, Астеропа, Атлас, Майя, Меропа, Плейона, Тайгета и Электра – это знаменитые Плеяды.

Начав в конце XVI в. детальное изучение неба, астрономы столкнулись с необходимостью иметь обозначения для всех без исключения звёзд, видимых невооружённым глазом, а позже – в телескоп.

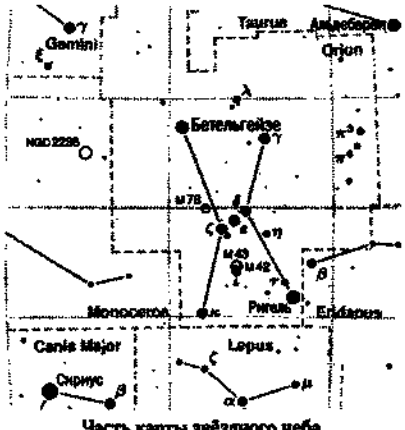
Яркие звёзды

В колонках слева направо: 1 – имя звезды; 2 – её обозначение в созвездии; 3 – блеск в звёздных величинах; 4 – спектральный класс с классом светимости (у двойных звёзд с компонентами сравнимой светимости в спектре видны две системы линий); 5 – расстояние (r) в парсеках; 6 – светимость (L_V) в единицах солнечной ($L_\odot$).

Звезда		m_V	Спектр	r, пк	$L_V/L_\odot$
Солнце	–	−26,75	G2V	–	1
Сириус	α CMa	−1,46	A1Vm	2,6	21
Канопус	α Car	−0,72	F0II	100	16 000
Толиман	α Cen	−0,29	G2V+K1V	1,3	1,9
Арктур	α Boo	−0,04	K1.5IIIp	11,2	110
Вега	α Lyr	0,03	A0Va	7,8	50
Капелла	α Aur	0,08	G5III+G0III	13,0	134
Ригель	β Ori	0,13	B8Ia	250	45 000
Процион	α CMi	0,38	F5IV–V	3,5	7,3
Ахернар	α Eri	0,46	B3Vpe	43,5	1000
Бетельгейзе	α Ori	0,50	M2Iab	125	8400
Хадар	β Cen	0,61	B1III	170	14 000
Акрукс	α Cru	0,76	B0.5IV+B1V	100	4200
Альтаир	α Aql	0,77	A7V	5,2	11
Альдебаран	α Tau	0,85	K5III	20	160
Антарес	α Sco	0,91	M1.5Iab+B4Ve	200	4 000
Спика	α Vir	0,98	B1III–IV+B2V	83	2 400
Поллукс	β Gem	1,14	K0IIIb	10,3	31
Фомальгаут	α PsA	1,16	A3V	7,7	17
Мимоза	β Cru	1,25	B0.5III	110	3200
Денеб	α Cyg	1,25	A2Ia	1000	270 000

В книге Иоганна Байера (1572–1625) «Уранометрия» (Uranometria, 1603), где изображены созвездия и связанные с их названиями легендарные фигуры, звёзды впервые были обозначены буквами греческого алфавита приблизительно в порядке убывания их блеска: α – ярчайшая звезда созвездия, β – вторая по блеску, и т. д. Если не хватало греческих букв, Байер использовал латинские. Полное обозначение звезды по системе Байера состоит из буквы и латинского названия созвездия. Например, Сириус, ярчайшая звезда Большого Пса (Canis Major), обозначается как α Canis Majoris, или сокращённо α CMa. Алголь – вторая по яркости звезда в Персее – обозначается как β Persei, или β Per. Позже Джон Флемстид (1646–1719), первый Королевский астроном Англии, занимавшийся определением точных координат звёзд, ввёл систему их обозначения, не связанную с блеском. В каждом созвездии он обозначил звезды номерами в порядка увеличения их прямого восхождения, т. е. в том порядке, в котором они пересекают небесный меридиан. Так, Арктур, он же α Волопаса (α Bootis), обозначен по Флемстиду как 16 Bootis. На современных картах звёздного неба обычно нанесены древние собственные имена ярких звёзд (Сириус, Канопус...) и греческие буквы по системе Байера. Обозначения Байера латинскими буквами используют редко. Остальные, менее яркие звёзды обозначают цифрами по системе Флемстида. По мере публикации всё более глубоких каталогов звёздного неба, содержащих данные о более тусклых звёздах, в научную практику регулярно вводятся новые системы обозначения, принятые в каждом из этих каталогов. Поэтому весьма серьёзную проблему представляет кросс-идентификация звёзд в разных каталогах: ведь одна и та же звезда может иметь десятки различных обозначений. Создаются специальные базы данных, облегчающие поиск сведений о звезде по различным её обозначениям; наиболее полные такие базы поддерживаются в Центре астрономических данных в Страсбуре.

Некоторые выдающиеся (но отнюдь не самые яркие) звёзды иногда называют именами астрономов, впервые описавшими их уникальные свойства. Например, Летящая звезда Барнарда названа в честь американского астронома Эдуарда Эмерсона Барнарда (1857–1923), обнаружившего её рекордно быстрое собственное движение на небе. Следом за ней по скорости собственного движения идёт звезда Каптейна, названная в честь обнаружившего этот факт нидерландского астронома Якобуса Корнелиуса Каптейна (1851–1922). Известны также гранатовая звезда Гершеля (μ Сер, очень красная звезда-гигант), звезда ван Маанена (ближайший одиночный белый карлик), звезда ван Бисбрука (светило рекордно малой массы), звезда Пласкетта (рекордно массивная двойная звезда), звезда Бэбкока (с рекордно сильным магнитным полем) и ещё некоторые, в целом около двух десятков замечательных звёзд. Следует заметить, что эти имена никем не утверждены: астрономы используют их неофициально, как знак уважения к работе своих коллег.



Часть карты звёздного неба с обозначениями ярких звёзд

ЗВЁЗДЫ ВОЛЬФА–РАЙЕ (WR) – горячие звёзды очень высокой светимости, с яркими и широкими спектральными линиями водорода, нейтрального и ионизованного гелия, а также азота, углерода, кислорода в разных стадиях ионизации (NIII–NV, CIII–CIV, OIII–OV). Открыты в 1867 г. французскими учёными Ш. Вольфом (Charles Joseph Étienne Wolf, 1827–1918) и Ж. Райе (Georges-Antoine-Pons Rayet, 1839–1906). Ширины линий в спектрах звёзд Вольфа–Райе достигают 5–10 нм, а интенсивности в центре линий иногда в 10–20 раз превосходят интенсивность соседних участков непрерывного спектра. Главной наблюдательной особенностью этих звёзд, наряду с огромными ширинами и интенсивностями эмиссионных линий, является одновременное присутствие в их спектрах сравнительно низкотемпературного континуума (цветовая температура непрерывного излучения в видимой области спектра 10–20 тыс. К) и линий атомов и ионов с высокими (до 100 эВ) потенциалами ионизации, соответствующих температуре до 100 тыс. К. Абсолютные звёздные величины звёзд Вольфа–Райе достигают $-6{,}8^m$.

Спектры, характерные для звёзд Вольфа–Райе, имеют также ядра некоторых планетарных туманностей. Массы и светимости этих ядер много меньше, чем у «классических» звёзд Вольфа–Райе. Аналогичные спектры наблюдаются также у новых звёзд спустя некоторое время после вспышки.

В нашей Галактике известно около 160 звёзд Вольфа–Райе (всего в Галактике их должно быть ~1000). Пространственная плотность их числа быстро растёт с приближением к плоскости Галактики (их средняя высота z над галактической плоскостью ≈ 85 пк). Звёзды Вольфа–Райе открыты также и в других галактиках: их известно ~100 в Большом Магеллановом Облаке, ~10 в Малом Магеллановом Облаке и около 30 в Туманности Андромеды.

Звёзды Вольфа–Райе подразделяют на две последовательности: азотную (WN) и углеродную (WC). В спектрах звёзд первой последовательности в основном содержатся линии азота, а в спектрах второй – линии углерода и кислорода. В спектрах звёзд обеих последовательностей присутствуют линии гелия и водорода, однако линии водорода слабы; оценки относительного химического состава неизменно показывают, что атомов водорода в атмосферах звёзд Вольфа–Райе в несколько раз меньше, чем атомов гелия. Пока не ясно, что служит причиной разделения этих звёзд на последовательности WN и WC – реальное различие химического состава или различие в структуре и температуре их атмосфер.

Около половины звёзд Вольфа–Райе входит в состав тесных двойных систем со спутниками — массивными звёздами спектральных классов O и B. Некоторые звёзды Вольфа–Райе, расположенные в центрах кольцевых туманностей или имеющие большие z (ранее считавшиеся одиночными), по-видимому, также являются двойными с маломассивными ($\sim 1 M_\odot$) спутниками.

Из анализа около полутора десятков спектрально-двойных звёзд Вольфа–Райе со спутниками — звёздами спектральных классов O–B (WR+OB) — найдено, что массы звёзд Вольфа–Райе в среднем близки к $10 M_\odot$. У трёх звёзд Вольфа–Райе азотной последовательности массы оказались равными приблизительно 30, 45 и 65 $M_\odot$, а у одной звезды углеродной последовательности $\approx 20\ M_\odot$. В большинстве известных систем WR+OB массы звёзд Вольфа–Райе меньше масс спутников (известно три случая, когда масса звёзд Вольфа–Райе превышает массу спутника OB).

Спектроскопические данные свидетельствуют о том, что из звёзд Вольфа–Райе происходит мощное истечение вещества. Ширины эмиссионных линий соответствуют скоростям истечения ≈ 1000–2000 км/с, что при средних характеристиках этих звёзд превышает параболическую скорость (т. е. звезда теряет вещество). Некоторые эмиссионные линии имеют абсорбционные компоненты с коротковолновой стороны, что свидетельствует в пользу модели радиального истечения вещества. Скорость потери массы звёздами Вольфа–Райе, оцениваемая из анализа спектроскопических данных, составляет 10^{-6}–$10^{-4}\ M_\odot$ в год. Эта оценка сильно зависит от принятой модели истечения (ускоренное, замедленное) и от локализации областей формирования эмиссионных линий в протяжённой атмосфере. Анализ изменения периода двойной системы V444 Cyg со звездой Вольфа–Райе WN5 дал возможность прямо оценить скорость потери массы. Она оказалась равной $(1{,}1 \pm 0{,}2) \cdot 10^{-5}\ M_\odot$ в год.

Наиболее надёжные сведения о радиусах, температурах и болометрических светимостях звёзд Вольфа–Райе удаётся получить из анализа излучения затменных двойных систем, для которых можно отделить излучение протяжённой атмосферы от излучения собственно «ядра» звезды Вольфа–Райе и для которых получаемые результаты не зависят от межзвёздного поглощения. Исследования затмений в двойной системе V444 Cyg в широком диапазоне спектра (246–3500 нм) показали, что радиус «ядра» WN5 (определяемый по уровню, на котором радиальная оптическая толща в УФ-области спектра равна единице) близок к $3R_\odot$, а его цветовая и яркостная температура ≈ 90 тыс. К. Соответствующая болометрическая светимость звезды равна $2 \cdot 10^{32}$ Вт (т. е. в 10^6 раз превышает светимость Солнца) и близка к критической светимости для гелиевой звезды массой $10 M_\odot$. При этом цветовая температура излучения протяжённой атмосферы в видимой области спектра всего ≈ 7000 К. Цветовая температура излучения всего диска WN5, определяемая в основном низкотемпературным излучением протяжённой атмосферы (переработанное в атмосфере излучение горячего ядра), $\approx 20\,000$ К для УФ-диапазона и ≈ 8000 К для ИК-диапазона. Таким образом, излучение всего диска WN5 представляет собой суперпозицию излучений с сильно различающимися температурами (на порядок величины).

Для выяснения механизма возбуждения эмиссионного линейчатого спектра важно определить электронную температуру T_e в протяжённых атмосферах звёзд Вольфа–Райе. Поскольку в протяжённой атмосфере отсутствует локальное термодинамическое равновесие, кинетическая температура электронов может сильно отличаться от температуры выходящего излучения. Значение электронной температуры, полученное из анализа затмений в ИК-диапазоне спектра в двойной системе V444 Cyg, оказалось сравнительно низким ($T_e \approx 50\,000$ К) и убывает с высотой в протяжённой атмосфере. Это вместе с высокой температурой ядра ($\approx 9 \cdot 10^4$ К) служит веским аргументом в пользу рекомбинационного механизма возбуждения эмиссионных линий — флуоресцентной переработки в протяжённой атмосфере коротковолнового излучения горячего «ядра».

На диаграмме Герцшпрунга–Рассела звёзды Вольфа–Райе с наиболее надёжно определёнными характеристиками лежат в области между главной последовательностью и последовательностью однородных гелиевых звёзд. Это свидетельствует о том, что звёзды Вольфа–Райе находятся на поздней стадии эволюции и уже прошли стадию главной последовательности (водород в них «выгорел»). Тот факт, что менее массивные компоненты двойных систем WR+OB находятся на более поздней стадии эволюции, можно объяснить гипотезой перемены ролей компонентов тесной двойной системы в результате обмена между ними веществом. Первоначально более массивный компонент эволюционирует быстрее спутника и, расширяясь после исчерпания водорода в ядре и загорания слоевого водородного источника, заполняет свою полость Роша. Происходит быстрое (за время $\sim 10^4$ лет) перетекание значительной части вещества (до 70%) к спутнику. После потери водородной оболочки остаётся горячая гелиевая звезда с примесью водорода в наружных слоях ($\approx 20\%$ по массе), которая становится звездой Вольфа–Райе. Результаты детальных расчётов эволюции массивных тесных двойных систем с обменом масс показали, что содержание углерода в оболочке молодой звезды Вольфа–Райе может быть невелико по сравнению с содержанием азота в результате CNO-реакций. По мере истечения вещества обнажаются обогащённые углеродом глубокие слои, и звезда азотной последовательности может превратиться в звезду углеродной последовательности. Время жизни звезды Вольфа–Райе сравнительно невелико ($\sim 10^5$–10^6 лет); по истощении ядерного топлива она взрывается как сверхновая, образуя релятивистский объект — нейтронную звезду или чёрную дыру.

Поскольку взрывается менее массивный компонент двойной системы, распад системы маловероятен, она остаётся двойной. После выгорания водорода во втором компоненте и заполнения им полости Роша начинается аккреция вещества на релятивистский объект. Пока второй компонент близок к заполнению полости Роша, но не целиком заполняет её, тесная пара (двойная система с OB-сверхгигантом) наблюдается как «классический» рентгеновский источник. При заполнении своей полости Роша второй компонент истекает в столь высоком темпе, что аккреционный диск вокруг релятивистского объекта становится непрозрачным для рентгеновского излучения. При этом двойная система может на 10^3–10^4 лет погрузиться в общую оболочку, после сброса которой остаётся молодая вторая звезда Вольфа–Райе азотной последовательности в паре с релятивистским объектом. Сброс оболочки вызывается динамическим торможением двойного ядра, в результате чего образуется кольцевая туманность, обтекаемая звёздным ветром звезды Вольфа–Райе.

Таким образом, стадия звезды Вольфа–Райе в двойной системе может иметь место дважды — до стадии рентгеновской двойной системы и после этой стадии. Обнаружение признаков двойственности у звёзд Вольфа–Райе в центрах кольцевых туманностей или имеющих большую высоту над галактической плоскостью (которая может быть следствием импульса, полученного двойной системой при взрыве сверхновой), служит серьёзным аргументом в пользу описанной схемы эволюции двойных звёзд Вольфа–Райе.

Другой возможный путь эволюции предложен для одиночных массивных звёзд Вольфа–Райе. Расчёты показывают, что эволюция массивной ($\approx 30 M_\odot$) звезды на стадии горения водорода происходит без существенной потери массы. На стадии горения гелия, т. е. после ухода в область красных сверхгигантов, устойчивость внешних слоёв звезды нарушается из-за избыточной светимости. В результате начинается мощное истечение вещества (до $0{,}5\ M_\odot$ в год), образуется звезда Вольфа–Райе, в окрестности которой

должны оставаться большие ($\approx 20\ M_\odot$) массы выброшенного газа.

Существует также мнение, что прародителями звёзд Вольфа–Райе могут быть очень массивные звёзды Of. При этом образование звёзд Вольфа–Райе связывают с потерей массы за счёт мощного звёздного ветра за время ядерной эволюции звёзд Of. Эта идея в деталях не разработана.

Таким образом, данные наблюдений, в особенности данные по двойным звёздам, и теория эволюции двойных и одиночных звёзд позволяют считать, что звёзды Вольфа–Райе плоской составляющей нашей Галактики представляют собой гелиевые остатки первоначально массивных звёзд, которые быстро «постарели» в результате интенсивной потери массы на определённом этапе эволюции. Особенности спектров звёзд Вольфа–Райе связаны с наличием горячего «ядра» и протяжённой, расширяющейся со скоростями ~1000 км/с атмосферы, в которой формируются (в основном рекомбинационным механизмом) эмиссионные линии различных ионов и мощный сравнительно низкотемпературный непрерывный спектр.

ЗВЁЗДЫ С ОБЩЕЙ ОБОЛОЧКОЙ – тесные двойные системы, в которых относительно массивная звезда-донор отдаёт вещество быстрее, чем может «переварить» меньшая звезда. В результате переносимое вещество постепенно переполняет полость Роша маленькой звезды и образует общую оболочку вокруг двух звёзд. Сопротивление трения между общей оболочкой и звёздами вынуждает звёзды сближаться по спирали и разрушать оболочку. В этом случае компоненты двойной системы могут сильно приблизиться друг к другу (от расстояния в сотни а. е. с периодами в десятки лет до расстояний в несколько радиусов звезды с периодами в несколько часов). Одной из звёзд, которая сбрасывает общую оболочку, может быть звезда η Киля (η Car).

ЗЕЛЕНЧУКСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ – неофициальное название Специальной астрофизической обсерватории РАН, оптической и радиоастрономической обсерватории, расположенной близ станицы Зеленчукская на Северном Кавказе (см. *Специальная астрофизическая обсерватория*). Обсерватория САО располагает шестиметровым телескопом БТА, установленным на высоте 2100 м на горе Пастухова (см. *Большой телескоп альт-азимутальный*) и радиотелескопом РАТАН-600.

ЗЕЛЁНЫЙ ЛУЧ, или **зелёная вспышка**, – зеленоватый ободок, иногда наблюдаемый над верхним краем солнечного диска в момент его восхода или захода за горизонт. Возникает из-за того, что преломление лучей света в атмосфере Земли (рефракция) сильнее приподнимает над горизонтом коротковолновые лучи Солнца – зелёные и голубые, но голубые лучи сильно рассеиваются в атмосфере, поэтому обычно виден только краешек зелёного изображения светила, когда все прочие цвета уже скрылись за горизонтом. Впрочем, очень редко удавалось заметить и явление «голубого луча».

ЗЕЛИГЕР (Зеелигер), Хуго (Seeliger, Hugo, von) (23.09.1849, Бяла, ныне Бельско-Бяла, Польша, – 2.12.1924, Мюнхен, Германия) – немецкий астроном. Образование получил в Гейдельбергском университете, затем учился в Лейпциге. В 1873–1877 гг. работал наблюдателем в Боннской обсерватории, затем приват-доцентом в Лейпциге. В 1881 г. – директор обсерватории в Готе, с 1882 г. – профессор астрономии и директор обсерватории Мюнхенского университета.

Занимался звёздной астрономией, небесной механикой и астрофизикой. В Боннской обсерватории участвовал в позиционных наблюдениях звёзд для каталога AGK; в экспедиции на Оклендские острова наблюдал прохождение Венеры по диску Солнца. В 1884–1909 гг. на основе звёздного каталога «Боннское обозрение» выполнил первые статистические исследования пространственного распределения звёзд. Первым развил соответствующий математический аппарат, вывел интегральное уравнение, определяющее светимость и звёздную плотность через известное из подсчётов число звёзд до данной звёздной величины. Сформулировал носящую его имя теорему, согласно которой при отсутствии межзвёздного поглощения и равномерном распределении звёзд в пространстве число звёзд до данной величины при переходе от одной величины к следующей возрастает в 3,98 раза. Исходя из этой теоремы и опираясь на подсчёты звёзд до $13{,}5^m$, предложил в 1920 г. свою модель Галактики, согласно которой пространственная плотность звёзд быстро падает в направлении полюсов Галактики и менее быстро, но всё же падает с удалением от Солнца в плоскости Млечного Пути (последнее обстоятельство, как позже выяснилось, в основном связано с поглощением света далёких звёзд облаками межзвёздной пыли, заполняющими Млечный Путь).

Зелигер сформулировал один из классических парадоксов космологии – гравитационный парадокс. Он заключается в том, что согласно ньютоновской теории тяготения в бесконечной Вселенной при бесконечно большой её массе сила тяготения в любой точке пространства не имеет определённой конечной величины. Этот парадокс находит своё разрешение в теории тяготения Эйнштейна либо в признании иерархического строения Вселенной.

Исходя из теории Максвелла, по которой кольца Сатурна состоят из отдельных мелких частиц, Зелигер пришёл к выводу, что вследствие взаимных затмений и экранирования частиц друг другом альбедо колец должно быть максимальным в оппозиции и уменьшаться при других фазовых углах. Дальнейшие фотометрические исследования колец показали, что их яркость изменяется в согласии с формулой Зелигера, и тем самым подтвердили справедливость теории Максвелла.

Зелигер пытался объяснить движение перигелия Меркурия и другие невязки в движении внутренних планет гравитационным влиянием межпланетного вещества, вызывающего явление зодиакального света, и рассчитал необходимые для этого плотность и размеры облака межпланетного вещества. Предложил гипотезу, согласно которой вспышки новых происходят при встречах звёзд с движущимися туманностями. Исследовал двойные и кратные звёзды. Был председателем Немецкого астрономического общества (1896–1921). С 1913 г. иностранный член-корреспондент Санкт-Петербургской АН (1913).

ЗЕЛЬДОВИЧ, Яков Борисович (8.03.1914, Минск, Россия, – 2.12.1987, Москва, СССР) – советский физик и астрофизик. С середины 1914 г. по август 1941 г. жил в Петрограде/Ленинграде, до лета 1943 г. – в Казани, с 1943 г. – в Москве. В 1924 г. поступил в десятилетнюю среднюю школу (в 3-й класс), которую окончил в 1930 г. С осени 1930 г. по май 1931 г. учился на курсах и работал лаборантом Института механической обработки полезных ископаемых. В мае 1931 г. зачислен лаборантом в Институт химической физики АН СССР (ИХФ), с которым был связан до последних дней. Начав работу в ИХФ без высшего образования, занимался самообразованием при помощи и под руководством теоретиков института. В 1932–1934 гг. учился на заочном отделении физико-математического факультета ЛГУ, который не окончил; позже посещал лекции физико-механического факультета политехнического института. В 1934 г. принят в аспирантуру ИХФ, в 1936 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1939 г. докторскую (физико-математические науки). С 1938 г. заведовал лабораторией в ИХФ. В конце августа 1941 г. эвакуирован в Казань вместе с институтом. В 1943 г. вместе с лабораторией переведён в Москву. С 1946 по 1948 г. заведовал теоретическим отделом ИХФ. С февраля 1948 г. по октябрь 1965 г. работал над созданием атомной и водородной бомб, в связи с чем удостоен Ленинской премии и трижды – звания Героя Социалистического Труда СССР; занимал должности начальника отдела и заместителя руководителя предприятия. С 1965 г. по январь 1983 г. заведовал отде-



Я. Б. Зельдович (1975 г.).

лом Института прикладной математики АН СССР. С 1965 г. – профессор физического факультета МГУ, заведующий отделом релятивистской астрофизики Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ). С 1983 г. заведующий отделом Института физических проблем АН СССР. С 1946 г. член-корреспондент, с 1958 г. академик АН СССР.

Теоретической астрофизикой и космологией занимался с начала 1960-х гг. Стал одним из создателей релятивистской астрофизики. Разработал теорию строения сверхмассивных звёзд и теорию компактных звёздных систем (как модели ядер галактик и квазаров). Впервые нарисовал полную качественную картину последних этапов эволюции обычных звёзд разной массы, исследовал, при каких условиях звезда должна либо превратиться в нейтронную звезду, либо испытать гравитационный коллапс и превратиться в чёрную дыру. Детально изучил свойства чёрных дыр и процессы, протекающие в их окрестностях. Указал на возможность обнаружения этих объектов как источников рентгеновского излучения в тесных двойных системах. В 1970 г. пришёл к выводу, что вращающаяся чёрная дыра способна спонтанно испускать электромагнитные волны. Эти результаты Зельдовича подготовили открытие С. У. Хокингом явления квантового испарения чёрных дыр.

В работах Зельдовича по космологии основное место занимает проблема образования крупномасштабной структуры Вселенной. Исследовал начальные стадии космологического расширения Вселенной. Вместе с сотрудниками построил теорию взаимодействия горячей плазмы расширяющейся Вселенной и излучения, создал теорию роста возмущений в горячей Вселенной в ходе космологического расширения, рассмотрел проблемы, связанные с возникновением галактик в результате гравитационной неустойчивости этих возмущений; показал, что возникающие образования высокой плотности, которые являются, вероятно, протоскоплениями галактик, имеют плоскую форму («блины»). Ряд предсказанных Зельдовичем эффектов получил экспериментальное подтверждение: были открыты гигантские пустые области во Вселенной, окружённые сгущениями галактик, и обнаружено понижение яркостной температуры реликтового радиоизлучения в направлениях на скопления галактик с горячим межгалактическим газом (эффект Зельдовича–Сюняева). Зельдович также работал над проблемой происхождения магнитных полей звёзд и галактик в рамках теории динамо. В последние годы жизни разрабатывал полную космологическую теорию, которая включала бы рождение Вселенной. Создал школу релятивистской теоретической астрофизики.

Основные труды: Зельдович Я. Б. «Теория горения и детонации» (1944); Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. «Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений» (1966); Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. «Релятивистская астрофизика» (1967); «Теория тяготения и эволюция звёзд» (1971); «Строение и эволюция Вселенной» (1975); Зельдович Я. Б., Блинников С. И., Шакура Н. И. «Физические основы строения и эволюции звёзд» (1981); Долгов А. Д., Зельдович Я. Б., Сажин М. В. «Космология ранней Вселенной» (1988).

Член более десяти иностранных академий наук и научных обществ, первый президент Комиссии 47 «Космология» Международного астрономического союза (1970–1973). Трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии и четырёх Государственных премий СССР, награждён золотой медалью им. И. В. Курчатова (1977), медалью им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1983), золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1984).

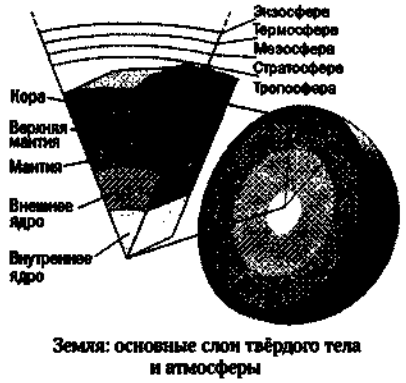
ЗЕЛЬМАНОВ, Абрам Леонидович (15.05.1913, Гадяч, Россия, – 2.02.1987, Москва, СССР) – российский астроном, космолог, специалист по ОТО, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (МГУ), кандидат (1944) и доктор (1982) физико-математических наук. Создал методы хронометрических и кинеметрических инвариантов, ортометрическую форму монадного формализма. Развил релятивистскую теорию анизотропной неоднородной Вселенной, одним из первых сформулировал (1955) антропный принцип.

ЗЕМЛЯ – планета Солнечной системы, третья от Солнца, удалённая от него в среднем на 149,6 млн км (1,00 а. е.), с периодом обращения в 1 год. Имеет один естественный спутник (Луна). Масса Земли $M_\oplus = 5{,}9736 \cdot 10^{24}$ кг. Средний радиус Земли $R_\oplus = 6371{,}032$ км; полярный радиус 6356,8 км, экваториальный 6378,1 км, сжатие около $^1/_{300}$. Средняя плотность 5,515 г/см^3. Период осевого вращения (звёздные сутки) 0,99727 сут = 23 час 56 мин 04,1 с.

Земля отличается от всех других планет Солнечной системы наличием гидросферы и биосферы, а также большой динамической активностью коры и атмосферы. Структура твёрдой части: кора – самая внешняя и тонкая (10–100 км) твёрдая оболочка с плотностью 2,8 г/см^3; мантия, которая делится на верхнюю (толщина 850–900 км) и нижнюю, в которой температура близка к точке плавления её вещества (до глубины около 3000 км); ядро, которое подразделяется на внешнее (жидкое) и внутреннее (твердое ядро – плотность в центре 12,5 г/см^3, температура 4000–5000 К).

Атмосфера Земли (воздух) в основном содержит азот и кислород с малыми примесями других газов. Состав атмосферы (% объёма) – N_2 (78), O_2 (21), Ar (0,9), CO_2 (0,03). Средняя температура воздуха у поверхности 15 °С, атмосферное давление на уровне моря 1 бар ≈ 101 кПа. Плотность воздуха у поверхности 1,22 кг/м^3. Тепловой баланс поддерживает температуру Земли в средних и экваториальных широтах на уровне, оптимальном для существования теплокровных организмов. Нижний слой атмосферы (тропосфера) имеет толщину от 9 км у полюсов до 17 км у экватора. Источником тепла тропосферы служит земная поверхность, нагретая лучами Солнца, поэтому температура воздуха в тропосфере уменьшается с высотой. Над тропосферой, до высоты 50–55 км, лежит стратосфера, в которой температура растёт с высотой, особенно быстро на высотах более 20–25 км. Источником её тепла служит озон (O_3), в основном сконцентрированный на высотах от 30 до 40 км и поглощающий ультрафиолетовое излучение Солнца в области спектра от 200 до 300 нм. Озон в верхней атмосфере служит своеобразным щитом, охраняющим биосферу от действия ультрафиолетового излучения Солнца.

На высоте около 50 км имеется широкий температурный максимум – мезосфера. Над мезосферой расположен температурный минимум – мезопауза. Вы-



Земля: основные слои твёрдого тела и атмосферы

ше температура вновь начинает расти за счёт энергии солнечного ультрафиолета, поглощаемого при ионизации атомарного кислорода на высотах 150–300 км. Над мезопаузой температура растёт монотонно до высоты около 400 км, где она достигает днём в эпоху максимума солнечной активности 1800 К, а в эпоху минимума опускается до 1000 К, а порой и ниже. Выше 400 км атмосфера изотермична (термосфера). Ионизованные слои атмосферы начиная с высот 100–120 км образуют ионосферу, в которой концентрация ионов и электронов одинакова и плазма в целом нейтральна; на высоте 300 км днём она составляет около 10^6 ионов в 1 $см^3$. Плазма такой плотности отражает радиоволны длиной более 20 м и пропускает более короткие.

Магнитное поле вблизи поверхности Земли в среднем имеет индукцию 0,4 Гс = $4 \cdot 10^{-5}$ Тл. Его конфигурация в первом приближении дипольная с магнитным моментом около $8 \cdot 10^{15}$ $А \cdot м^2$ = $8 \cdot 10^{15}$ $Тл \cdot м^3$ = $8 \cdot 10^{25}$ $Гс \cdot см^3$. Магнитные полюсы эквивалентного диполя не совпадают с географическими (см. *Магнитное поле Земли* и *Магнитные полюсы*). Через интервалы времени от 500 тыс. до 50 млн лет магнитное поле Земли меняет направление на обратное. На больших расстояниях от Земли форма её магнитного поля искажается под действием солнечного ветра. В магнитном поле Земли вне атмосферы удерживается огромное количество заряженных частиц, которые образуют радиационные пояса Земли.

«ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ» — научно-популярный журнал РАН и Астрономо-геодезического общества. Выходит в Москве 6 раз в год с 1965 г.

ЗЕНИТ — точка небесной сферы, расположенная вертикально над наблюдателем. В зените небесную сферу пересекает вертикальная прямая, проходящая через место наблюдения. Точка небесной сферы, противоположная зениту, называется надиром. Направление вертикальной прямой принимает свободно подвешенная нить с грузиком на конце — отвес. Своим верхним концом отвес направлен в зенит, а нижним — в надир.

ЗЕНИТНОЕ РАССТОЯНИЕ — угловое расстояние на небесной сфере между направлением на зенит и направлением на данное светило. В горизонтальной системе координат одной из координат светила служит азимут, а второй — высота либо зенитное расстояние (их сумма составляет 90°).

ЗЕНИТНОЕ ЧАСОВОЕ ЧИСЛО МЕТЕОРОВ — количество метеоров, которое заметил бы наблюдатель невооружённым глазом за 1 час на всей полусфере неба при идеальных атмосферных условиях, если бы радиант метеорного потока располагался в зените. Реально замечаемое одним наблюдателем число метеоров всегда меньше этой цифры в 3–4 раза.

ЗЕНИТ-ТЕЛЕСКОП — астрометрический телескоп на альт-азимутальной монтировке, преимущественно предназначенный для точного измерения координат звёзд, проходящих в области зенита, и определения поправок точного времени. Этот инструмент более универсален, хотя и менее точен для некоторых измерений, чем фотографическая зенитная труба.

ЗЕРКАЛО — оптический компонент, используемый во многих инструментах, работающих на различных длинах волн — от радиодиапазона до мягких рентгеновских лучей, и функционирующий на основе отражения излучения. Сечение поверхности большинства зеркал является одним из конических сечений. Главные зеркала оптических телескопов обычно имеют форму параболоидов, в то время как вторичные могут быть гиперболоидами или эллипсоидами. Высокой отражательной способностью в радиодиапазоне обладают проводники, поэтому параболические антенны радиотелескопов делают из металла. Зеркалом в оптическом диапазоне служит тонкий слой металлического алюминия на стеклянной или иной подходящей подложке (кварц, ситалл, пирекс и др.).

Зеркала для мягкого рентгеновского диапазона (0,1–10 кэВ) подобны оптическим зеркалам, за исключением того, что они работают при очень малых углах падения лучей к отражающей плоскости. Это так называемые зеркала косого падения. Очевидно, что они не могут быть сплошными. Рентгеновское зеркало косого падения похоже на отрезок трубы, чуть сужающийся к одному концу. Для увеличения эффективной площади такие зеркала собирают в «матрёшки», вставляя несколько параболоидов один в другой с совмещением их оптических осей. Для уменьшения фокусного расстояния такого зеркала за «матрёшкой» параболоидов размещают «матрёшку» гиперболоидов косого падения. Во всех спектральных диапазонах форма зеркала не должна отклоняться от идеальной более чем на $1/8$ рабочей длины волны, если телескоп предназначен для достижения ралеевского предела разрешения.

ЗЕРКАЛЬНАЯ СИСТЕМА — оптическая система, состоящая только из отражающих поверхностей. То же, что *Катоптрическая система*. В случае телескопа это зеркальный телескоп, или телескоп-рефлектор.

ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВЫЙ ТЕЛЕСКОП — телескоп, в объективе которого присутствуют как фокусирующие зеркала, так и корректирующие линзовые элементы (мениск, коррекционная пластина); то же, что *Катадиоптрический телескоп*. Использование подобной комбинации позволяет в некоторых случаях получить очень компактную систему с хорошим исправлением аберраций на сравнительно большом поле зрения. Значительная часть небольших телескопов, выпускаемых промышленно для любителей астрономии, представлена зеркально-линзовыми системами. См. *Телескоп Максутова, Камера Шмидта, Телескоп Шмидта–Кассегрена.*

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ФОТОАППАРАТ — фотографическая камера, у которой основной объектив используется также и для работы видоискателя. Преимуществом этого типа камер является возможность непосредственного наблюдения объекта перед съёмкой через ту же оптическую систему, которая осуществляет съёмку. При съёмке через телескоп подобная камера является незаменимой, поскольку позволяет выполнять фокусировку изображения и его центрирование в кадре. Конструкция зеркальных фотоаппаратов включает откидывающееся зеркало, направляющее лучи от объектива к видоискателю. При выполнении экспозиции это зеркало выводится из пучка. Если камера скреплена с телескопом, перемещение откидного зеркала вызывает сотрясение, амплитуды которого зачастую достаточно для заметного смазывания изображения. Только немногие типы камер позволяют независимо откидывать зеркало видоискателя и затем открывать затвор, поэтому при астрономических съёмках применяется экспозиция «от руки».

ЗМЕЕНОСЕЦ, или **Офиух**, — экваториальное созвездие. Лежит к югу от созвездия Геркулес. Змееносец не считается зодиакальным созвездием, однако Солнце проводит в нём около 20 дней в первой половине декабря. Греческие мифы связывают созвездие Змееносец с именем Асклепия — бога врачевания, сына Аполлона и нимфы Корониды. Убив жену за измену, Аполлон передал младенца Асклепия на воспитание мудрому кентавру Хирону, знатоку медицины. Выросший Асклепий пришёл к дерзкой мысли воскрешать мёртвых, за что разгневанный Зевс поразил его молнией и поместил на небо. Греческий поэт Арат, автор поэмы «Явления» (275 до н. э.), включал в Змееносца и «змею», которую он держит; теперь же это самостоятельное созвездие Змеи, уникальное тем, что состоит из двух частей, разделённых Змееносцем. Хотя созвездие частично лежит в Млечном Пути, ярких звёзд в нём мало. Именно в этом созвездии вспыхнула последняя из наблюдавшихся в нашей Галактике сверхновых,

описанная И. Кеплером в 1604 г. Повторная новая звезда RS Змееносца (RS Oph) вспыхивала в 1898, 1933, 1958, 1967, 1985 и 2006 гг. Её блеск в спокойном состоянии около 12,5^m, а во время вспышек в среднем достигает 5^m. У восточной границы созвездия находится Летящая звезда Барнарда — красный карлик, чьё малое расстояние (6 св. лет) делает его вторым от Солнца после системы α Cen, а довольно высокая скорость движения в совокупности с малым расстоянием делает его самой быстрой на небе звездой (10,3″/год). В этом созвездии много шаровых скоплений (Мессье 9, 10, 12, 14, 19 и 62), а также тёмных туманностей, таких как туманность Трубка (B78 представляет чашечку трубки, а B 59, 65, 66 и 67 образуют её чубук и мундштук).

ЗМЕЯ — экваториальное созвездие, состоящее из двух частей, примыкающих к «рукам» Змееносца, поскольку первоначально входило в его состав. Голова Змеи (Serpens Caput) лежит к северо-западу от Змееносца, а Хвост Змеи (Serpens Cauda) — к юго-востоку. На самом конце Хвоста Змеи, на границе с созвездием Орла, находится двойная звезда θ Ser, легко доступная для наблюдения в маленький телескоп. Она удалена на 142 св. года и состоит из двух белых компонентов блеском 4,6^m и 5,0^m, разделённых расстоянием 22″. В Голове Змеи, на 7° юго-западнее звезды α Ser, можно найти шаровое скопление M5, имеющее 7 звёздную величину и удалённое на 26 тыс. св. лет; его возраст около 13 млрд лет. Большое рассеянное скопление M16 внедрено в диффузную туманность Орел, названную так за форму темного пылевого облака в её центре.

ЗНАКИ ЗОДИАКА (англ. *astrological sign* или *sun sign*) — в исходном виде графические знаки, обозначающие 12 канонических зодиакальных созвездий. У астрологов — 12 секторов (по 30° каждый), на которые разбита эклиптика, начиная с текущей точки весеннего равноденствия. Астрологические знаки зодиака носят названия тех зодиакальных созвездий, через которые соответствующие секторы эклиптики проходили около 2000 лет назад. В соответствии с современными границами созвездий эклиптика пересекает теперь не 12, а 13 созвездий: к «классической дюжине» добавился Змееносец. Но соответствующего ему знака зодиака не существует.

В результате прецессии точка весеннего равноденствия за прошедшие с античных времен два тысячелетия переместилась примерно на 30° — из созвездия Телец через Овен в Рыбы. Это привело к кажущемуся смещению всего зодиакального ряда созвездий на два «деления» (поскольку отсчёт по традиции начинается от того созвездия, в котором расположена точка весеннего равноденствия). Например, Рыбы поначалу были одиннадцатым зодиакальным созвездием, а теперь — первое; Телец был первым — стал третьим.

Знаки зодиака

Символ	Название	Эклиптическая долгота, °
♈	Овен	0–30
♉	Телец	30–60
♊	Близнецы	60–90
♋	Рак	90–120
♌	Лев	120–150
♍	Дева	150–180
♎	Весы	180–210
♏	Скорпион	210–240
♐	Стрелец	240–270
♑	Козерог	270–300
♒	Водолей	300–330
♓	Рыбы	330–360

Примерно в 2600 г. точка весеннего равноденствия переместится из Рыб в Водолей, и тогда это созвездие станет первым в Зодиаке. Однако по-прежнему каждому знаку зодиака у астрологов соответствует символ, связанный с именем того созвездия, которое располагалось в данном знаке 2000 лет назад.

Даты вступления Солнца в границы созвездий и в одноимённые знаки зодиака для 2010 г. В другие годы эти даты могут отличаться на 1–2 дня

Созвездие	Дата вступления Солнца	
	в созвездие	в знак зодиака
Козерог	19 января	21 декабря
Водолей	15 февраля	19 января
Рыбы	11 марта	17 февраля
Овен	18 апреля	19 марта
Телец	13 мая	19 апреля
Близнецы	20 июня	20 мая
Рак	20 июля	20 июня
Лев	10 августа	22 июля
Дева	16 сентября	22 августа
Весы	30 октября	22 сентября
Скорпион	22 ноября	23 октября
Змееносец	29 ноября	—
Стрелец	17 декабря	21 ноября

В современной научной практике два знака зодиака используются для обозначения точек весеннего (знак Овна) и осеннего (знак Весов) равноденствий. И ещё один (знак Льва в прямом и перевернутом виде) используется для обозначения соответственно восходящего и нисходящего узлов орбиты небесных тел.

ЗОДИАК — зона на небе шириной по 9 угловых градусов (9°) в обе стороны от эклиптики, содержащая видимые пути Солнца, Луны и планет. Эта полоса проходит через 13 современных созвездий и делится на 12 знаков зодиака. Название этой области происходит от греческого слова «зоон» — животное, поскольку большинство зодиакальных созвездий названо в честь животных.

ЗОДИАКАЛЬНЫЕ СОЗВЕЗДИЯ — 12 традиционных созвездий, через которые проходит эклиптика — видимый путь Солнца среди звёзд в течение года: Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы. По древней традиции созвездие Змееносец к зодиакальным не причисляют.

ЗОДИАКАЛЬНЫЙ СВЕТ — слабое свечение на небе, простирающееся вдоль эклиптики, т. е. в области зодиака, с чем и связано название этого явления. Это свечение возникает из-за рассеяния солнечного света на межпланетной пыли, сконцентрированной в плоскости Солнечной системы.

Зодиакальный свет слаб, поэтому, как правило, его удаётся увидеть лишь в ясные безлунные ночи вдали от городских огней. Лучше всего его видно на низких географических широтах сразу после окончания или непосредственно перед началом астрономических сумерек в той части неба, где зашло или восходит Солнце; по этой причине его иногда называют ложной зарёй.

Визуально зодиакальный свет обычно обнаруживается на угловом расстоянии от 30° до 90° от Солнца. В экваториальных областях Земли свечение становится заметным в западной части неба вскоре после наступления темноты, примерно через час после захода Солнца. Оно имеет вид конуса, сужающегося с удалением от горизонта, постепенно теряющего яркость и переходящего в зодиакальную полосу — слабо светящийся пояс шириной около 10°, едва различимый на фоне ночного неба, который тянется вдоль всей эклиптики, соединяя собой обе ветви зодиакального света — западную и восточную. В области неба, противоположной Солнцу, зодиакальная полоса несколько расширяется, и её свечение усиливается, создавая противосияние. В конце тропической ночи, перед рассветом, на востоке из-за горизонта появляется вершина конуса, и зодиакальный свет поднимается всё выше. За час до восхода Солнца небо начинает светлеть, и слабый зодиакальный свет становится незаметен.

Для наблюдателей средних широт конус зодиакального света сильно наклонён к горизонту, поэтому заметить его труднее. Лучше всего он виден в феврале—марте после окончания вечерних сумерек и в сентябре—октябре перед утренними сумерками. В летние ночи он наблюдается в виде диффузного свечения у северного горизонта. Конусы зодиакального света в 2–3 раза ярче фона ночного неба вне Млечного Пути. В среднем в

видимой области спектра зодиакальный свет вносит около 15% в общее излучение ночного неба.

Явление зодиакального света известно с древности: о нём знали в Египте, Греции и на Востоке. Бируни называл его «ложной зарёй» или «волчьим хвостом». Внимательный наблюдатель природы Александр Гумбольдт в своём колоссальном труде «Космос» (М., 1853, т. 3, с. 134) подробно описал зодиакальный свет: «Кто долго жил в поясе пальм, тот навсегда сохранит приятное воспоминание о сладостном сиянии, которым пирамидально воздымающийся зодиакальный свет озаряет часть равно продолжительных тропических ночей. Я видел его блестящим гораздо ярче, чем Млечный Путь в Стрельце, не только в редкой и сухой атмосфере Андских вершин на высоте двенадцати или четырнадцати тысяч футов, но также в беспредельных луговых равнинах Венесуэлы, на морском берегу, под вечным ясным небом Куманы. Совершенно особенную прелесть приобретало это явление, когда маленькое облачко закрывало частицу зодиакального света и резко выделялось на светлом фоне».

В Новое время зодиакальный свет начали наблюдать и описывать с середины XVII в. Первым это явление подробно изучил и правильно истолковал французский астроном Жан Доменик Кассини в 1683 г. Он считал причиной зодиакального свечения солнечный свет, рассеянный мелкими частицами вещества, движущимися между орбитами Венеры и Марса в плоскости планетных орбит.

Распределение энергии в спектре зодиакального света близко к солнечному. Как и в спектре Солнца, в нём имеются линии поглощения. Оптическое излучение зодиакального света частично поляризовано. Одно время считалось, что поляризация указывает на рассеяние излучения свободными электронами межпланетной среды. Но позже было убедительно показано, что в рассеянии света в основном виновата межпланетная пыль, которая тоже даёт поляризацию, но зато не замывает фраунгоферовых линий Солнца, присутствующих в спектре зодиакального света.

Источником мелких частиц, заполняющих Солнечную систему, служат разрушающиеся ядра комет и столкновения тел в поясе астероидов. Самые мелкие частицы постепенно приближаются к Солнцу в результате эффекта Пойнтинга–Робертсона. Он заключается в том, что давление солнечного света на движущуюся частицу направлено не точно по линии Солнце–частица, а в результате аберрации света отклонено назад, против скорости частицы, и поэтому тормозит её движение. Падение мелких частиц на Солнце компенсируется их постоянным производством, так что в плоскости эклиптики всегда существует скопление пыли, рассеивающее солнечные лучи.

Исследование зодиакального света представляет научный интерес, поскольку даёт возможность получить сведения о глобальном распределении пыли в межпланетном пространстве. Зодиакальный свет исследуют фотометрически и спектрально с поверхности Земли, а также с космических аппаратов, данные которых свободны от влияния земной атмосферы. Оптические исследования совместно с наблюдениями в инфракрасном диапазоне показали, что пылевые частицы концентрируются около Солнца в виде эллипсоидального облака (зодиакальное облако), плотность пыли в котором падает по мере удаления от Солнца и от плоскости эклиптики.

Вблизи Солнца зодиакальный свет переходит в F-корону Солнца (фраунгоферова, или пылевая корона), которая видна только при полном солнечном затмении. Её отличают от K-короны (от нем. *Kontinuum*), возникающей вследствие рассеяния солнечного излучения на свободных электронах корональной плазмы. Спектр K-короны непрерывный, поскольку фраунгоферовы линии фотосферного спектра Солнца размыты из-за эффекта Доплера при рассеянии на быстрых электронах короны, имеющей температуру около миллиона кельвинов. Напротив, в спектре F-короны присутствуют фраунгоферовы линии, которые не замываются при рассеянии света на медленно движущихся пылевых частицах. За пределами 10 радиусов Солнца F-корона переходит в зодиакальный свет. Его яркость с ростом углового расстояния от Солнца быстро падает, но в антисолнечной точке эклиптики она вновь усиливается, образуя противосияние; это вызвано тем, что мелкие пылевые частицы интенсивно отражают свет назад.

Наблюдая в предутренние часы приближение противосияния к горизонту, некоторые астрономы отмечали явление «ложного зодиакального света», значительно менее яркого, чем истинный, и к тому же находящегося над противоположной стороной горизонта. В тропиках ложный зодиакальный свет наблюдается чаще, чем в средних широтах.

Хотя в XX в. обсуждалось несколько альтернативных гипотез происхождения обсуждавшихся выше небесных оптических явлений, исследования с борта межпланетных аппаратов окончательно прояснили проблему. Зодиакальный свет, зодиакальная полоса и противосияние представляют собой проявление одного и того же физического процесса – рассеяния солнечного света на частицах межпланетной пыли. При этом область наиболее интенсивного рассеяния, а следовательно, и участки ночного неба с наибольшей яркостью проецируются на зодиакальные созвездия. Однако это не означает, что в других местах ночного неба нет такого излучения. Как показали точные фотометрические измерения, свет Солнца, рассеянный межпланетной пылью, присутствует во всех участках ночного неба.

ЗОЛОТАЯ РЫБА – южное созвездие, выделенное И. Байером в 1603 г. В нём, у границы с созвездием Столовая Гора, видна галактика Большое Магелланово Облако (БМО), протянувшаяся по небу на 11° и удалённая от нас на 190 тыс. св. лет (т. е. она в десять раз ближе к нам, чем Туманность Андромеды). Это замечательный объект, богатый молодыми звёздами, скоплениями и туманностями; недаром Дж. Гершель называл его «цветущим оазисом, окружённым со всех сторон пустыней». Наиболее интересное место в БМО – туманность Тарантул (NGC 2070), крупнейшая среди известных эмиссионных туманностей (диаметр 1800 св. лет и масса 500 тыс. солнечных). Астрономы прошлых столетий принимали её за яркую звезду и дали ей звёздное обозначение – 30 Dor. Лишь позже мы узнали, что это гигантский звёздный архипелаг в соседней галактике. В самом сердце Тарантула располагается чрезвычайно плотное скопление R136 из очень молодых и массивных звёзд, которое в конце XX в. приковало внимание астрономов. Возникло подозрение, что там находится чудовищная звезда в 2000 раз массивнее Солнца. Теория строения звёзд не допускает существования столь массивных светил. Действительно, самые зоркие телескопы смогли показать, что это не одна звезда, а очень плотное скопление, в котором доминируют несколько чрезвычайно редких звёзд массой более 50 солнечных, причём крупнейшая из них в 300 раз массивнее Солнца, что тоже является вызовом теории. Рядом с туманностью Тарантул 23 февраля 1987 г. произошла вспышка сверхновой звезды. Это ближайшая вспышка сверхновой, наблюдавшаяся с момента изобретения телескопа.

ЗОНА ЖИЗНИ – диапазон расстояний от звезды, внутри которого планета земного типа может иметь температуру поверхности от 0 до 100 °C. Это позволяет существовать на планете жидкой воде, что считается необходимым условием для жизни. В английском языке термину «зона жизни» (иногда её называют экосферой или обитаемой зоной) соответствует научный термин Habitable zone, который в популярной литературе нередко заменяют на Goldilocks Zone или Comfort zone. Здесь имеется в виду сказка о Златовласке (Goldilock), сюжет которой близок к русской сказке «Маша и три медведя».

Температура на поверхности планеты земного типа, имеющей сравнительно разреженную атмосферу, в основном зависит от мощности дневного светила и

расстояния до него. В 1950-е гг. американский астрофизик Су-Шу Хуанг исследовал эту проблему: он рассчитал, на каком расстоянии от звёзд разного типа могут находиться обитаемые планеты, если средняя температура на их поверхности позволяет существование жидкой воды, т. е. заключена в диапазоне от 0 до 100 °С. Разумеется, для детального проведения такого расчёта нужно хорошо знать параметры атмосферы и поверхности планеты. Например, средняя температура поверхности и особенно её суточные колебания сильно зависят от наличия или отсутствия облаков, от степени отражения света (хорошо известно, насколько по-разному нагреты весной участки земли, покрытые снегом и уже освободившиеся от него). Расчёты Су-Шу Хуанга не учитывают все эти тонкости и относятся к некой «типичной» планете.

Учтём, что поток тепла на поверхность планеты пропорционален светимости звезды (L) и обратно пропорционален квадрату расстояния до неё (R). В космос планета возвращает это тепло в виде инфракрасного излучения своей поверхности, которое, по закону Стефана–Больцмана, пропорционально четвёртой степени её температуры (T). Из уравнения баланса энергии («сколько пришло – столько ушло») получим связь: $T^4 \sim L/R^2$. Отсюда найдём расстояние планеты с заданной температурой поверхности: $R \sim L^{1/2}/T^2$. Во всех этих формулах температура должна выражаться в абсолютной шкале Кельвина, в которой точки замерзания и кипения воды имеют значения $T_з = 273$ К и $T_к = 373$ К. Тогда у любой звезды относительная ширина зоны жизни приблизительно составит $\Delta R/R = 2\Delta T/T \sim 65\%$. Например, если считать положение Земли в Солнечной системе ($R = 1$ а. е.) идеальным для жизни, то внутренняя и внешняя границы пояса жизни имеют радиусы $R_1 = 0{,}7$ а. е. и $R_2 = 1{,}3$ а. е. Вблизи этих границ движутся Венера и Марс. Но свойства их атмосфер усилили отличие температуры от земной, поэтому условия на их поверхности оказались за пределом возможностей жизни. С учётом этого имеет смысл сузить «температурные рамки жизни» до диапазона, скажем, 10–60 К, получив при этом относительную ширину пояса жизни $\Delta R \sim R/3$.

Численное значение идеального для жизни расстояния от звезды зависит от её светимости ($R \sim L^{1/2}$), которая, в свою очередь, быстро возрастает с увеличением массы звезды. Значит, у звёзд-карликов зона жизни близка к звезде и поэтому узка ($R/3$). При случайном формировании планет невелика вероятность, что одна из них попадёт именно в эту узкую область. У звёзд высокой светимости зона жизни находится далеко от звезды и поэтому очень широка. Это хорошо. Но продолжительность жизни массивных звёзд так мала, что трудно ожидать развития на их планетах разумной жизни (земной биосфере для этого понадобилось более 3 млрд лет).

Таким образом, по мнению Су-Шу Хуанга, для обитаемых планет наиболее подходят звёзды главной последовательности спектральных классов от F5 до K5. причём звёзды второго поколения, богатые химическими элементами, которые необходимы для биосинтеза, – углеродом, кислородом, азотом, серой, фосфором. Солнце как раз и является такой звездой, а наша Земля движется в середине его зоны жизни. Если бы масса Солнца была немного иной, то в зону жизни попали бы Венера или Марс. Поэтому можно надеяться, что у любой солнцеподобной звезды, обладающей планетной системой, найдётся хотя бы одна планета с условиями, пригодными для развития жизни.

ЗОНА ИЗБЕГАНИЯ – полоса на небесной сфере шириной от 10 до 40°, центрированная на галактический экватор, в пределах которой из-за сильного межзвёздного поглощения света (см. *Межзвёздная пыль, Межзвёздное поглощение света*) практически не видны внегалактические объекты и даже удалённые области нашей галактики. В инфракрасном диапазоне излучения зона избегания значительно уже, а в радиодиапазоне она почти отсутствует.

ЗРАЧОК – в оптических системах изображение апертуры (точнее, апертурной диафрагмы). В микроскопе и телескопе апертурой служит объектив, а его изображение – выходным зрачком, у которого размещается глаз. Весь падающий на объектив свет проходит через выходной зрачок, поэтому важно, чтобы он не превышал по диаметру зрачок глаза и не понижал тем самым светосилу прибора. См. также *Равнозрачковое увеличение* и *Выходной зрачок*.

ЗРАЧОК ГЛАЗА – входная апертура глаза. Изменение диаметра зрачка служит одним из механизмов темновой адаптации зрения. У человека диаметр зрачка изменяется от 1,2 мм при ярком освещении до 9 мм в полной темноте (у молодых людей; у пожилых – до 6 мм). См. также *Адаптация к темноте*.

ЗРЕНИЕ – восприятие внешнего мира (т. е. получение информации о нём) путём улавливания специальными органами зрения отражённого или излучённого объектами света. До второй половины XIX в. основой астрономических наблюдений служило зрение человека. У человека 8 чувств – зрение, слух, обоняние, вкус, осязание, ощущение температуры, ощущение боли и мышечное чувство (кинестезия). Но именно зрение даёт нашему мозгу более 90% информации об окружающем мире. А для любителей астрономии зрение – это главный «путь во Вселенную». Наблюдая в телескоп или без него, необходимо знать устройство глаза и учитывать особенности зрения. Только так можно увидеть почти невидимое: мелкие кратеры на Луне, слабую звезду, далекую комету, бледную галактику.

Первая встреча с телескопом часто обескураживает любителя астрономии. «Я не вижу никаких деталей», – жалуется начинающий наблюдатель, глядя на Марс или даже на Юпитер. А более опытный его товарищ с помощью того же телескопа составляет подробную карту планеты. Дело в том, что у него «тренированный глаз», т. е. он научился настраивать своё зрение на астрономические наблюдения. Этому может научиться каждый, кто знаком с особенностями зрения и систематически наблюдает небо.

Устройство глаза. На первый взгляд наш глаз напоминает фотоаппарат. Объектив глаза – роговица, радужка и хрусталик – похож на классический фотообъектив с его системой линз и диафрагмой. причём это очень широкоугольный объектив: поле зрения двух глаз у человека простирается почти на 180° по горизонтали и 140° по вертикали. Качество такого простого и при этом широкоугольного объектива не может быть очень высоким: резкое изображение получается только в центре поля зрения, а к периферии оно заметно ухудшается.

Центральное отверстие радужки – зрачок. Он играет ту же роль, что диафрагма у фотоаппарата: больше или меньше закрывает края линзы в объективе. Глаз может изменять диаметр зрачка в пределах от 2 до 8 мм, регулируя количество света, проходящего через хрусталик на светочувствительную сетчатку. Но на этом аналогия с классической фотокамерой заканчивается, ибо про сетчатку уже не скажешь, что это аналог фотоплёнки. Сетчатка глаза значительно ближе к светоприёмнику цифровой фото- и видеокамеры, т. е. к ПЗС-матрице, состоящей из множества элементарных полупроводниковых приёмников света – пикселей. В сетчатке их роль играют светочувствительные клетки. За свою форму одни из них названы колбочками, а другие – палочками. В сетчатке каждого глаза около 7 млн колбочек и 120 млн палочек. Палочки работают при слабом освещении и обеспечивают вечернее и ночное зрение. Но они нечувствительны к цвету (именно поэтому кажется, что ночью «все кошки серые»). А колбочки могут работать только при ярком свете, т. е. днём, и при этом они чувствуют цвет изображения. Объясняется это тем, что на самом деле в сетчатке глаза присутствуют колбочки трёх разных типов, расположенные

вперемежку: одни чувствительны к синему, другие — к зелёному, а третьи — к красному (точнее, оранжевому) цвету. Вместе они довольно точно передают информацию об оттенках изображения. Здесь легко увидеть аналогию с цветным дисплеем, у которого тоже три типа одноцветных пикселей — красные, зелёные и синие.

Способности глаза. Размер самых мелких деталей, которые может заметить наш глаз, определяется его угловой разрешающей способностью и расстоянием до предмета. Если мы не можем различить мелкие детали на картинке, то стараемся поднести её ближе к глазам. Линейный размер деталей при этом не изменяется, но для глаза возрастает их угловой размер. Минимальный угол, под которым глаз способен различить две точки по отдельности, называют его разрешающей способностью или, кратко, разрешением. Здоровый глаз в центре своего поля зрения, т. е. там, где на сетчатке плотно расположено большое количество колбочек, имеет разрешение около 1′. Под таким углом вы видите точку в конце этого предложения, если держите книгу в вытянутых руках. При этом вы легко отличаете запятую от точки. Но отойдите от книги вдвое дальше, и вы же не отличите точки от запятых: ,,,,,,,,,,,,,,,,

Вторая важная способность глаза — его временно́е разрешение, т. е. умение различать быстрые движения и изменения картины. Например, в некоторых видеоклипах (рекламных, музыкальных) картинка меняется 4–5 раз в секунду, и глаз способен уловить сюжет всех этих изображений. Но если менять картинку 15–20 раз в секунду, то разные изображения сольются в одно, и вы их не различите. Временно́е разрешение глаза составляет около 0,1 с. Благодаря этому возможен эффект кино: когда изображение меняется с частотой 24 кадра в секунду, мы не замечаем мелькания кадров, а воспринимаем это как непрерывную картину.

Аналогию с электронными приборами можно продолжить. Видеокамера имеет систему автоматической регулировки усиления, глаз — тоже. В темноте его чувствительность повышается в тысячи раз, а при ярком свете ослабевает. Происходит это не так быстро, как у видеокамеры, поэтому, выходя на яркий свет, мы несколько секунд страдаем от рези в глазах, а попадая в темноту, некоторое время ничего не видим. Полная темновая адаптация глаза происходит примерно за полчаса. По истечении этого срока глаз приобретает максимальную чувствительность.

Заметить разницу в освещённости двух соседних поверхностей глаз может только в том случае, если она превышает 2% почти независимо от абсолютной яркости поверхностей. При этом глаз работает как дифференциальный анализатор: он сопоставляет, не насколько, а во сколько раз различаются яркости. Именно поэтому в астрономии появилось понятие «звёздная величина». Разница блеска между двумя звёздами на 1^m означает, что потоки света от них различаются в 2,512... раза. Опытный астроном может заметить разницу блеска двух соседних звёзд на $0{,}02^m$. Это как раз те самые 2% — пороговая чувствительность глаза.

Особенности зрения. Глаз соединён с мозгом пучком нервных волокон, но их в пучке существенно меньше, чем светочувствительных клеток в сетчатке глаза. Поэтому глаз сам осуществляет предварительную обработку информации и передаёт в мозг упрощённые образы увиденного. Так, в хаотически разбросанных пятнах глаз старается угадать контуры геометрических фигур, уже знакомых мозгу. Это его свойство иногда оказывается полезным для астрономов (фигуры созвездий запоминаются легче), а иногда вредным. Примеры — «открытие» каналов на Марсе или «обнаружение» звёздных цепочек и колец.

Восприятие зрительных образов глубоко связано с особенностями психики человека. Зная эти особенности, легко обмануть те отделы нашего мозга, которые анализируют двумерное изображение, зафиксированное сетчаткой глаза, и восстанавливают по нему трёхмерный образ исходного объекта. Специалистам известно множество зрительных иллюзий, на использовании которых основано немало цирковых фокусов. Но не менее важно и обратное — умение на плоском рисунке верно передать строение трёхмерного объекта. Вершиной манипулирования зрительными образами является рисование невозможных объектов. Мастерски владел этим искусством голландский художник Маурис Эшер.

Преобразовывать двумерное изображение в трёхмерную модель ребенок учится с первых дней жизни, ощупывая руками то, что он видит. Поэтому зрение иногда называют «приобретённым умением». При переводе двумерных образов в трёхмерные наш мозг пользуется специальным словарём — накопленным в памяти запасом возможных моделей, причём у каждого из нас этот словарь сугубо индивидуален, связан с конкретным жизненным опытом, с профессией. Недаром каждый по-своему дорисовывает друдлы — загадочные незавершенные картинки. А увидев нечто необычное в небе, каждый из нас по своему додумывает детали и определяет природу увиденного. Лишь опыт астрономических наблюдений позволяет нам более или менее верно понимать увиденное.

Глаза животных и телескопы. Зрение животных представляет интерес не только для биологов, но и для конструкторов новых астрономических приборов. Глаза животных очень разнообразны по устройству. Природа реализовала в них самые разные принципы фокусировки света, наведения на резкость, подавления оптических искажений (аберраций), регулировки чувствительности и адаптации к различным средам (это особенно важно для земноводных). Многие из этих принципов были открыты людьми самостоятельно, но некоторые были подсмотрены в природе. Например, рентгеновский телескоп нового типа был сконструирован по аналогии с устройством глаза рака. Были и другие находки. Поэтому тем, кто интересуется наблюдениями неба, полезно познакомиться с особенностями зрения животных. Вот некоторые из них.

Восприятие света. У всех живых существ основой зрения служат светочувствительные клетки. У человека это множество колбочек и палочек в сетчатке глаза, на которой хрусталик строит изображение объектов (см. *Сетчатка*). У более простых организмов глаз устроен проще. Например, у дождевого червя одиночные светочувствительные клетки распределены по всей поверхности тела. Поэтому он не видит изображений, а лишь чувствует, с какой стороны светлее и куда движется тень. А вот у пиявки наряду с разрозненными зрительными клетками имеются и их скопления, окружённые со стороны тела непрозрачными пигментными клетками, изолирующими зрительные клетки от боковых лучей света. Это уже прообраз настоящего глаза.

Создание изображения. У головоногого моллюска наутилуса глаза представляют собой впадины, выстланные сетчаткой, но входное отверстие их глаза лишено линзы и строит изображение просто как камера-обскура. Правда, внутренняя полость глаза все же заполнена стекловидным веществом, которое сохраняет от повреждения сетчатку и немного фокусирует свет. Понятно, что камера-обскура — несовершенный оптический прибор. Чтобы создать яркое и чёткое изображение объекта, нужен фокусирующий элемент — выпуклая линза или вогнутое зеркало. У позвоночных, пауков и головоногих глаз имеет линзовый объектив: выпуклую роговицу и хрусталик. Роговица — наиболее сильная преломляющая среда глаза. А хрусталик способен двигаться и осуществлять наводку на резкость. Вместе они работают как сложный объектив фотоаппарата или телескопа-рефрактора.

Но есть и глаза-рефлекторы. Например, у моллюска-гребешка свет фокусируется задней зеркальной поверхностью глаза и падает на сетчатку, расположенную у передней поверхности глазного яблока: это напоминает конструкцию телескопа-рефлектора. Порой зеркальный слой используется и совместно с линзой (хрусталиком). У ночных и глубоководных животных за сетчаткой распо-

ложен отражающий слой (тапетум), возвращающий на сетчатку свет, не поглощённый ею при первом проходе: это повышает чувствительность зрения. Часть отражённого света выходит из глаза наружу — поэтому глаза кошки и акулы светятся в темноте. Ясно, что они светятся не сами по себе, а лишь в том случае, когда на них падает внешний свет.

А как природа создаёт зеркальную оптику? В технике роль зеркала играет гладкая металлическая поверхность. Трудно было бы ожидать, что в глазах животных окажется нечто подобное: природа решила эту задачу иначе. Лишь несколько десятилетий назад люди освоили изготовление плёночных зеркал путём нанесения тончайших чередующихся прозрачных слоёв с различной оптической плотностью: в результате частичного отражения света от каждой межслойной границы и взаимной интерференции отражённых лучей практически весь падающий на такое покрытие свет отражается обратно. Но природа освоила эту технологию миллионы лет назад: как недавно было установлено, глаза некоторых животных также содержат многослойное отражающее покрытие. Отражающие свойства обеспечиваются кристаллами гуанина. Зеркальная оптика обнаружена в маленьких простых глазах моллюсков и в сложных фасеточных глазах креветок, раков и омаров. При этом глаза моллюсков имеют не только фокусирующее зеркало, но и корректирующую линзу перед ним, исправляющую сферическую аберрацию зеркала — как у телескопов системы Шмидта или Максутова.

Метод хамелеона в астрономии. Глаза хамелеона вращаются независимо друг от друга: одним глазом он может смотреть на вас, а другим следить за мухой на потолке. И при этом каждый глаз точно оценивает расстояние до объекта в пределах досягаемости его липкого языка (30 см). Оказывается, покачивая своё тело, хамелеон создаёт эффект параллакса, чем и компенсирует отсутствие бинокулярного эффекта. Астрономам метод параллакса хорошо знаком: роль покачиваний выполняет обращение Земли вокруг Солнца, позволяющее измерять расстояния до звёзд.

Сложные глаза. Встречаются в мире животных и сложные глаза. Например, у рыбки-брызгуна, сбивающей водяной струёй насекомых с прибрежных кустов, глаза состоят из двух половинок: нижняя для подводного видения и верхняя для охоты над водой. Подобные очки с совмещёнными стёклами «для чтения и для дали» хорошо известны пожилым людям. Но и астрономы часто применяют подобные системы, укрепляя на одной монтировке сразу несколько различных телескопов: один — для обозрения большого участка неба (искатель), второй — для точного наведения оптической системы на объект (гид), а третий — для фотографирования объекта или получения его спектра. Иногда даже совмещают телескопы разного типа: оптический и ренгеновский или оптический и радиотелескоп.

Сколько нужно глаз? У большинства животных два глаза, но бывает и больше. Например, у пауков их восемь. А сколько глаз у стрекозы или мухи, даже трудно сосчитать: каждый огромный фасеточный глаз насекомого составлен из множества отдельных глазков — омматидиев. Например, у стрекозы их около 30 тыс., ориентированных в разных направлениях. Это существенно увеличивает угол обзора без усложнения конструкции каждого элемента — омматидия. Используют этот приём и астрономы. Так, ловцы метеоров используют многокамерные фотоустановки для регистрации траекторий «падающих звёзд»: 4–8 фотоаппаратов одновременно обозревают всё небо, чтобы не пропустить ни одного события. Такие же многокамерные установки (но с меньшим полем зрения) применяются для поиска экзопланет методом покрытий. Любопытно, что у этих приборов 8 объективов, как глаз у паука.

Конструкторы телескопов тоже взяли пример со структуры фасеточного глаза. Поскольку очень сложно изготавливать большие зеркала для телескопов-рефлекторов, их стали собирать из отдельных сегментов. Например, у крупнейших в мире телескопов Кек-I, Кек-II (о-в Гавайи) и Большого канарского телескопа (GTC, о-в Ла-Пальма) главные зеркала диаметром 10 м собраны из 36 сегментов шестиугольной формы. Внешне они очень напоминают фасеточный глаз насекомого и работают столь же слаженно и эффективно. Развивая эту идею, астрономы пошли ещё дальше и начали строить составные телескопы. Если навести два телескопа на один небесный объект, а затем объединить собранный ими свет, то можно получить такое же детальное изображение объекта, как если бы это был один гигантский телескоп с диаметром объектива, равным расстоянию между двумя телескопами. Можно использовать даже не два, а много телескопов, объединённых в одну оптическую систему. Радиоастрономы уже давно научились так делать: одна антенна стоит в Америке, а другая в России и работают как единый инструмент с фантастической разрешающей силой. Оптические астрономы тоже вступили на этот путь. Уже созданы системы из нескольких телескопов, расположенных на расстоянии в сотню метров друг от друга. Похоже на то, как улитка вытягивает и раздвигает свои глаза, чтобы лучше видеть.

Чьи глаза лучше? У животных различается не только конструкция глаза, но и система обработки полученной им информации. При этом они связаны друг с другом и оптимизированы для наибольшей выгоды данного вида. Фасеточный глаз насекомого, например пчелы, обладает невысоким угловым разрешением, всего около 1°, зато способен различать поляризацию света и имеет в 10–20 раз более высокое временно́е разрешение, чем глаз человека.

Бессмысленно выяснять, чей глаз лучше. Каждому животному нужен свой глаз. И только человек старается использовать «глаза» всех типов: телескопы, микроскопы, очки, линзы, зеркала. В последние годы астрономы озабочены созданием такого прибора, который мог бы контролировать всё небо с высокой чёткостью и чувствительностью, не пропуская ни появление кометы, ни вспышку сверхновой, ни другие интересные события. Пока такого инструмента нет, но прогресс в этом направлении заметен.

ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА — телескоп, дающий прямое изображение (т. е. вниз ногами), и потому удобный для наблюдения земных объектов. Телескопы Галилея и Грегори обеспечивают прямое изображение непосредственно, телескопы прочих систем дают перевернутое изображение и поэтому нуждаются во введении дополнительной оборачивающей линзовой системы или других дополнительных элементов для использования в качестве зрительных труб.

И

ИДЖИРАК (S XXII, Ijiraq) — естественный спутник Сатурна. Его открыли в 2000 г. канадские астрономы Дж. Кавеларс (J. J. Kavelaars), Б. Глэдман (Brett J. Gladman) и их коллеги. Спутник назван в честь персонажа эскимосской мифологии. Большая полуось орбиты 11 124 тыс. км. Орбитальный период 451,4 сут. Эксцентриситет орбиты 0,316. Наклонение орбиты к эклиптике 46,4°; спутник обращается по орбите в прямом направлении, т. е. в сторону вращения планеты. Размер 12 км. Альбедо около 0,04. Цвет красный. Видимый блеск $22{,}6^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 40′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ИЗБЫТОК ЦВЕТА — разность между наблюдаемым показателем цвета звезды и нормальным, свойственным её спектральному классу. Служит мерой покраснения звёздного света в результате рассеяния его голубых лучей межзвёздной пылью.

ИЗБЫТОЧНАЯ ВЫБОРКА — наблюдение с использованием детектора, имеющего более высокое разрешение, чем требует-

ся для получения всей информации, содержащейся в изображении. Избыточная выборка не приводит к каким-либо проблемам, но служит типичным примером напрасной траты средств.

ИЗВИЛИНЫ (*лат. flexus, мн. flexûs*) — очень низкие криволинейные гряды, состоящие из серповидных деталей, на Европе.

ИЗГИБНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — магнитодрейфовое излучение, возникающее при движении заряженных частиц вдоль искривлённых силовых линий магнитного поля. Разумеется, заряженная частица не может двигаться точно вдоль искривлённой магнитной силовой линии, поскольку действующая на частицу сила Лоренца в этом случае обращается в нуль. В действительности у частицы наряду со скоростью вдоль направления магнитного поля появляется дрейфовый компонент скорости, перпендикулярный полю. Этот компонент скорости и обеспечивает появление силы Лоренца, искривляющей траекторию частицы в соответствии с формой силовой линии. Чем больше напряжённость магнитного поля и чем меньше энергия частицы, тем точнее траектория частицы совпадает с формой силовой линии.

Изгибное излучение ультрарелятивистских частиц имеет очень много общего с синхротронным излучением и отличается от него лишь тем, что в случае изгибного излучения радиус кривизны траектории частицы (R) определяется геометрией магнитного поля и не зависит от энергии частицы, а в случае синхротронного излучения величина R увеличивается пропорционально энергии частицы. Вследствие этого характерная частота и мощность изгибного излучения с увеличением энергии частицы растут быстрее, чем при синхротронном излучении.

Считается, что изгибное излучение играет большую роль при генерации наблюдаемого излучения пульсаров. В сверхсильных магнитных полях пульсаров (нейтронных звёзд), достигающих 10^{12}–10^{13} Гс, заряженные частицы очень быстро расходуют на излучение энергию, связанную с перпендикулярным к направлению поля компонентом их скорости, и движутся практически вдоль магнитных силовых линий. Существование сильных электрических полей, индуцируемых вблизи поверхности замагниченной нейтронной звезды при её вращении, приводит к тому, что движение частиц в магнитосферах пульсаров происходит с ультрарелятивистскими скоростями. Энергия частиц столь велика, а радиус кривизны магнитных силовых линий в магнитосфере пульсаров столь мал, что мощность изгибного излучения истекающих из пульсаров частиц достаточна для объяснения рентгеновского и гамма-излучения пульсаров. Оптическое и радиоизлучение пульсаров можно объяснить изгибным излучением лишь в том случае, если оно является когерентным, т. е. испускается сгустками заряженных частиц размером меньше длины волны генерируемого ими излучения. Не исключено, что когерентный механизм изгибного излучения несёт ответственность и за генерацию переменного радиоизлучения квазаров и активных ядер галактик.

ИЗОБАРЫ — разновидности атомов или атомных ядер (нуклидов), отличающиеся числом протонов, т. е. зарядом ядра (порядковым номером элемента в таблице Менделеева), при одинаковом массовом числе. При наличии двух соседних изобаров с зарядами, различающимися на единицу, один из них часто оказывается неустойчивым относительно перехода в другой. Например, ^{3}H (тритий) и ^{3}He являются изобарами, ядро трития распадается: $^3\mathrm{H} \rightarrow {}^3\mathrm{He} + e^- + \nu$. Однако начиная с середины таблицы Менделеева встречаются стабильные изобары, между которыми находятся радиоактивные изобары, например, ^{40}Ca и ^{40}Ar — стабильны, а ^{40}K радиоактивен. При бета-процессах сохраняется массовое число, т. е. происходит переход между различными изобарами. Таким путём образуются химические элементы в процессах синтеза атомных ядер, изучаемых ядерной астрофизикой.

ИЗОБРАЖЕНИЕ — наглядное представление внешнего вида или некоторых других свойств объекта. В астрономии исходное изображение внешнего вида объекта обычно строится телескопом. Понятие изображение используется не только применительно к оптическому диапазону, но и к любым другим длинам волн. Изображение может быть либо зарегистрировано непосредственно, с помощью панорамного детектора — фотоэмульсии, ПЗС-камеры и т. п., либо построено путём поэлементного сканирования с одномерным детектором, либо синтезировано более сложным образом, например методом апертурного синтеза.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ТЕЛЕСКОПА обычно датируют 1608 г. и приписывают датскому очковому мастеру Гансу Липперсгею. Неизвестно, однако, какова была оптическая схема предложенного им телескопа. Галилео Галилей, узнав об изобретении Липперсгея, в 1609 г. независимо разработал схему телескопа, которая теперь носит его имя. Первый телескоп-рефлектор изобрёл Джеймс Грегори в 1663 г., но первым из реально построенных рефлекторов стал телескоп, изготовленный И. Ньютоном в 1668 г.

ИЗОТОПЫ — разновидности одного и того же химического элемента, отличающиеся массой ядер (массовым числом A) при одинаковом атомном номере (заряде ядра). Атомные ядра изотопов данного элемента содержат одинаковое число протонов при различном числе нейтронов. В ядерной астрофизике рассматриваются процессы нейтронного захвата, которые приводят к образованию изотопов данного элемента с последовательно возрастающим числом A до тех пор, пока не получится изотоп, неустойчивый по отношению к бета-процессам. Последний приводит к образованию одного из изотопов следующего (по атомному номеру) элемента. Общее число стабильных изотопов около 260. Общее число известных в настоящее время изотопов, включая нестабильные, около 3100. Примеры: изотопы водорода ^{1}H, ^{2}H или D (тяжёлый водород, дейтерий), ^{3}H или T (тритий, нестабилен — период полураспада $T_{1/2}$ = 12,4 года); изотопы гелия ^{3}He, ^{4}He (наиболее распространённый), ^{6}He (нестабилен, $T_{1/2}$=0,8 с), ^{8}He (нестабилен, $T_{1/2}$ = 0,122 с).

ИЗОТРОПИЯ — свойство обладать одинаковыми характеристиками во всех направлениях, симметрия по отношению к выбору направления (в противоположность анизотропии). Например, показатель преломления оптически изотропной среды одинаков во всех направлениях. Реликтовое излучение в высокой степени изотропно, но всё же не абсолютно изотропно: в одной полусфере неба оно чуть теплее, чем в другой (доплеровский эффект вследствие движения Земли), а также имеются слабые угловые флуктуации его температуры. Поэтому можно говорить о степени изотропии того или иного свойства изучаемого объекта.

ИЗОХРОМАТИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ — фотографическая эмульсия со сравнительно равномерной чувствительностью во всём видимом диапазоне.

ИМЕНА АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ — см. *Открытие астрономических объектов и присвоение им имён.*

ИМИР (S XIX, Ymir) — естественный спутник Сатурна. Канадский астроном Брет Гладман (Brett J. Gladman) открыл его в 2000 г., проводя наблюдения на Обсерватории Лазурного берега (Франция). Большая полуось орбиты Имира 23 040 тыс. км. Орбитальный период 1315,14 сут. Эксцентриситет орбиты 0,335. Наклонение орбиты к эклиптике 173°; откуда ясно, что спутник обращается по орбите в обратном направлении, противоположном вращению планеты. Размер 18 км. Масса $5 \cdot 10^{15}$ кг. Альбедо 0,06. Видимый блеск $21{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°20′09″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ИНВАРИАНТ — величина, значение которой одинаково для всех наблюдателей независимо от состояния их движения.

ИНДЕЕЦ — южное созвездие, введённое И. Байером в 1603 г. как образ американского индейца. В нем мало интересных объектов. Звезда ε Ind, удалённая на 11,8 св. года, — одна из ближайших к Солнцу.

ИНДЕКС-КАТАЛОГ (Index Catalog) — дополнения к Новому общему каталогу (NGC), опубликованные в 1895 и 1908 гг. Включают более 5000 объектов, обозначение которых состоит из аббревиатуры каталога (IC) и порядкового номера, например IC 417.

ИНДЕКС ПОПУЛЯЦИИ — мера роста количества метеоров с уменьшением их яркости. Индекс популяции (population index) приблизительно равен 250% при уменьшении яркости на одну звёздную величину.

ИНСОЛЯЦИЯ (лат. *insolo* — выставляю на солнце) облучение любого тела потоком электромагнитного излучения от Солнца.

ИНСТИТУТ АСТРОФИЗИКИ НА КАНАРАХ (Instituto de Astrofisica de Canarias) — испанская научная организация, в ведении которой находятся обсерватория Тейде на о. Тенерифе и обсерватория Рока-делос-Мучачос на о. Ла Пальма (Канарские острова).

ИНСТИТУТ МИЛЛИМЕТРОВОЙ РАДИОАСТРОНОМИИ (Institut de Radio Astronomie Millimetrique, IRAM) — франко-германо-испанское научное объединение, образованное в 1979 г. и располагающее двумя инструментами для наблюдений в миллиметровом радиодиапазоне. Один из них — радиотелескоп с параболической антенной диаметром 30 м, установленный на высоте 2850 м на горе Пико Велета в Испании; второй — пятиэлементный радиоинтерферометр, расположенный на высоте 2550 м на Плато-де-Бур во французских Альпах.

ИНСТИТУТ РАДИОАСТРОНОМИИ В БОЛОНЬЕ (Instituto di Radioastronomia, IRA) — основанная в 1970 г. радиоастрономическая обсерватория со штаб-квартирой в г. Болонья (Италия) и несколькими отдельными станциями. В распоряжении Института находятся два радиотелескопа с параболическими антеннами диаметром 32 м и многоантенный интерферометр размером 640 м. На о. Сардиния завершается строительство нового радиотелескопа с параболической антенной диаметром 64 м. Институт активно участвует в работе на международных инструментах: ALMA и др.

ИНСТИТУТЫ ИМ. МАКСА ПЛАНКА — сеть научных институтов в Германии, принадлежащая Обществу научных исследований им. Макса Планка. Это около 80 институтов и подразделений, специализирующихся в различных областях науки. Некоторые из них вовлечены в деятельность Европейской южной обсерватории. Например, Институт астрономии, Институт астрофизики, Институт исследований Солнечной системы, Институт внеземной физики, Институт гравитационной физики и др. В ведении Радиоастрономического института Общества им. Макса Планка (г. Бонн) находится радиоастрономическая обсерватория в Эффельсберге (Германия), на которой установлен 100-метровый полноповоротный радиотелескоп, один из двух крупнейших в мире телескопов этого типа.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — видимая звёздная величина протяжённого объекта, вычисленная по суммарному количеству излучаемой им энергии.

ИНТЕРВАЛ — «расстояние» в пространстве-времени между двумя событиями.

ИНТЕРКОМБИНАЦИОННАЯ ЛИНИЯ — запрещённая спектральная линия, возникающая при переходах между группами энергетических уровней. В сравнении с запрещёнными переходами вероятности интеркомбинационных переходов выше и составляют от 0,01 до 1% по отношению к вероятностям разрешённых переходов, поэтому интеркомбинационные линии иногда наблюдаются и в спектрах обычных звёзд.

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ПОЛОСЫ — тёмные и светлые полосы, возникающие в результате взаимного ослабления или усиления интенсивности когерентных волн в двух наложенных друг на друга световых пучках, распространяющихся в одном направлении под небольшим углом друг к другу.

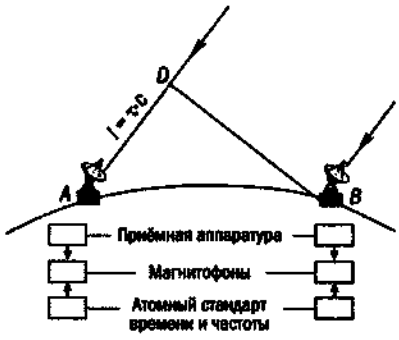
ИНТЕРФЕРОМЕТР — прибор, использующий два (или более) телескопа для достижения высокого углового разрешения. В радиодиапазоне интерферометры используются с 1950-х гг.; в инфракрасном и оптическом диапазонах интерферометры начали работать сравнительно недавно (например, на системах телескопов «Кек» и «Очень большом телескопе» (VLT) Европейской южной обсерватории). Принцип работы современных интерферометров заключается в сложении выходных пучков от двух или более независимых телескопов, направленных на один и тот же объект. Выходные пучки интерферируют друг с другом в степени, определяемой меняющейся мгновенной разностью хода между ними. Вследствие суточного движения объекта разность хода непрерывно изменяется, поэтому выходной сигнал интерферометра осциллирует. Анализируя характер осцилляций, получают информацию об объекте с высоким угловым разрешением, близким к дифракционному для объектива, размер которого равен расстоянию между телескопами. С помощью интерферометра сравнительно легко можно измерить угловое разделение двойного источника, однако более сложные источники, как и синтез изображений с высоким угловым разрешением, требуют применения более сложных методов обработки сигнала с использованием преобразования Фурье. Эффективной работе оптического интерферометра мешает нестабильность земной атмосферы, нейтрализовать которую помогает система адаптивной оптики.

ИНТЕРФЕРОМЕТР НАРРАБРИ — см. *Интерферометр интенсивностей.*

ИНТЕРФЕРОМЕТР ИНТЕНСИВНОСТЕЙ — прибор для измерения угловых диаметров звёзд. Содержит два разнесённых детектора (телескопа с фотометрами). Используется зависимость корреляции двух фотонных потоков от углового размера источника и от расстояния (базы) между детекторами. Крупнейший интерферометр интенсивностей был построен группой Хэнбюри Брауна в пустыне в Наррабри (Narrabri, Австралия) и работал в 1965–1972 гг. Два его мозаичных зеркала диаметром по 6,6 м перемещались по кольцу диаметром около 200 м. С помощью этого прибора были измерены угловые диаметры около 40 звёзд ярче $2{,}5^m$, причём наименьший измеренный диаметр составил 0,00042″.

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА — оптический прибор, изобретённый Альбертом А. Майкельсоном и первоначально предназначавшийся для наблюдения движения Земли относительно мирового эфира. Принцип работы этого интерферометра состоит в том, что луч света делится полупрозрачным зеркалом на два взаимно перпендикулярных луча, которые, пройдя некоторое расстояние, отражаются обратно, и часть их света тем же полупрозрачным зеркалом отбрасывается в одном направлении, где наблюдатель с помощью микроскопа следит за изменением интерференционной картины. Если прибор движется относительно «светоносного эфира», в котором скорость света постоянна, то повороты прибора должны приводить к изменению картины интерференции. Отсутствие изменений стало доказательством независимости скорости света от движения наблюдателя.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ СО СВЕРХДЛИННОЙ БАЗОЙ — метод значительного уве-



Принципиальная схема радиоинтерферометра со сверхдлинной базой. AB – база, AD – разность хода

личения разрешающей способности радиотелескопов. Радиоинтерферометр со сверхдлинной базой (РСДБ) представляет собой интерферометр радиодиапазона, имеющий длину базы вплоть до нескольких тысяч километров. Хотя теоретические основы работы РСДБ те же, что и в случае систем меньшего размера, практика работы РСДБ имеет ряд отличий. Каждая из антенн, составляющих РСДБ, одновременно с другими антеннами выполняет запись сигнала от изучаемого объекта и на тот же носитель записывает метки времени своих атомных часов (обычно это водородный стандарт частоты). Затем записи отдельных антенн сводятся воедино, а метки времени используются для правильной их синхронизации при объединении. Метод РСДБ при расположении антенн на поверхности Земли позволяет достигать углового разрешения в доли миллисекунды дуги. В перспективе планируется вынос антенн за пределы Земли, что существенно увеличит разрешающую способность. Первые эксперименты в этом направлении уже ведутся.

ИНФЛЯЦИЯ, а также теория инфляции и инфляционная космология – модификация стандартной космологической модели Большого взрыва, предполагающая, что на самом раннем этапе своей эволюции (10^{-43}–10^{-37} с) Вселенная претерпела колоссальное расширение, которое привело к экспоненциальному росту всех масштабов. Это предположение позволяет разрешить некоторые парадоксы классической космологии: почему Вселенная плоская (т. е. её пространство евклидово), почему в больших масштабах она однородна и изотропна, почему в ней всё же были малые неоднородности, приведшие к рождению галактик, и т. п.

ИНФЛАТОН (инфлантон, инфлятон) – гипотетическое скалярное поле, существование которого предполагается в теории инфляции. Считается, что в первые мгновения эволюции Вселенной фазовый переход инфлатона в состояние с более низкой потенциальной энергией вызвал ускоренное «раздувание» (инфляцию) пространства.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД (Information Bulletin on Variable Stars) – нерегулярно публикуемый перечень сведений о переменных звёздах, издаваемый обсерваторией Конколи (г. Будапешт, Венгрия) при поддержке комиссий № 27 и № 42 Международного астрономического союза.

ИНФРАКРАСНАЯ АСТРОНОМИЯ – исследование космических объектов в диапазоне волн длиной от 2500 нм до долей миллиметра. Это «дальний» ИК-диапазон, для которого атмосфера Земли непрозрачна. Поэтому изучать его можно только с борта космических аппаратов. Инфракрасное излучение испускают холодный газ и пыль при температуре от 1000 К и ниже, вплоть до нескольких градусов над абсолютным нулём. Поэтому отличительной чертой инфракрасных телескопов является то, что сам телескоп и его детекторы должны быть охлаждены до очень низкой температуры, часто лишь на несколько градусов выше абсолютного нуля. Это достигается применением пассивного охлаждения в дьюарах с жидким гелием. Продолжительность работы инфракрасного астрономического спутника не превышает нескольких лет, поскольку жидкий гелий испаряется.

Первый полный обзор инфракрасного неба провёл «Инфракрасный астрономический спутник» (IRAS, запущен NASA 26 января 1983 г.), получивший изображения неба, по которым был составлен каталог нескольких сотен тысяч инфракрасных источников. Яркость этих источников была измерена на волнах 12, 25, 60 и 100 мкм. Хотя IRAS работал недолго, его влияние на астрономию оказалось огромным, а его архив до сих пор служит важнейшим источником данных. До IRAS инфракрасные наблюдения в основном проводили с высотных ракет. С помощью этих наблюдений были обнаружены области звёздообразования и яркие звёзды нашей Галактики. А «Каталог точечных источников IRAS» включает десятки тысяч нормальных звёзд и тысячи близких спиральных галактик.

Преемником IRAS стала «Инфракрасная космическая обсерватория» (ISO), запущенная ESA 17 ноября 1995 г. и проработавшая до апреля 1998 г., когда полностью исчерпался запас жидкого гелия. Вместо обзора всего неба этот спутник изучал отдельные источники в диапазоне от 3 до 200 мкм с более высокой чувствительностью и угловым разрешением, чем IRAS.

Ещё один охлаждаемый жидким гелием спутник – «Исследователь космического фона» (Cosmic Background Explorer, COBE, запущен 18 ноября 1989 г.), изучивший всё небо с низким угловым разрешением, но очень высокой чувствительностью и точностью. Он измерил уровень фонового излучения во всех направлениях в диапазоне волн от 2 мкм до нескольких миллиметров. COBE определил температуру микроволнового фонового излучения и подтвердил его чернотельный спектр, предсказанный космологической теорией Большого взрыва.

Технический прогресс в области космического телескопостроения проявляется в уменьшении массы телескопов, а значит, в уменьшении стоимости их запуска. Весьма перспективное направление – использование для вывода телескопов на орбиту ракет, запускаемых из стратосферы с борта самолёта. Для этой цели с начала 1990-х гг. NASA использует крылатую трёхступенчатую твердотопливную ракету «Пегас» (Pegasus) длиной около 17 м и массой около 20 т. (Иногда добавляют четвёртую ступень на гидразине.) Стартуя с высоты 12 км, ракета выводит на низкую околоземную орбиту полезный груз массой до 443 кг. Максимальный размер груза: диаметр 1,18 м, длина 2,13 м. Носителем этой ракеты служат высотный бомбардировщик B-52 «Stratofortress» NB-008 или гражданский Lockheed L-1011 «Stargazer».

С помощью «Пегаса» были запущены десятки астрономических, геофизических, коммуникационных и прочих спутников. Не все они оказались успешными. Неудачей закончился запуск космического широкоугольного инфракрасного телескопа WIRE (Wide-Field Infrared Explorer) – первого аппарата, изготовленного в рамках программы NASA «Origins», которая должна ответить на вопросы о начальных этапах эволюции галактик, звёзд и планет. 5 марта 1999 г. ракета «Пегас» стартовала с самолёта L-1011 над Тихим океаном у берегов Калифорнии и успешно вывела аппарат на расчётную орбиту. Но через несколько часов WIRE стал быстро вращаться и сильно нагрелся. Оказалось, что крышка телескопа, которая по плану полёта должна была открыться только 7 марта, в действительности оторвалась от аппарата почти сразу после выхода на орбиту. Солнечный свет сильно разогрел криостат, который за счёт испарения твёрдого водорода должен был поддерживать низкую температуру инструмента. Струя водородного пара из криостата раскрутила аппарат, затруднив управление им. Нагрев оказался столь сильным, что четырёхмесячный запас охладителя испарился всего за несколько дней. Из-за этого дальнейшее научное использование аппарата стало невозможным. Однако телескопу WIRE даже в таком состоянии нашлось неожиданное применение в области звёздной сейсмологии (см. *Астросейсмология*).

Исследование колебаний поверхности Солнца уже давно стало мощным

инструментом для изучения его внутреннего строения и выросло в отдельную науку — гелиосейсмологию. Но за пределами Солнечной системы сотрясение поверхности до недавних пор удавалось замечать лишь у необычных объектов: нейтронных звёзд, белых карликов, некоторых переменных звёзд. Однако наблюдать слабые вибрации нормальных звёзд, даже самых ярких из них, очень сложно: необходимо измерять блеск звезды с интервалом в 0,1 с в течение десятков ночей. Очень немногие приёмники на Земле обладают таким быстродействием, к тому же напряжённое расписание крупных телескопов не позволяет отдать длительное время изучению одного объекта. Но астроном из Калифорнийского университета в Беркли (США) Дерек Бузаси нашёл выход из положения: он обратился в NASA за разрешением использовать для наблюдений гид телескопа WIRE. В NASA уже привыкли к мысли о том, что миссия WIRE полностью провалена, и не стали возражать. Так Бузаси стал единоличным «хозяином» спутника стоимостью более 70 млн долларов. Конечно, искатель WIRE назвать телескопом было довольно трудно: его диаметр всего 5 см, но для исследования пульсаций ярких звёзд он подходил идеально: качественная ПЗС-матрица с великолепным быстродействием и полное отсутствие конкуренции. По длительным рядам наблюдений быстрых колебаний блеска звёзд можно установить, как распределено в них вещество, поэтому к работе калифорнийского астронома подключились его коллеги из Йельского университета, которые строили численные модели внутреннего строения нормальных звёзд, но не предполагали, что так скоро представится случай проверить их. Сравнение моделей с результатами наблюдений первой «мишени» Бузаси — звезды Дубхе (α Большой Медведицы) — оказалось весьма успешным, в частности, впервые удалось точно определить массу этой звезды: $4{,}25\,M_{\odot}$. Следующим объектом наблюдений стала звезда α Кентавра. Кроме того, искатель WIRE был использован для поиска экзопланет методом прохождений (*см. Экзопланета*).

10 мая 2011 г. спутник WIRE вошёл в плотные слои атмосферы и разрушился. А не выполненную им программу инфракрасных наблюдений выполнил спутник WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer), запущенный NASA 14 декабря 2009 г. В его конструкции уже была учтена возможность продолжать научную работу после испарения хладагента. До октября 2010 г. аппаратура WISE работала в холодном режиме, наблюдая в диапазонах 3, 5, 12 и 22 мкм, а после испарения жидкого водорода продолжала до 17 февраля 2011 г. наблюдения в тёплом режиме, используя самый коротковолновый канал. Телескоп провёл полный обзор неба, обнаружив более 33,5 тыс. новых астероидов и комет, а также звездообразные объекты нового типа — холодные коричневые карлики спектрального класса Y. В тёплом режиме он открыл астероид 2010 SO16 на подковообразной траектории вдоль орбиты Земли (период колебаний 350 лет), а также первый троянский астероид Земли — 2010 TK7. Так было доказано, что криогенные инструменты можно эффективно использовать и в тёплом режиме.

ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (в астрономии) — космическое излучение в интервале длин волн от 1 мм (1000 мкм) до 0,76 мкм. Глазом не воспринимается. Наиболее длинноволновое излучение (от 5 мкм и больше) поглощается земной атмосферой, и поэтому его наблюдение возможно только за пределами атмосферы, с борта космических аппаратов. В подавляющем большинстве случаев инфракрасное излучение — это тепловое излучение различных астрономических объектов: планет, звёзд, пылевых оболочек вокруг звёзд, газово-пылевых межзвёздных облаков в галактиках. Самым ярким источником инфракрасного излучения для нас служит Солнце. Самые далёкие и мощные источники такого в природе — это квазары и ядра галактик. Мощность их инфракрасного излучения в отдельных случаях превышает 10^{38} Вт.

ИНФРАКРАСНЫЕ ОКНА — узкие области инфракрасного диапазона, в пределах которых атмосфера Земли частично пропускает излучение из космоса. Центральные длины волн главных инфракрасных окон: 1,25; 1,65; 2,22; 3,6; 5; 10 и 21 мкм.

ИНФРАКРАСНЫЙ ДИАПАЗОН — диапазон электромагнитного излучения, расположенный на шкале электромагнитных волн между видимым и микроволновым излучением. Инфракрасный диапазон простирается по длине волны от 700 нм до 100 мкм, по частоте от $3\cdot10^{12}$ Гц до $8{,}6\cdot10^{14}$ Гц.

ИНФРАКРАСНЫЙ ТЕЛЕСКОП — телескоп-рефлектор, предназначенный для наблюдений в инфракрасном диапазоне. Бо́льшая по сравнению с оптическим диапазоном рабочая длина волны позволяет изготавливать оптику для инфракрасных телескопов с менее жёсткими допусками на точность поверхностей, что существенно снижает её стоимость. Телескоп ближнего ИК диапазона может работать на поверхности Земли или в стратосфере — на борту самолёта или аэростата. Телескоп дальнего ИК-диапазона может работать только за пределами атмосферы (желательно вдали от Земли), а его оптика и приёмная часть должны охлаждаться до криогенной температуры.

ИНФРАКРАСНЫЙ ТЕЛЕСКОП NASA (NASA Infrared Telescope Facility, NASA IRTF) — телескоп диаметром 3 м, установленный на Обсерватории Мауна-Кеа (о. Гавайи) и оптимизированный для наблюдений в инфракрасном диапазоне (от 0,8 до 25 мкм). Был создан для поддержки планетных исследований, проводившихся с борта АМС «Вояджер».

ИО (J I, Io) — естественный спутник Юпитера; один из четырёх галилеевых спутников. Автор открытия — Галилео Галилей (1610). Большая полуось орбиты 421,7 тыс. км. Орбитальный период 1,76914 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0041. Средняя орбитальная скорость 17,33 км/с. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 0,05°. Масса $8{,}93\cdot10^{22}$ кг. Диаметр 3643 км. Средняя плотность 3,528 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 1,8 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 2,56 км/с. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск $5{,}0^{m}$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2′ 18″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности 110 K; колебания от 90 K до 130 K.

ИОКАСТЕ (J XXIV, Iocaste) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2000). Большая полуось орбиты 21 269 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 631,5 сут. Эксцентриситет орбиты 0,216. Наклонение орбиты к эклиптике 147°. Диаметр около 5 км. Альбедо около 4%. Блеск $21{,}8^{m}$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2° 25′ 48″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 K.

ИОНИЗОВАННЫЙ ГАЗ, или **плазма**, — газ, полностью или частично состоящий из ионов и свободных электронов, присутствие которых обеспечивает высокую электропроводность плазмы и её сильное взаимодействие с магнитным полем. Космическое вещество в основном находится в состоянии плазмы, поскольку из неё практически целиком состоят звёзды и в значительной степени межзвёздная среда.

ИОННАЯ ТЕМПЕРАТУРА — параметр, характеризующий среднюю кинетическую энергию хаотического движения ионов в плазме. Обычно используется в случаях, когда функция распределения ионов по скоростям близка к максвелловской. В достаточно плотной плазме соударения между электронами и ионами поддерживают равенство электронной температуры (T_e) и ионной температуры (T_i). Одна-

ко в сильно разреженной высокотемпературной плазме время выравнивания температур может быть очень велико, и T_e сильно отличается от T_i. Например, в плазме солнечного ветра, согласно измерениям, температура протонов в несколько раз меньше T_e и примерно в 4 раза меньше температуры α-частиц. В аккреционных дисках ситуация может быть обратной: T_i может в десятки раз превышать T_e.

ИОНОЗОНД – установка для регистрации высокочастотных характеристик ионосферы методом импульсного зондирования, т. е. путём посылки мощного радиоимпульса и анализа возбуждённого им излучения.

ИОНОСФЕРА – внешние разреженные слои атмосферы планеты, ионизованные ультрафиолетовым и рентгеновским излучением Солнца, а также космическими лучами в основном солнечного происхождения.

ИОНОСФЕРА ЗЕМЛИ – область атмосферы Земли на высотах от 30 до 1000 км, содержащая частично ионизованную холодную плазму.

ИОНОСФЕРНЫЕ МЕРЦАНИЯ – хаотическая модуляция амплитуды радиоволны, прошедшей через ионосферу, в результате наличия в ней мелкомасштабных (не более 2–3 км) неоднородностей.

ИОНОСФЕРНЫЙ ВОЛНОВОЙ КАНАЛ – область между двумя слоями ионосферы, в которой происходит волноводное распространение радиоволн.

ИОНОСФЕРНЫЙ ДРЕЙФ – движение ионизированного компонента верхней атмосферы поперёк силовых линий геомагнитного поля под действием различных факторов.

ИРИСОВАЯ ДИАФРАГМА – диафрагма, размер которой можно плавно менять. Ирисовая диафрагма обычно содержит несколько тонких металлических полосок (лепестков), смонтированных между двумя концентрическими кольцами. Вращение колец заставляет лепестки поворачиваться к центру или от центра, изменяя таким образом степень раскрытия центрального многоугольного отверстия. Ирисовые диафрагмы широко используются в фото- и кинообъективах для изменения глубины резкости. Кроме того, их применение упрощает выбор экспозиции.

ИРИС-ФОТОМЕТР – оптический прибор, микроденситометр, предназначенный для измерения блеска звёзд на фотографических изображениях (обычно на фотопластинках) путём их просвечивания. В ирис-фотометре на фотографическое изображение звезды проецируется световое пятно, диаметр которого можно менять с помощью ирисовой диафрагмы. Прошедший сквозь фотоэмульсию поток света измеряется фотодетектором. При измерениях звёзд диаметр пятна изменяют до тех пор, пока сигнал регистрирующего светоприёмника не достигнет некоторой предустановленной величины; в этом случае диаметр пятна (пропорциональный диаметру ирисовой диафрагмы) принимают как меру блеска звезды.

ИРРАДИАЦИЯ – явление, возникающее при визуальном наблюдении объектов высокого контраста, вследствие которого глаз преувеличивает размеры ярких областей по сравнению с их действительными размерами. Причиной иррадиации является взаимное влияние колбочек или палочек сетчатки, приводящее к тому, что некоторые из светочувствительных клеток, на которые не проецируются яркие части изображения, тем не менее посылают зрительный сигнал в мозг так, как будто бы они освещены.

ИСКАТЕЛЬ – небольшой телескоп с широким полем зрения, который укрепляют на трубе основного инструмента параллельно его оптической оси. Как правило, искатель имеет небольшое увеличение, близкое к равнозрачковому, и снабжается окуляром с крестом нитей (как в оптическом прицеле). Искатель облегчает наведение основного телескопа на небесные объекты.

ИСКАТЕЛЬ НУЛЕВОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ – система для наведения (то есть прицеливания) телескопа, не увеличивающая изображение. В простейшем варианте это могут быть два диоптра с визирной линией, параллельной оси телескопа. Более сложные варианты подобных искателей, как, например, искатель Telrad, создают при помощи наклонного светоделителя изображение светящейся окружности или точки, которое при наведении наблюдатель видит на фоне неба.

ИСКАТЕЛЬ С ЕДИНИЧНЫМ УВЕЛИЧЕНИЕМ – то же, что *Искатель нулевой оптической силы*.

ИСКУССТВЕННАЯ ОПОРНАЯ ЗВЕЗДА (Artificial Guide Star или Laser Guide Star) – возбуждённое лучом лазера свечение небольшого участка верхних слоёв земной атмосферы, которое используется как опорная звезда при работе адаптивной оптической системы наземного телескопа. Как правило, для возбуждения используется лазер непрерывного действия с выходной мощностью в несколько ватт, настроенный на частоту резонансной линии натрия (например, D_2 Na). Его луч фокусируется в атмосфере на высоте около 90 км в пятнышко размером около 1 м; там присутствует естественный слой, обогащённый натрием, его свечение как раз и возбуждает лазерным лучом.

Примером реализации искусственной звезды служит система ALFA (Adaptive optics with Laser For Astronomy), разработанная в Институте внеземной физики и Институте астрономии Общества им. Макса Планка (Германия) и пущенная в опытную эксплуатацию в 1998 г. Её аргоновый лазер накачки мощностью 25 Вт возбуждает лазер на красителях выходной мощность 4,25 Вт, который и даёт излучение в линии D_2 натрия. Это устройство создает в стратосфере компактную область свечения, которая с поверхности Земли воспринимается как звезда 9^{m}–10^{m}. Правда, появление в атмосфере аэрозоля или наблюдение на больших зенитных расстояниях существенно снижают блеск и качество этой искусственной звезды.

Преимущество искусственной звезды состоит в том, что её можно создать рядом с любым небесным объектом, там, где нет реальной звезды, достаточно яркой для работы системы адаптивной оптики. Но у этого метода есть и недостатки. Искусственная звезда, возбуждённая наземным лазером, не помогает компенсировать общий (средний) наклон волнового фронта по поверхности главного зеркала телескопа, поскольку лазерный луч идёт к «звезде» тем же путём, которым её свет возвращается обратно, поэтому изображение «звезды» как целое не дрожит.

Отдельную проблему представляет мощное лазерное излучение искусственной звезды для оптических приборов и пилотов, работающих в атмосфере и космосе. Посылаемые обсерваториями лазерные лучи могут повредить глаза пилотов и оптические приборы спутников, обращающихся вокруг Земли. Чтобы обезопасить свои спутники, ВВС США ввели ограничения на моменты наблюдений, оставив учёным весьма короткие временные периоды. Для получения разрешения на использование лазера в «неурочное» время астрономам необходимо обращаться за разрешением к военным. На выдачу соответствующего документа требуется три дня. Эти правила существенно затрудняют наблюдения таких событий, как, например, вспышки сверхновых или гамма-всплески: эти явления происходят внезапно и длятся очень недолго (продолжительность гамма-всплесков составляет от нескольких миллисекунд до нескольких минут). Правила, принятые ВВС США, существенно осложняют работу астрономов и грозят сделать невозможными наблюдения многих важных краткосрочных или происходящих внезапно событий. Обращение учёных, в котором они излагают свои претензии, опубликовано на сайте Ассоциации университетов по проведению исследований в области астрономии

(Association of Universities for Research in Astronomy).

Разумеется, исследователи понимают, что луч мощного лазера способен ночью ослепить пилота самолёта и повредить светочувствительные приборы спутников, поэтому принимают меры безопасности. Например, видеокамера с полем зрения 20° следит через телескоп за областью неба вокруг искусственной звезды и при появлении любого объекта выдаёт команду на заслонку, перекрывающую лазерный луч.

ИСОНОЕ (J XXVI, Isonoe) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2000). Большая полуось орбиты 23 801 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 750 сут. Эксцентриситет орбиты 0,18. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр 4 км. Альбедо около 4%. Блеск $22{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°33′10″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ИСПАРЕНИЕ ЧЁРНОЙ ДЫРЫ – процесс, в ходе которого чёрная дыра испускает частицы и излучение. Теоретически это явление предсказал английский физик Стивен Хокинг в 1975 г. (так называемое излучение Хокинга). В природе этот процесс пока не наблюдался.

ИСТЕЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВА ИЗ ЗВЕЗДЫ – безвозвратный уход разреженного вещества из верхних слоёв звёздной атмосферы в космическое пространство. Звёзды теряют массу, по-видимому, на всех стадиях эволюции. Наблюдается истечение вещества из Солнца (солнечный ветер), из горячих звёзд (спектральных классов О и В), из красных и жёлтых гигантов и сверхгигантов, т. е. истечение происходит как из эволюционно молодых звёзд (первые два типа), так и из звёзд на поздней стадии их эволюции (красные гиганты). Более того, истечение вещества из звёзд начинается ещё до стадии главной последовательности, например, у молодых сжимающихся звёзд типа T Tau. К объектам, образовавшимся в результате интенсивной потери массы звёздами-гигантами, относятся также планетарные туманности. Всё это говорит о важной роли истечения вещества для эволюции звёзд. Разумеется, известны случаи, когда звёзды демонстрируют захват – аккрецию – вещества из окружающего пространства. Но обычно для этого требуются особые условия (например, присутствие рядом другой звезды, теряющей вещество), тогда как истечение с поверхности звезды происходит под действием её внутренних процессов и поэтому характерно для большинства звёзд.

Из наблюдений можно сделать некоторые оценки скорости потерь массы. Для Солнца она равна 10^{11}–10^{12} г/с (10^{-15}–10^{-14} $M_\odot$ в год). Поскольку полная длительность жизни Солнца составит около 10^{10} лет, истечение типа солнечного ветра уменьшает массу подобных звёзд не более чем на 0,01%, что несущественно для их эволюции. У горячих звёзд спектральных классов О и В, а также звёзд типа Вольфа–Райе и P Лебедя (P Cyg) потеря массы может доходить до 10^{-8}–10^{-5} $M_\odot$ в год. Указанием на значительную потерю массы служит существование протяжённых разреженных газовых оболочек, обнаруженных вокруг некоторых одиночных звёзд типа Вольфа–Райе. Поскольку время жизни таких звёзд, имеющих массу около 30 $M_\odot$, составляет 10^6–10^7 лет, потеря массы за это время оказывается значительной. Наиболее существенна потеря массы на поздних стадиях эволюции. Для красных гигантов и сверхгигантов она может составлять 10^{-6}–10^{-3} $M_\odot$ в год. В результате интенсивной потери массы такими звёздами пространство вокруг них заполняется газом, что может приводить к образованию планетарных туманностей. Молодые и формирующиеся звёзды также нередко демонстрируют мощное истечение вещества. Так, у звёзд типа T Tau интенсивность потери массы составляет порядка 10^{-8} $M_\odot$ в год.

Теория эволюции звёзд указывает на важность потери звездой своей массы в ходе эволюции. Действительно, масса звёзд на конечных стадиях эволюции не превышает 1,2–1,4$M_\odot$ для белых карликов и 2$M_\odot$ для нейтронных звёзд. Звёзды большей массы должны коллапсировать (катастрофически сжиматься) и превращаться в чёрные дыры, а их размеры – резко уменьшаться: радиус должен приближаться к так называемому гравитационному радиусу. Превращение нормальной звезды в нейтронную звезду или чёрную дыру сопровождается, по-видимому, легко заметным явлением типа вспышки сверхновой звезды. Однако наблюдаемая частота вспышек сверхновых не соответствует числу массивных звёзд, достигших, согласно расчётам, поздних стадий эволюции: взрывов сверхновых наблюдается в 30–300 раз меньше. Устранить такое расхождение можно, либо предположив, что превращение может проходить «беззвучно», т. е. не давать легко наблюдаемых явлений, что весьма маловероятно, либо считая, что в процессе эволюции масса звезды теряется весьма эффективно и большинство звёзд большой массы превращается не в нейтронные звёзды и чёрные дыры, а в белые карлики без взрыва. Важным свидетельством в пользу этого служит наличие белых карликов в молодых рассеянных скоплениях (Гиады), образовавшихся из звёзд с массой более 6 $M_\odot$.

Причиной потери массы звёздами на спокойной стадии эволюции являются процессы, протекающие в их оболочках. В то время как основная масса звезды типа Солнца находится в статическом равновесии, её внешняя оболочка массой не более 1%–2% от полной массы звезды находится в состоянии гидродинамического истечения. У Солнца такой истекающей оболочкой является корона, масса которой столь незначительна, что при расчёте эволюции вещество, уносимое расширяющейся короной (солнечным ветром), вообще не учитывается. У красного гиганта в стадии истечения может находиться гораздо большая часть массы. Скорость истекающего вещества монотонно растёт с удалением от звезды, так как энергия хаотического (теплового) движения вещества постепенно переходит в кинетическую энергию направленного движения.

Механизмы истечения вещества различны. У Солнца причиной истечения служит нагрев основания короны магнитогидродинамическими волнами. Указания на существование горячих истекающих корон у звёзд многих типов получены при измерении их рентгеновской светимости. Весьма существенным для характера истечения вещества является его взаимодействие с излучением. Звёздный ветер практически прозрачен для излучения, за исключением отдельных спектральных линий: в этих линиях оптическая толща (τ) ветра может приближаться к единице. За счёт излучения истекающее вещество может охлаждаться. Истечение из горячих массивных звёзд происходит главным образом из-за давления излучения в мощных спектральных линиях. При этом ускорение вещества происходит в оптически тонкой области ($\tau \ll 1$). Истечение из красных гигантов и звёзд, образующих планетарные туманности, связано с тем, что вещество в основной области течения непрозрачно для излучения (находится в равновесии с излучением, $\tau \gg 1$). При заданном тепловом потоке из звезды рост непрозрачности ведёт к увеличению перепада (градиента) температуры, следовательно, и градиента лучистого давления. А при большом градиенте давления тяготение не может уравновесить его, статическое равновесие нарушается, начинается истечение.

Из теории строения звёзд известно, что звезда может находиться в состоянии статического равновесия только в случае, когда её светимость L меньше критического значения: $L < L_{cr} = 4\pi cGM/\kappa$, где κ – непрозрачность среды. У звёзд главной последовательности к везде невелика, т. е. $L < L_{cr}$, а у красных гигантов, там, где температура в оболочке падает настолько, что появляется зона неполной ионизации водорода, непрозрачность резко возрастает. Кроме того, у красных гигантов светимость столь высока, что в их обо-

лочке выполняется условие $L > L_{cr}$. В силу этих причин и возникает гидродинамическое истечение. При этом конвекция, участвуя в переносе теплового потока, уменьшает непрозрачность и препятствует истечению, но во внешних слоях звезды её роль невелика. Чем больше масса звезды, тем меньше плотность её поверхностных слоёв и тем менее эффективна конвекция. Для звёзд с $M = 30\,M_\odot$ она не может препятствовать истечению после начала термоядерных реакций с участием гелия (на стадии красных гигантов). Для $M < 9\,M_\odot$ конвекция препятствует истечению на этой стадии и позволяет продолжить статическую эволюцию.

Как видно из выражения для L_{cr}, возможность истечения определяется не только значением κ, но и отношением L/M. Из теории следует, что для звёзд главной последовательности $L \sim M^3$ или даже $\sim M^4$ (для звёзд малой массы), поэтому с ростом массы растёт и отношение L/L_{cr}. Поэтому чем больше масса, тем меньшего увеличения непрозрачности требуется для начала истечения. Этим объясняется наличие сильного истечения вещества у горячих звёзд класса О, у которых непрозрачность определяется главным образом резонансными спектральными линиями ионов. Чем меньше масса, тем на более поздней стадии эволюции начинается гидродинамическое истечение вещества.

Присутствие пыли в оболочках красных звёзд также способствует истечению вещества, так как пыль увеличивает взаимодействие между веществом и потоком излучения. Сочетание этих двух механизмов приводит, по-видимому, к наблюдаемой потере массы красными и жёлтыми гигантами и сверхгигантами.

Происхождение звёзд типа Вольфа–Райе, которые состоят в основном из гелия, связывают с потерей водородной оболочки звездой с массой $M \geqslant 15\,M_\odot$. Масса водородной оболочки составляет примерно половину первоначальной массы звезды. Такие звёзды интенсивно теряют массу на стадии загорания гелия. Для менее массивных звёзд столь же интенсивная потеря массы может начаться на более поздних стадиях, когда начинается горение углерода и кислорода. Для звёзд с массой около $1{,}3\,M_\odot$ на поздних стадиях эволюции истечение такого типа должно происходить при образовании планетарной туманности и превращении звезды в белый карлик.

ИСТИННОЕ ПОЛЕ ЗРЕНИЯ – угловой диаметр участка небесной сферы, одномоментно видимого через телескоп. Истинное поле зрения можно вычислить, разделив поле зрения окуляра (видимое поле зрения) на увеличение телескопа.

ИСХОДНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ – изображение, полученное непосредственно с детектора, до применения каких-либо видов обработки.

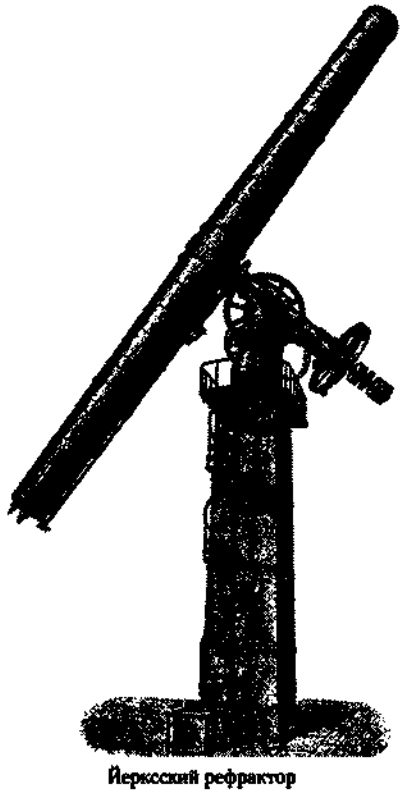
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ – данные измерений, полученные непосредственно с прибора, без коррекции известных погрешностей аппаратуры и применения любых видов обработки.

Й

ЙЕЛЬСКИЙ ЗВЁЗДНЫЙ КАТАЛОГ – то же, что *Каталог ярких звёзд*.

ЙЕРКССКИЙ РЕФРАКТОР – крупнейший в мире телескоп-рефрактор (диаметр объектива 40 дюймов, т. е. 102 см), строительство которого было закончено в 1897 г. Установлен в Йерксской обсерватории (Вильямс Бей, шт. Висконсин), чуть севернее г. Чикаго, на берегу небольшого озера Женева. Назван в честь Чарльза Йеркса (Charles T. Yerkes, 1837–1905), пожертвовавшего средства на его создание. Обсерватория и рефрактор принадлежат Чикагскому университету.

У 40-дюймового Йерксского рефрактора фокусное расстояние 19 м, при котором угол в 0,5″, соответствующий высочайшей чёткости изображений при абсолютно спокойной атмосфере, эквивалентен расстоянию 37 мкм в фокальной плоскости. Примерно такого же размера и зерно фотоэмульсии. Поэтому такой телескоп может фиксировать на фотопластинках самые чёткие изображения. Кроме того, визуально рассматривать в него крупные изображения тесных двойных звёзд и мелких деталей на поверхности планет очень удобно. Диаметр лунного диска в фокальной плоскости Йерксского рефрактора около 17 см. Размер фотопластинок у этого телескопа 20×25 см, так что полная Луна легко умещается на них.



Йерксский рефрактор

К

КАЛЕ (J XXXVII, Kale) – естественный спутник Юпитера (S/2003 J17). Автор открытия – Скотт Шеппард и др. (2001). Большая полуось орбиты 22 409 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 685,32 сут. Эксцентриситет орбиты 0,20. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 23^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°27′06″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

КАЛЕНДАРЬ – система счисления промежутков времени, по продолжительности превышающих сутки. Можно сказать, что календарь – это способ деления года на удобные периодические интервалы времени. Слово «календарь» происходит от лат. *calendae*, «календы» – название первого дня каждого месяца у древних римлян. Основой календаря служит периодическое движение небесных светил, проявляющееся в периодических явлениях природы: смене дня и ночи (сутки), смене времён года (солнечный календарь), смене фаз Луны (лунный календарь).

Основные задачи календаря: а) фиксация дат и б) измерение интервалов времени. В задачу (а), например, входит регистрация дат природных явлений, как периодических – равноденствий, затмений, приливов, – так и непериодических, таких как землетрясения, наводнения, извержения вулканов. Календарь позволяет регистрировать исторические и общественные события в их хронологической последовательности. Одна из задач календаря – определение моментов церковных событий и «дрейфующих» праздников (например, Пасхи). Функция (б) календаря используется в общественной сфере и в быту, поскольку процентные платежи, заработная плата и прочие деловые отношения основаны на определённых интервалах времени. Во многих статистических и научных исследованиях также используют календари.

Разные народы на разных исторических этапах использовали разные календари. Например, в Европе последние два тысячелетия в основном использовали

два календаря — юлианский и григорианский. *Юлианский календарь* («старый стиль») — летосчисление, введённое при Юлии Цезаре (46 г. до н. э.), состоящее из трёх годов по 365 сут («обыкновенных») и четвёртого (номер которого для н. э. делится на 4, «високосного») в 366 сут; отставание юлианского календаря от солнечного составляет 1 сутки за 128 лет. *Григорианский календарь* («новый стиль») установлен в 1582 г. папой римским Григорием XIII, передвинувшим счёт на 10 сут вперёд, чтобы учесть ошибку, накопившуюся в юлианском календаре с момента его принятия на Никейском соборе в 325 г. для правил счисления пасхалии. В григорианском календаре годы, числа которых оканчиваются на 00, стали считать високосными только в том случае, если число из первых двух цифр делится на 4: год 1600 — високосный, а год 1900 — простой, в отличие от старого стиля). Отставание григорианского календаря от истинного солнечного составляет 1 сутки за 3280 лет.

Во всех без исключения календарях используются единицы счёта времени, основанные на периодических движениях астрономических объектов. Вращение Земли вокруг своей оси определяет длительность суток, обращение Луны вокруг Земли даёт продолжительность лунного месяца, а обращение Земли вокруг Солнца задаёт солнечный год. Познакомимся с этими единицами времени ближе.

Солнечные сутки. Видимое движение Солнца по небу задаёт истинные солнечные сутки как интервал между двумя последовательными прохождениями Солнца через меридиан в нижней кульминации. Если бы это движение отражало только вращение Земли вокруг своей оси, то оно происходило бы очень равномерно. Но оно связано также с неравномерным движением Земли вокруг Солнца и с наклоном земной оси, поэтому истинные солнечные сутки переменны. Для измерения времени в быту и в науке используется математически вычисленное положение «среднего солнца» и, соответственно, средние солнечные сутки, которые имеют постоянную длину. В большинстве стран начало суток приходится на 0 часов, т. е. на полночь. Но это не всегда было так: в библейские времена, в Древней Греции и Иудее, а также в некоторые другие эпохи начало дня приходилось на вечернее время. У римлян в различные периоды их истории начало дня приходилось на разное время суток.

Лунный месяц. Первоначально продолжительность месяца определялась периодом обращения Луны вокруг Земли, а точнее — синодическим лунным периодом, равным промежутку времени между двумя последовательными наступлениями одинаковых фаз Луны, например новолуний или полнолуний. Средний синодический лунный месяц (так называемая лунация) длится 29 сут 12 час 44 мин 2,8 с. В библейские времена лунацию считали равной 30 сут, но римляне, греки и некоторые другие народы приняли как стандарт измеренную астрономами величину 29,5 сут. Лунный месяц — удобная в общественной жизни единица времени, поскольку она длиннее суток, но короче года. В древности Луна привлекала всеобщий интерес как инструмент для измерения времени, ибо весьма несложно наблюдать выразительную смену её фаз. Кроме этого, лунный месяц был связан с различными религиозными потребностями и поэтому играл важную роль при составлении календаря.

Год. В обыденной жизни, в том числе и при составлении календаря, под словом «год» понимают тропический год («год сезонов»), равный интервалу времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия. Сейчас его продолжительность составляет 365 сут 5 час 48 мин 45,6 с, причём каждые 100 лет она уменьшается на 0.5 с. Ещё древние цивилизации использовали этот сезонный год; по записям египтян, китайцев и других древних народов видно, что длина года вначале принималась равной 360 сут. Но уже довольно рано длину тропического года уточнили до 365 сут. Позже египтяне приняли его длину равной 365,25 сут, а великий астроном древности Гиппарх уменьшил эту четверть суток ещё на несколько минут. Гражданский год не всегда начинался с 1 января. Многие древние народы (как и некоторые современные) начинали год с момента весеннего равноденствия, а в Древнем Египте год начинался в день осеннего равноденствия.

Существует три основных типа календарей: 1) лунный, 2) солнечный и 3) лунно-солнечный.

Лунный календарь основан на продолжительности синодического, или лунного месяца (29,53059 сут), определяемого периодом смены лунных фаз; при этом не принимают во внимание продолжительность солнечного года. Примером лунного календаря служит мусульманский календарь. Большинство народов, использующих лунный календарь, считает месяцы поочередно состоящими из 29 или 30 сут, поэтому средняя длина месяца равна 29,5 сут. Длина лунного года в таком календаре составляет $12 \times 9{,}5 = 354$ сут. Истинный лунный год, состоящий из 12 синодических месяцев, содержит 354,3671 сут; Календарь не учитывает эту дробную часть; таким образом за 30 лет набирается расхождение в 11,012 сут. Добавление этих 11 сут каждые 30 лет восстанавливает соответствие календаря лунным фазам. Основной недостаток лунного календаря в том, что его год короче солнечного года на 11 сут, поэтому начало определённых сезонов по лунному календарю приходится год от года на всё более поздние даты, что вызывает определённые трудности в общественной жизни.

Солнечный календарь согласован с длиной солнечного года; начало и продолжительность календарных месяцев в нём не связаны со сменой лунных фаз. Солнечные календари были у древних египтян и народа майя; в наше время большинство стран также пользуется солнечным календарём. Истинный солнечный год содержит 365,2422 сут, но гражданский календарь, чтобы быть удобным, должен содержать целое число суток, поэтому в солнечном календаре обычный год содержит 365 сут, а учёт дробной части суток (0,2422) происходит раз в несколько лет путём добавления одного дня к так называемому високосному году. Солнечный календарь обычно ориентируется на четыре основные даты — два равноденствия и два солнцестояния. Точность календаря определяется по тому, насколько точно равноденствие приходится на один и тот же день каждого года.

Лунно-солнечный календарь — это попытка согласовать продолжительность лунного месяца и тропического года путём периодических подгонок. Лунный месяц длиной в 29,5 сут представляется поочередно как 29 или 30 сут, тогда 12 таких месяцев дают 354 сут. Чтобы среднее количество дней в году соответствовало солнечному году, каждые два или три года добавляют тринадцатый лунный месяц. Это требуется для того, чтобы сельскохозяйственные сезоны каждый год приходились на одни и те же даты календаря. Пример лунно-солнечного календаря даёт еврейский календарь, официально принятый в Израиле.

Среди наиболее известных календарей, предшествовавших современному григорианскому, следующие.

Греческий календарь. В древнегреческом календаре обычный год состоял из 354 сут. Но поскольку ему не хватало 11,25 сут для согласования с солнечным годом, каждые 8 лет к году добавляли 90 сут ($11{,}25 \times 8$), разделённые на три одинаковых месяца; этот 8-годичный цикл назывался октаэтеридой. После примерно 432 г. до н. э. греческий календарь основывался на цикле Метона, а затем на цикле Каллиппа (*см. Цикл, календарный*).

Римский календарь. Согласно древним историкам, вначале (около VIII в. до н. э.) латинский календарь состоял из 10 месяцев и содержал 304 сут: пять месяцев по 31 сут в каждом, четыре месяца по 30 и один месяц с 29 сут. Год начинался 1 марта, отсюда сохранились названия некоторых месяцев — сентябрь («седьмой»), октябрь («восьмой»), ноябрь («девятый») и декабрь («десятый»). Новые сутки начинались в полночь.

Календы, иды и ноны: эти слова римляне использовали только во множествен-

ном числе, называя так особые дни месяцев. Календами называли первый день каждого месяца. Иды были 15-м днём марта, мая, июля (квинтилиса), октября и 13-м днём остальных (коротких) месяцев. При современных расчётах нонами называют 8-й день перед идами. Но римляне учитывали сами иды, поэтому ноны у них были 9-м днём (название от *nonus* – девятый). Мартовскими идами было 15 марта или, менее определённо, какой-либо из семи предшествующих дней: с 8 до 15 марта включительно. Ноны марта, мая, июля и октября приходились на 7-й день месяца, а в прочие, короткие месяцы – на 5-й день. Дни месяца отсчитывались назад: в первую половину месяца говорили, что столько-то дней осталось до нон или ид, а во вторую половину – до календ следующего месяца.

Римский календарь претерпел немалые изменения. Перед 700 г. до н. э. император Нума Помпилий добавил два месяца – январь и февраль. Календарь Нумы содержал 7 месяцев по 29 сут, 4 месяца по 31 сут и февраль с 28 сут, что составляло 355 сут. Около 451 до н. э. группа из 10 высших римских чиновников (децемвиров) привела последовательность месяцев к нынешнему виду, перенеся начало года с 1 марта на 1 января. Позже была учреждена коллегия понтификов, которая провела реформу календаря.

Юлианский календарь. К 46 до н. э., когда верховным понтификом стал Юлий Цезарь, календарные даты явно расходились с природными сезонными явлениями. Поступало столько жалоб, что возникла необходимость радикальной реформы. Чтобы восстановить прежнюю связь календаря с сезонами, Цезарь по совету александрийского астронома Созигена продлил 46-й год до н. э., добавив месяц из 23 сут после февраля и два месяца из 34 и 33 сут между ноябрём и декабрём. Таким образом, в том году было 445 сут, поэтому его прозвали «годом путаницы». Затем Цезарь закрепил длительность обычного года в 365 сут с введением раз в четыре года одного добавочного дня после 24 февраля. Это позволило приблизить среднюю продолжительность года (365,25 сут) к предполагаемой длительности тропического года. Цезарь умышленно отказался от лунного года и выбрал солнечный год, поскольку при этом все вставки, кроме високосного года, стали ненужными. Таким образом Цезарь установил продолжительность года в точности равной 365 сут и 6 час; с тех пор повсеместно использовалось именно это значение: после трёх обычных лет следовал один високосный год. Цезарь изменил длину месяцев, положив в обычном году февраль из 29 сут, а високосном – из 30. Этот юлианский календарь, который сейчас часто называют «старым стилем», был введён 1 января 45 г. до н. э. Тогда же месяц квинтилис был переименован в июль в честь Юлия Цезаря, а весеннее равноденствие было сдвинуто к своей исходной дате 25 марта.

Августианский календарь. После смерти Цезаря понтифики, видимо, неправильно поняв инструкцию о високосных годах, в течение 36 лет добавляли високосный год не раз в четыре, а раз в три года. Первый римский император Октавиан Август исправил эту ошибку, пропустив три високосных года в период с 8 г. до н. э. до 8 г. н. э. Начиная с этого момента, високосными считались только годы с номером, кратным 4. В честь императора месяц секстилис был переименован в август. Кроме того, количество дней в этом месяце было увеличено с 30 до 31. Эти сутки были взяты из февраля. Сентябрь и ноябрь были сокращены с 31 до 30 сут, а октябрь и декабрь увеличены с 30 до 31 сут, что сохраняло количество суток в календаре. Так сложилась современная система месяцев. Некоторые авторы считают не Августа, а всё же Юлия Цезаря основателем современного календаря.

Возможные реформы календаря

Хотя григорианский календарь очень точен и вполне согласуется с природными явлениями, его современная структура не вполне соответствует потребностям общественной жизни. Уже давно ведутся разговоры об усовершенствовании календаря и даже возникают различные ассоциации по проведению такой реформы.

Недостатки григорианского календаря. Этот календарь имеет около дюжины больших и малых дефектов. Главным среди них является переменность количества дней и недель в месяцах, кварталах и полугодиях. Например, кварталы содержат 90, 91 или 92 дня. Существуют четыре основные проблемы.

1. Теоретически гражданский (календарный) год должен иметь ту же продолжительность, что и астрономический (тропический) год. Но это невозможно, поскольку тропический год не содержит целого числа суток. Из-за необходимости время от времени добавлять в год дополнительные сутки существует два типа годов – обычный и високосный. Поскольку год может начинаться с любого дня недели, это даёт 7 типов обычных и 7 типов високосных лет, т. е. всего 14 типов лет. Но их взаимное расположение не повторяется циклически каждые 14 лет; для полного воспроизведения нужно ждать 28 лет.

2. Продолжительность месяцев различна: они могут содержать 28, 29, 30 или 31 дня, и эта неравномерность приводит к определённым трудностям в экономических расчётах и статистике.

3. Ни обычный, ни високосный год не содержат целого числа недель. Полугодия, кварталы и месяцы (исключая февраль) состоят из нецелого количества недель.

4. От недели к неделе, от месяца к месяцу и даже от года к году изменяется соответствие дат и дней недели, поэтому трудно устанавливать моменты различных событий. Например, Новый год всегда приходится на 1 января, но на разные дни недели.

Существует множество предложений по реформе календаря, из которых три, перечисленные ниже, обсуждаются чаще других.

Международный фиксированный календарь (International Fixed Calendar). Это улучшенная версия 13-месячного календаря, предложенного в 1849 г. французским философом, основоположником позитивизма Огюстом Контом (1798–1857). Разработал её английский статистик М. Б. Котсворт (1859–1943), основавший в 1942 г. Лигу фиксированного календаря (Internal Fixed Calendar League). Этот календарь содержит 13 месяцев по 28 суток в каждом; все месяцы одинаковы и начинаются с воскресенья. Оставив первым шести и последним шести месяцам их привычные имена, Котсворт вставил между ними 7-й месяц Sol. Один лишний день ($365 - 13 \times 28$), названный Днём года, следует после 28 декабря. Если год високосный, то вставляют ещё Високосный день после 28 июня. В течение этих двух «уравновешивающих» суток счёт дней недели пропускается.

Котсворт предлагал упразднить названия месяцев и использовать для их обозначения римские цифры. Месяц VII, или Sol, должен начинаться в день, который мы считаем 18 июня. Как видим, 13-месячный календарь весьма равномерен и лёгок в употреблении: год легко делится на месяцы и недели, и месяц делится на недели. Если бы в экономической статистике вместо полугодий и кварталов использовался месяц, то такой календарь имел бы успех. Но 13 мес. трудно поделить на полугодия и кварталы. Правда, если не брать в расчёт День года и Високосный день, то получаются равные кварталы продолжительностью в 91 сут; это несколько смягчает трудности. Но основной проблемой остаётся разительное отличие этого календаря от ныне действующего. Для его введения потребуются большие усилия, чтобы получить согласие влиятельных групп, приверженных традиции.

Всемирный календарь (World Calendar). Этот календарь содержит 12 месяцев, и в его нынешней форме он усиленно пропагандировался многими сторонниками, особенно госпожой Э. Ахелис. Она утверждала, что этот календарь постепенно развивался, начиная со Швейцарии, в результате программы, предпринятой по решению Международного коммерческого конгресса 1914 г. В 1930 г. она организовала Ассоциацию всемирного календаря и в 1931 г. начала издавать «Журнал реформы календаря» (Journal of

Calendar Reform). Основной единицей в нём служит квартал года. Начало года приходится на воскресенье 1 января, и первые три месяца содержат 31, 30 и 30 сут соответственно. Каждый следующий квартал такой же, как первый. Названия месяцев сохраняются нынешними. День високосного года (июнь W) вставляется после 30 июня, а День окончания года — после 30 декабря. (Предлагались и другие названия для этих дней, например День мира.) Противники Всемирного календаря считают его недостатками то, что каждый месяц состоит из нецелого числа недель, а каждый месяц любого квартала начинается с произвольного дня недели. Защитники же этого календаря считают его преимуществом подобие ныне действующему календарю.

Вечный календарь. Иной вариант реформы календаря, названный Вечным календарем (Perpetual Calendar), предлагает У. Е. Эдвардс из Гонолулу (Гавайи). Несколько раз в Палату представителей США вносился даже законопроект об официальном переходе на этот календарь. Подобно Всемирному календарю, календарь Эдвардса разбит на четыре 3-месячных квартала. Год начинается в понедельник 1 января. Первые два месяца каждого квартала содержат по 30 дней, а последний месяц — 31. Неделя начинается с понедельника, и с него же начинается каждый квартал («квартальный день» — 1 января, апреля, июля и октября), что весьма выгодно для бизнеса. Другой приятной особенностью календаря является то, что пятница в нём никогда не попадает на 13-е число. Между 31 декабря и 1 января стоит праздник — День нового года, а раз в 4 года между 31 июня и 1 июля появляется День високосного года. Трёхдневный праздник сопровождает Рождество и Новый год.

КАЛЕНДАРЬ МАЙЯ И АЦТЕКОВ — календарь древних (коренных) народов Центральной Америки. Древняя цивилизация племени майя обладала весьма высоким искусством счёта времени. Их календарь содержал 365 сут и состоял из 18 месяцев по 20 сут (каждый месяц и каждый его день имели своё название) плюс 5 добавочных суток, не относящихся ни к одному месяцу. Календарь состоял из 28 недель по 13 пронумерованных дней в каждой, что составляло всего 364 сут; одни сутки оставались лишними. Почти таким же календарем пользовались и соседи майя — ацтеки.

КАЛЕНДАРЬ ГРИГОРИАНСКИЙ — современный солнечный календарь («новый стиль»), который начал вводиться с 1582 г. в результате реформы календаря юлианского («старый стиль»), произведённой на основе буллы папы римского Григория XIII (отсюда и название).

Необходимость реформы была вызвана тем, что юлианский год продолжительностью 365 сут 6 ч длиннее истинного солнечного на 11 мин 14 с, поэтому наступление сезонных явлений по юлианскому календарю приходилось на всё более ранние даты. Особенно сильное недовольство вызывало постоянное смещение даты Пасхи, связанной с весенним равноденствием. В 325 г. н. э. Никейский собор издал декрет о единой дате Пасхи для всей христианской церкви. В последующие столетия было внесено много предложений по усовершенствованию календаря. Наконец, предложения неаполитанского астронома и врача Алоизия Лилия (Луиджи Лилио Джиральди) и баварского иезуита Кристофера Клавия были одобрены папой Григорием XIII. 24 февраля 1582 г. он издал буллу, вводящую два важных дополнения в юлианский календарь: из календаря 1582 г. изымалось 10 суток — после 4 октября следовало 15 октября. Это позволяло сохранить 21 марта как дату весеннего равноденствия, каковой она была, вероятно, в 325 г. н. э. Кроме того, впредь из каждых четырёх вековых лет три следовало считать обычными и только те, которые делятся на 400, считать високосными. Дни недели в обоих календарях совпадают.

Таким образом, различие между старым и новым стилем состоит в том, что в григорианском календаре из числа високосных исключены те вековые годы (т. е. годы с двумя нулями на конце), число сотен в которых не делится на 4 (например, 1800, 1900, 2100 гг.). Средняя продолжительность года при этом всего на 26,8 с больше года тропического, что приводит к ошибке в одни сутки лишь за 3224 лет, тогда как в юлианском календаре ошибка в 1 сутки накапливается за 128 лет. Для устранения ошибки, накопившейся в юлианском календаре, при переходе к григорианскому календарю пропускалось 10 суток в XVI–XVII вв., 11 — в XVIII в., 12 — в XIX в. и 13 — в XX–XXI вв.

Первым годом григорианского календаря, т. е. «нового стиля», стал 1582 г. Однако далеко не все страны перешли на новый стиль одновременно. Франция перешла на новый стиль в том же году. Некоторые другие католические страны приняли его в 1583 г. Прочие страны переходили на новый стиль в разные годы: протестантские — в XVII–XVIII вв., Япония — в XIX в., Китай, Болгария, Греция, Турция и др. — в XX в.; Россия — в 1918 г. Например, Великобритания приняла григорианский календарь с 1752 г.; к 1700 г. високосному году по юлианскому календарю различие между ним и григорианским календарем составляло уже 11 сут, поэтому в Великобритании после 2 сентября 1752 г. наступило 14 сентября. В том же году в Англии начало года было перенесено на 1 января (до этого новый год начинался со дня Благовещения — 25 марта).

Ретроспективное исправление дат стало причиной большой путаницы на многие годы, поскольку Григорий XIII распорядился внести поправки во все прошлые даты, вплоть до Никейского собора. Григорианский календарь используется сегодня во многих странах, включая Россию, которая отказалась от восточного (юлианского) календаря вскоре после Октябрьской (в действительности — ноябрьской) большевистской революции 1917 г.: после 31 января 1918 г. сразу наступило 14 февраля.

К сожалению, григорианский календарь тоже не абсолютно точен: он на 26,8 с длиннее тропического года. Разница достигает одних суток за 3224 года. Для их компенсации вместо исключения трёх високосных лет из каждых 400 нужно было бы исключать один високосный год из каждых 128 лет; это поправило бы календарь настолько, что лишь за 432 тысячи лет разница между календарным и тропическим годами достигла бы 1 суток. Но с практической точки зрения такую высокую точность можно считать избыточной.

КАЛЕНДАРЬ ЕВРЕЙСКИЙ — типичный лунно-солнечный календарь, имеющий очень древнее происхождение. Его месяцы содержат попеременно 29 и 30 сут, а раз в 3 года добавляют 13-й месяц Веадар; его вставляют перед месяцем Нисан каждый 3-й, 6-й, 8-й, 11-й, 14-й, 17-й и 19-й год 19-летнего цикла. Нисан — первый месяц еврейского календаря, хотя отсчёт годов ведётся от седьмого месяца Тишри. Вставка Веадара приводит к тому, что весеннее равноденствие всегда приходится на лунацию в месяце Нисан. Если в григорианском календаре два вида годов — обычный и високосный, то в еврейском тоже два — обычный (12-месячный) год и эмболисмический (13-месячный). В эмболисмическом году 30 сут, вставленных перед Нисаном, состоят из 1 сут, добавленных к шестому месяцу Адару (который обычно содержит 29 сут), и 29 сут Веадара. На самом деле еврейский лунно-солнечный календарь ещё сложнее, чем описано здесь. Хотя он и годится для исчисления времени, но из-за использования лунного месяца его нельзя считать эффективным и современным.

КАЛЕНДАРЬ ЕГИПЕТСКИЙ — солнечный календарь древних египтян. Ранний египетский календарь был лунным, о чём свидетельствует иероглиф «месяц» в виде лунного серпа. Позже жизнь египтян оказалась тесно связана с ежегодными разливами Нила, которые и стали для них точками отсчёта времени, стимулируя создание солнечного календаря. Этот календарь был введён в 4236 г. до н. э., и эта

дата считается самой древней. Солнечный год содержал 12 месяцев по 30 сут, а по окончании последнего месяца шло ещё 5 дополнительных суток (эпагомены), что в сумме давало 365 сут. Поскольку календарный год был на $^1/_4$ сут короче солнечного, со временем он всё больше и больше расходился с сезонами. Наблюдая гелиакические восходы Сириуса (первое появление звезды в лучах утренней зари после её невидимости в период соединения с Солнцем), египтяне определили, что 1461 египетский год по 365 сут равен 1460 солнечным годам по 365,25 сут. Этот интервал известен как период Сотис.

Длительное время жрецы препятствовали любому изменению календаря. Наконец в 238 г. до н. э. царь Птолемей III издал декрет о добавлении одного дня к каждому четвёртому году, т. е. ввёл подобие високосного года. Так родился современный солнечный календарь. День у египтян начинался с восходом Солнца, их неделя состояла из 10 сут, а месяц – из трёх недель.

КАЛЕНДАРЬ КИТАЙСКИЙ – календарь, действовавший в Китае более двух тысячелетий, вплоть до начала XX в. Доисторический китайский календарь был лунным. Около 2357 г. до н. э. император Яо, недовольный существующим лунным календарем, повелел своим астрономам определить даты равноденствий и с помощью вставных месяцев создать сезонный календарь, удобный для сельского хозяйства. Чтобы согласовать 354-суточный лунный календарь с 365-суточным астрономическим годом, каждые 19 лет добавляли 7 вставных месяцев, следуя подробной инструкции. Хотя солнечный и лунный годы в целом были согласованы, лунно-солнечные различия оставались; их исправляли по достижении ими заметной величины. Тем не менее календарь все ещё был несовершенен: годы имели неодинаковую продолжительность, а равноденствия приходились на разные даты. В китайском календаре год состоял из 24 полумесяцев. Китайский календарь имеет 60-летний цикл, началом которого считается 2637 г. до н. э. (по другим данным – 2397 г. до н. э.) с несколькими внутренними периодами, причём каждый год имеет связанное с мифологией название в честь одного из 12 животных (Крысы, Быка, Тигра, Кролика, Дракона, Змеи, Лошади, Овцы, Обезьяны, Петуха, Собаки, Кабана), которые повторяются с периодом в 12 лет. Например, 2012 г. был «годом Дракона», и 2024 г. тоже будет «годом Дракона».

После западного проникновения в Китай в XIX в. в коммерции стали использовать григорианский календарь, а в 1911 г. он официально был принят в новой Китайской республике. Крестьяне ещё продолжали пользоваться древним лунным календарём, но с 1930 г. он был запрещён.

КАЛЕНДАРЬ ЛУННЫЙ – система счисления длительных промежутков времени, основой которой служит смена фаз Луны, связанная с её месячным оборотом вокруг Земли. В лунном календаре содержится 12 месяцев по 30 или 29 дней (попеременно). Год в лунном календаре содержит 354 или 355 дней. Чтобы год лунного календаря по средней продолжительности соответствовал тропическому году, используется лунно-солнечный календарь (таков, например, еврейский календарь, официально принятый в Израиле), в котором каждые 2 или 3 года добавляют тринадцатый лунный месяц.

КАЛЕНДАРЬ МУСУЛЬМАНСКИЙ – ныне действующий календарь многих мусульманских стран. До Мухаммеда, умершего в 632 г., у арабов был лунно-солнечный календарь со вставными месяцами, похожий на еврейский. Считается, что ошибки старого календаря заставили Мухаммеда отказаться от дополнительных месяцев и ввести лунный календарь, первым годом которого стал 622 г. В нем за единицу отсчёта приняты сутки и синодический лунный месяц, а сезоны вообще не принимаются во внимание. Лунный месяц считается равным 29,5 сут, а год состоит из 12 месяцев, содержащих попеременно 29 или 30 сут. В 30-летнем цикле последний месяц года в течение 19 лет содержит 29 сут, а остальные 11 лет – 30 сут. Средняя продолжительность года в таком календаре 354,37 сут.

Мусульманский календарь широко распространён на Ближнем и Среднем Востоке, хотя Турция в 1925 г. отказалась от него в пользу григорианского календаря.

КАЛЕНДАРЬ ЮЛИАНСКИЙ – древнеримский солнечный календарь, предшественник современного григорианского календаря. Введён с 1 января 45 г. до н. э. в результате реформы, осуществлённой в 46 г. до н. э. Юлием Цезарем (отсюда и название). Средняя продолжительность года 365 $^1/_4$ сут, что на 11 мин 14 с больше года тропического. В юлианском календаре три года подряд считались по 365 дней, а четвёртый, високосный, содержал 366 дней. Високосными считались все годы, порядковые номера которых делятся на 4, например 1996, 2000, 2004, 2008, 2012 гг. См. также *Календарь*.

КАЛИБАН (U XVI, Caliban) – естественный спутник Урана. Его открыли Фил Николсон и его коллеги (Глэдман, Кавелаарс и др.) 6 сентября 1997 г. с помощью 5-метрового телескопа «Хейл» Паломарской обсерватории. Большая полуось орбиты 7231 тыс. км. Орбитальный период 579,73 сут. Эксцентриситет орбиты 0,1812. Наклонение орбиты к эклиптике 140°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Диаметр около 72 км. Масса около $2{,}5 \cdot 10^{17}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Период вращения 2.7 часа. Видимый блеск $22{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 10′ 35″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

КАЛИБРОВКА – настройка прибора путём измерения объекта с известными параметрами. При калибровке производится подстройка прибора для получения правильных результатов или составляется таблица поправок для корректировки полученных исходных данных.

КАЛИБРОВОЧНАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ – фотографирование набора источников различной поверхностной яркости с известными относительными интенсивностями (например, ступенчатого ослабителя), используемая для получения характеристической кривой фотографической эмульсии или иного детектора изображения.

КАЛИКЕ (J XXIII, Kalyke) – естественный спутник Юпитера. Авторы открытия – Скотт Шеппард и др. (2000). Большая полуось орбиты 23 566 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 742,03 сут, Эксцентриситет орбиты 0,247. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 5 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 21{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°09′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

КАЛИПСО (S XIV, Calypso) – естественный спутник Сатурна. Открыт 13 марта 1980 г. по наземным снимкам группой астрономов: Д. Паску, П. К. Сейделманн, У. А. Баум и Д. Кюрье. Большая полуось орбиты 294 619 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты), Орбитальный период 1,887802 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00. Наклонение орбиты к экватору планеты 1,56°. Размеры 30,2×23×14 км. Геометрическое альбедо 1,34. Блеск $18{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 48″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

Маленькие спутники Калипсо и Телесто движутся практически по орбите крупного спутника Тефии, являясь «троянцами» в системе Сатурн–Тефия. Калипсо располагается в точке Лагранжа L_5, двигаясь по орбите на 60° впереди Тефии, а Телесто отстает от Тефии на 60°, занимая точку Лагранжа L_4.

КАЛЛИРОЕ (J XVII, Callirrhoe) — естественный спутник Юпитера. Авторы открытия — Скотти и др., «Spacewatch» (1999). Большая полуось орбиты 23 103 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 758,77 сут. Эксцентриситет орбиты 0,283. Наклонение орбиты к эклиптике 147°. Диаметр около 9 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 20{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°39′37″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

КАЛЛИСТО (J IV, Callisto) — естественный спутник Юпитера; один из четырёх галилеевых спутников. Автор открытия — Галилео Галилей, 1610 г. Большая полуось орбиты 1882,7 тыс. км. Орбитальный период 16,689018 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0074. Средняя орбитальная скорость 8,2 км/с. Наклонение орбиты к местной плоскости Лапласа 0,192°. Масса $1{,}076 \cdot 10^{23}$ кг. Диаметр 4821 км. Средняя плотность 1,834 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 1,24 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 2,44 км/с. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск $5{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 10′18″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности 134 К; колебания от 80 до 165 К.

КАЛЛИХОРЕ (J XLIV, Kallichore) — естественный спутник Юпитера. Авторы открытия — Скотт Шеппард и др. (2003). Большая полуось орбиты 23 112 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 718 сут. Эксцентриситет орбиты 0,204. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 23{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°32′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

КАМЕРА — устройство для получения изображений. Обычно так называют устройства, используемые как в фотографии, так и в электронных изображающих системах с ПЗС-детекторами, телевизионными трубками и т. п. Базовыми элементами камеры служат объектив, положение которого можно менять для фокусировки, затвор, обеспечивающий набор экспозиций, и светоприёмник. Большинство камер оснащается экспонометрами, видоискателями, а также переменной диафрагмой для изменения относительного фокуса объектива. Часто камеры имеют сменные объективы или объективы с переменным фокусным расстоянием, что позволяет изменять масштаб получаемого изображения. Большинство современных камер имеет систему автоматической фокусировки и выбора экспозиции, но эти системы могут не работать корректно при использовании камеры на телескопе. Для астрономического применения лучше всего подходят простые камеры.

КАМЕРА БЕЙКЕРА—ШМИДТА (или система Бэкера) — вариант камеры Шмидта с дополнительным выпуклым вторичным зеркалом, дающим плоскую фокальную поверхность вблизи нижнего конца трубы.

КАМЕРА ВИЛЬСОНА — детектор высокоэнергичных заряженных частиц, например вторичных космических лучей. Представляет собой объём, заполненный пересыщенными парами какой-либо жидкости. Прохождение частицы через объём камеры приводит к образованию вдоль её траектории цепочки ионов, которые служат центрами конденсации маленьких капель, отмечающих путь («трек») частицы, который некоторое время можно непосредственно наблюдать и фотографировать.

КАМЕРА ШМИДТА — светосильная камера, используемая как для получения прямых снимков астрономических объектов, так и в качестве камеры во многих спектрографах. Эту оптическую систему предложил Бернгард Шмидт в 1930 г. Камера может иметь значительное относительное отверстие (до 1:1) и достаточно большое поле резких изображений (6° и более) для получения астрономических изображений. В камере Шмидта входная апертура расположена в центре кривизны главного сферического зеркала, что делает наклонные пучки равноправными и исключает внеосевые аберрации. Для компенсации сферической аберрации главного зеркала во входной апертуре камеры помещен тонкий линзовый корректор (пластина Шмидта), профиль сечения которого описывается кривой четвёртого порядка. Поскольку толщина пластины обычно невелика, а отличие её формы от плоскопараллельной незначительно (десятки микрометров), корректор не вносит в систему заметной хроматической аберрации. Единственной неисправленной аберрацией в камере Шмидта остаётся кривизна поля. В светосильных камерах Шмидта фотографическую пластинку изгибают для наилучшего соответствия искривлённой фокальной поверхности; в системах меньшей светосилы для исправления кривизны поля используется полеспрямляющая плоско-выпуклая линза Пиацци—Смита. Поскольку фокус камеры Шмидта находится внутри системы, её невозможно использовать для визуальных наблюдений.

КАМЕРА ШМИДТА «ОШИН» — 48-дюймовая фотографическая камера (телескоп-астрограф) системы Шмидта. Располагается на обсерватории Маунт Паломар в Калифорнии. Сооружена в период 1939–1948 гг. Камера имеет коррекционную пластину Шмидта диаметром 49,75 дюйма (126 см) и сферическое зеркало диаметром 72 дюйма (183 см). Относительный фокус $f/2{,}5$. Первые десятилетия съёмка неба велась на 10- и 14-дюймовые стеклянные фотопластинки. В конце XX в. их заменили ПЗС-камерой, содержащей мозаику из 112 матриц, покрывающих поле зрения 4×4°. Первоначально управление осуществлялось с помощью 10-дюймового телескопа-гида, укреплённого параллельно камере. Сейчас камера полностью автоматизирована и управляется из Калифорнийского технологического института в Пасадене. Присутствие человека необходимо только для того, чтобы открыть и закрыть башню. Официальное название камеры — Samuel Oschin telescope, неофициальное — «48-дюймовый паломарский шмидт». Осуществив *«Паломарский обзор неба»* (см.), эта камера внесла огромный вклад в развитие внегалактической астрономии и в изучение Галактики. В последнее время с её помощью открыто множество малых тел Солнечной системы, спутников планет и планет-карликов.

КАМП, Питер ван де (Piet van de Kamp, в США был известен как Peter van de Kamp) (26.12.1901, Кампен, Нидерланды, — 18.05.1995, Амстердам) — американский астроном голландского происхождения. Занимался астрометрическими измерениями, определял параллаксы звёзд. Исследуя периодические отклонения в движении близкой к нам звезды Барнарда, в начале 1960-х гг. указал на присутствие рядом с ней одного или двух спутников с массами порядка массы Юпитера. Сообщение вызвало большой общественный интерес, но открытие не подтвердилось.

КАНАДСКИЙ БАЛЬЗАМ — клейкая прозрачная жидкость, получаемая путём переработки смолы канадского кедра. Используется для склеивания оптических деталей.

КАНАДО-ФРАНКО-ГАВАЙСКИЙ ТЕЛЕСКОП (Canada-France-Hawaii Telescope, CFHT) — телескоп-рефлектор системы Кассегрена диаметром 3,6 м, установленный в 1979 г. на вершине Мауна Кеа (о. Гавайи). Используется для наблюдений в оптическом и инфракрасном диапазонах. На нём выполнен ряд пионерских работ по улучшению качества астрономических изображений.

КАНОПУС — α Киля, звезда −0,72 визуальной звёздной величины (вторая по яркости звезда на небе), удалённая от Солн-

ца на 330 св. лет. Важнейшая навигационная звезда: имея чрезвычайно высокий блеск, Канопус лежит всего в 15° от полюса эклиптики, поэтому его наравне с Солнцем используют в системах ориентации космических аппаратов.

КАПЕЛЛА – α Возничего, звезда 0,08 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 42 св. года. Для наблюдателей Северного полушария, живущих выше 44° широты, Капелла является незаходящей звездой, т. е. видна каждую ясную ночь.

КАПЛАН, Самуил Аронович (10.10.1921, Рославль Смоленской обл., СССР, – 12.06.1978, Бологое) российский астрофизик, один из пионеров плазменной астрофизики. Окончил Ленинградский педагогический институт им. А. И. Герцена (1945), аспирантуру при Ленинградском университете (1948), зав. отделом астрофизики в обсерватории Львовского университета и профессор теоретической физики (1948–1961), с 1961 г. работал в Научно-исследовательском радиофизическом институте в г. Горьком (Нижний Новгород). Профессор Горьковского университета. Создал релятивистскую теорию строения и теорию охлаждения белых карликов (теория Каплана–Местела), нашёл радиус последней устойчивой орбиты в поле Шварцшильда, впервые сформулировал уравнение переноса в нестационарной среде. Автор книг «Межзвёздная газодинамика» (1958), «Физика звёзд» (3-е изд. 1977), «Межзвёздная среда» (совместно с С. Б. Пикельнером, 1963), «Плазменная астрофизика» (совместно с В. Цытовичем, 1972), «Физика межзвёздной среды» (совместно с С. Б. Пикельнером, 1979) и др.

КАПТЕЙН, Якобус Корнелиус (Kapteyn, Jacobus Cornelius) (19.01.1851, Барневельд, Нидерланды, – 18.06.1922, Амстердам) – голландский астроном. Одним из первых применил в астрономии фотографию и статистические методы для изучения движения и распределения в пространстве звёзд. Положил начало широкому применению статистического метода изучения строения Галактики.

Родился в многодетной семье школьного учителя. Хотя отец предлагал ему карьеру учителя, Якобус в 1868 г. поступил в Утрехтский университет, где изучал математику и физику, защитив в 1875 г. дипломную работу по колебаниям мембраны. В 1875 г. принят на работу астрономом-наблюдателем в Лейденскую обсерваторию, а в 1877 г. стал первым профессором астрономии и теоретической механики Гронингенского университета. Не имея средств на строительство обсерватории и приобретение телескопа, Якобус посвятил несколько лет теоретическим исследованиям вместе со своим братом Виллемом Каптейном, профессором математики. Желая всё же заниматься астрономией, Якобус Каптейн предложил свою помощь шотландскому астроному Дэйвиду Гиллу (1843–1914), директору Кейптаунской обсерватории на мысе Доброй Надежды (Южная Африка), который в это время проводил последовательное фотографирование всего южного неба. Помощь была принята, фотопластинки стали пересылаться в Гронинген, где Каптейн занялся их изучением, измеряя положение и яркость звёзд. В результате этой работы он опубликовал (1896–1900) обзорный каталог 454 875 звёзд Южного полушария, полный до $9{,}5^m$ и содержащий звёзды до 12^m. За это «Капское фотографическое обозрение» (Cape Photographic Durchmusterung) он был удостоен Золотой медали Лондонского Королевского астрономического общества.

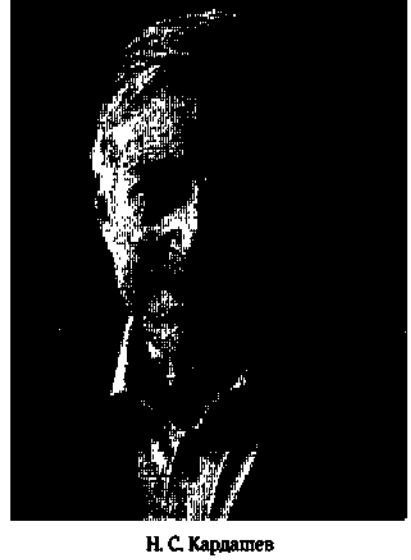
В 1902 г. он впервые количественно оценил изменение пространственной плотности звёзд с расстоянием в зависимости от их истинной светимости и таким образом получил функцию светимости звёзд. В 1904 г. выдвинул теорию, согласно которой движения звёзд относительно друг друга («пекулярные движения») не являются беспорядочными, а обусловлены наличием двух противоположно направленных потоков звёзд. Впоследствии выяснилось, что это представление ошибочно. В действительности эти движения – проявление вращения нашей Галактики (предположение о существовании такого вращения было высказано М. А. Ковальским в 1859 г., окончательно оно установлено Б. Линбладом и Я. Оортом в 1926–1927 гг.). Хотя сам Каптейн не смог правильно объяснить обнаруженные им особенности звёздных движений, открытие их стимулировало развитие современной звёздной астрономии.

В 1906 г. Каптейн разработал план фотографирования звёзд в 206 избранных площадках, равномерно распределённых по всему небу («план избранных площадок Каптейна»). В этом крупном международном проекте приняло участие более 40 обсерваторий. Проведённые по этому плану исследования сыграли большую роль в изучении строения и динамики Галактики. С 1908 г. Каптейн – иностранный член-корреспондент Санкт-Петербургской АН.

Уйдя на пенсию в 1921 г. в возрасте 70 лет, Каптейн по приглашению своего бывшего студента, директора Лейденской обсерватории Виллема де Ситтера, вернулся в Лейден и стал консультантом этой обсерватории. Там он опубликовал работу «Первый опыт теории строения и движения звёздной системы» (1922), в которой предложил модель Галактики в виде сплюснутого эллипсоида вращения диаметром 40 тыс. св. лет, с плотностью звёзд, убывающей к периферии, и с Солнцем почти в середине эллипсоида, на расстоянии всего 2000 св. лет от его центра («Вселенная Каптейна»). К сожалению, Каптейн, как и его коллеги, недооценивал роль межзвёздного поглощения света. Уже после его смерти Р. Дж. Трюмплер (1886–1956) доказал (1930), что межзвёздное поглощение настолько велико, что полностью скрывает от нас далёкие части галактического диска. В действительности Солнце оказалось удалено на 25 тыс. св. лет от центра Галактики, а сама она имеет диаметр около 100 тыс. св. лет.

КАРАНДАШНАЯ ДИАГРАММА – главный лепесток диаграммы направленности антенны радиотелескопа, имеющий небольшой раскрыв по обеим угловым координатам. Если же раскрыв по одной координате существенно больше, чем по другой, то это веерная, или ножевая, диаграмма.

КАРДАШЕВ, Николай Семенович (р. 25.04.1932, Москва, СССР) – российский астроном, академик РАН (1994), директор Астрокосмического центра Физического института РАН (1990). Предсказал существование рекомбинационных радиолиний водорода, гелия и других элементов межзвёздной среды, ставшее ныне важным инструментом радиоастрономии. Предложил с соавторами метод интерферометрии со сверхдлинной базой, дающий рекордно высокое угловое разрешение при наблюдении одного объекта двумя или несколькими радиотелескопами, отстоящими друг от друга на тысячи километров. Основоположник космической радиоастрономии, использующей наземно-космические интерферометры для повышения чувствительности и разрешающей способности наблюдений. Разработал теорию эволюции синхротронного излучения космических ра-



Н. С. Кардашев

диоисточников. Ещё до открытия пульсаров предсказал наличие нейтронной звезды в центре Крабовидной туманности. Показал возможность существования в окрестности массивных чёрных дыр сильных магнитных и электрических полей, способных ускорять элементарные частицы до сверхвысоких энергий. С помощью радиоинтерферометрии исследовал структуру ядер нашей Галактики и далёких квазаров. Инициатор создания космического радиотелескопа «Радиоастрон» (2011). Лауреат Государственной премии СССР (1980, 1988).

КАРИ (S XLV, Kari) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. 26 июня 2006 г. Большая полуось орбиты 23 305 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 1243,71 сут. Эксцентриситет орбиты 0,34. Наклонение орбиты к эклиптике 148°. Диаметр около 7 км. Период вращения 7 час 42 мин. Блеск $m_R = 24^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°20′06″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

КАРЛИК (в звёздной астрономии) – звезда главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рассела.

КАРЛИКОВЫЕ ГАЛАКТИКИ – галактики с массой, размером и светимостью значительно ниже средних. Часто карликовые галактики являются спутниками нормальных и гигантских галактик.

КАРЛИКОВЫЕ НЕПРАВИЛЬНЫЕ ГАЛАКТИКИ – карликовая галактика, не имеющая чёткой видимой структуры или определённой формы. Исследования карликовых неправильных (иррегулярных) галактик в последнее время приобретают всё большее значение для теории эволюции галактик. Такие галактики встречаются часто, поэтому некоторые из них располагаются недалеко от нас. Благодаря этому можно детально изучать такие важные их характеристики, как возникновение галактического ветра, химический состав межзвёздного и межгалактического вещества и фотометрическую эволюцию галактик. Кроме того, их эволюционный статус, обусловленный низкой металличностью и обилием газа, делает их похожими на первобытные галактики и, следовательно, наиболее пригодными для суждений об изначальном составе галактик. Предполагают, что карликовые неправильные галактики представляют собой местные аналоги многочисленных тусклых голубых галактик, обнаруженных в ходе поисков далёких галактик.

КАРЛИКОВЫЕ НОВЫЕ – новоподобные звёзды, светимость которых при вспышке за несколько часов возрастает примерно в 100 раз и сохраняется в этом состоянии несколько суток. Причиной такой относительно слабой вспышки считается не термоядерный взрыв, как у нормальных новых, а нерегулярность аккреции вещества соседней звезды на белый карлик. Возможно, звезда теряет вещество порциями, а может быть, газ накапливается в аккреционном диске, а затем порциями попадает на поверхность белого карлика.

КАРЛИКОВЫЕ СФЕРОИДАЛЬНЫЕ ГАЛАКТИКИ – карликовые эллиптические галактики низкой светимости (слабее 14^m в визуальном диапазоне), низкой поверхностной яркости и почти сферической формы при отсутствии ядра. В прошлом считали, что это большие шаровые скопления низкой плотности, но недавние исследования показали, что в карликовых сфероидальных галактиках (dSph) звёздное население более разнообразно, чем в шаровых скоплениях. Ещё более важно, что в этих галактиках наблюдаются свидетельства формирования звёзд в течение длительного времени, даже если в них нет признаков формирования звёзд в настоящее или недавнее время и нет межзвёздного вещества. Звёздное население карликовых сфероидальных галактик состоит из двух компонентов: 1) старого, бедного металлами населения, похожего на население шаровых скоплений; 2) населения среднего возраста – от 1 до 10 млрд лет.

Отношение массы к светимости у этих галактик выше, чем у шаровых скоплений. Это говорит о том, что они содержат заметное количество тёмной материи. В Местной группе галактик известны 22 карликовые сфероидальные галактики. Из них 12 являются спутниками нашей Галактики и 7 – спутники галактики Андромеда. По недавним оценкам, в этих галактиках, в пределах их видимого тела (т. е. в области, занятой звёздами), сосредоточено $(4–5)\cdot10^7\ M_\odot$ тёмной материи. Но при этом они могут иметь тёмное гало, простирающееся далеко за пределы видимых границ галактики. Полная масса звёзд в такой галактике обычно составляет $10^7–10^8\ M_\odot$.

КАРЛИКОВЫЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ ГАЛАКТИКИ – тусклые карликовые галактики низкой поверхностной яркости, в которых очень мало газа. Множество таких галактик обнаружено в скоплениях галактик, особенно вблизи крупных галактик. Многие из ярких объектов такого типа классифицированы как dE.N, поскольку имеют чёткое ядро. Несмотря на своё название, карликовые эллиптические галактики не являются тусклой разновидностью эллиптических галактик, поскольку отличаются своей структурой.

Типичная карликовая эллиптическая галактика имеет массу порядка миллиарда масс Солнца, что составляет $^1/_{1000}$ массы типичной гигантской галактики. В них очень мало или совсем нет газа, что и отличает их от карликовых неправильных галактик. Три таких довольно ярких объекта присутствуют в Местной группе галактик: это NGC 147, NGC 185 и NGC 205 – спутники галактики Андромеда. Сотни таких же карликовых галактик видны в относительно близком скоплении Дева (Virgo), и ещё больше их в крупном скоплении Волосы Вероники (Coma).

Исследование таких объектов представляет особый интерес, так как они очень похожи на «строительные блоки», из которых «собраны» большие галактики. Кроме довольно ярких карликовых эллиптических галактик, существуют и гораздо более тусклые карликовые сфероидальные галактики.

КАРМЕ (J XI, Carme) – естественный спутник Юпитера. Его открыл Сет Б. Николсон 30 июля 1938 г. Большая полуось орбиты 23 198 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 722 сут. Эксцентриситет орбиты 0,253. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 46 км. Масса $1{,}3\cdot10^{17}$ кг. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 1,7 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 28 м/с. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 15921{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°36′29″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К. Между 1955 и 1975 гг. этот спутник носил имя Пан (Pan), но теперь оно присвоено одному из спутников Сатурна.

КАРПО (J XLVI, Carpo) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард и др. (2003). Большая полуось орбиты 17 145 тыс. км. Орбитальный период 458,625 сут. Эксцентриситет орбиты 0,4316. Средняя орбитальная скорость 3,3 км/с. Наклонение орбиты к эклиптике 56°. Диаметр около 3 км. Альбедо около 4%. Блеск 23^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1°59′20″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

«КАРТА НЕБА» (фр. Carte du Ciel) – фотографический атлас всего звёздного неба до предельной видимой величины 14^m, составление которого началось в конце XIX в. и было завершено в конце XX в.

КАССИНИ, Джованни Доменико или **Жан-Доминик** (Cassini, итал. Giovanni Domenico, фр. Jean-Dominique) (8.06.1625, Перинальдо, Генуэзская республика, – 14.09.1712, Париж, Франция), итальянский

и французский астроном, основатель известной астрономической династии. Образование получил в иезуитском коллегиуме в Генуе и в аббатстве Сан-Фруктуозо. В 1644–1650 гг. работал в обсерватории маркиза Мальвазиа в Панцано, близ Болоньи, и там же продолжал астрономическое образование под руководством Дж. Б. Риччоли и Ф. М. Гримальди. В 1650–1669 гг. профессор астрономии в Болонском университете. В 1669 г. переехал во Францию, где руководил строительством Парижской обсерватории, которую возглавлял до конца жизни. С 1669 г. член Парижской АН.

В Италии Джованни Доменико Кассини выполнил многочисленные позиционные наблюдения Солнца при помощи меридианного инструмента и на их основании составил новые солнечные таблицы (1662). Создал первую точную теорию атмосферной рефракции, основанную на законе синусов. Он также экспериментировал в области гидравлики и написал несколько работ по прикладной гидротехнике.

В 1664 г. начал наблюдать планеты с помощью больших телескопов с высококачественной оптикой. Изучая Юпитер, описал систему полос на его поверхности и измерил сплюснутость планеты. Следя за перемещением теней от спутников Юпитера по диску планеты и зарисовывая вид облачной поверхности планеты, впервые определил период вращения Юпитера: полученное значение (9 час 56 мин) почти не отличается от современного (9 час 55 мин 30 с). В 1666 г. наблюдал детали на поверхности Марса и по ним определил период его вращения – 24 час 40 мин (точное значение 24 час 37 мин 23 с).

В 1668 г. разработал теорию и составил таблицы движения спутников Юпитера. В ту эпоху это было чрезвычайно ценное пособие для мореплавателей, позволявшее им по наблюдаемому положению спутников определять время на меридиане обсерватории, а отсюда – географическую долготу своего корабля (других методов тогда не было, поскольку механические часы были несовершенны). Кассини основывал свои расчёты главным образом на наблюдениях, проводившихся вблизи противостояния Юпитера. Продолжив эти наблюдения в Париже, он установил, что вблизи соединений Юпитера моменты затмений спутников тенью планеты запаздывают более чем на 10 минут от расчётного времени. Датский астроном Оле Рёмер, будучи в 1675 г. в Париже, узнал об этом и объяснил этот факт конечностью скорости распространения света. Когда Юпитер находится ближе к Земле, свет от него быстрее доходит до нас. Рёмер определил, что свет проходит расстояние от Земли до Солнца за 11 минут (в действительности за 8,3 мин), впервые оценив таким образом скорость света. В 1693 г. Кассини уточнил свои таблицы, которые широко применялись астрономами и мореплавателями.

Учитывая большие научные заслуги Кассини, французский король Людовик XIV пригласил его в 1669 г. в Париж, где в то время создавалась Королевская академия наук. После завершения строительства Парижской обсерватории в 1671 г. Кассини стал её директором, а спустя два года – гражданином Франции. Вплоть до XIX в. семья Кассини была связана с Парижской обсерваторией: после смерти отца пост директора последовательно занимали его сын, внук и правнук – также известные астрономы и геодезисты.

В Париже Жан-Доминик Кассини продолжал наблюдения планет. В 1671 г. он открыл второй спутник Сатурна – Япет и объяснил изменения его яркости тем, что этот спутник всегда обращён к планете одной стороной. В 1672 г. открыл третий спутник Сатурна – Рею, в 1684 г. – два других, Тетис и Диону. В 1675 г. обнаружил, что кольцо Сатурна состоит из двух частей, разделённых тёмной полосой («деление Кассини»). Размышляя над физической природой кольца Сатурна, Кассини предположил, что оно состоит из большого количества отдельных небольших частиц; в наше время это подтвердилось.

Наблюдая лунную поверхность, в 1679 г. составил большую карту Луны. В 1683 г. на основе тщательных наблюдений дал первое научное описание зодиакального света; правильно полагал, что это явление имеет космическое происхождение, а не является метеорологическим феноменом. Принимал участие в наблюдениях Марса во время противостояния 1672 г. (совместно с Ж. Рише и Ж. Пикаром). В результате этих наблюдений было получено первое приемлемое значение солнечного параллакса (9,5–10,0″). В 1693 г. Кассини сформулировал три эмпирических правила, описывающих движение Луны («законы Кассини»): 1) Луна вращается вокруг своей оси с постоянной скоростью, равной одному обороту за орбитальный период; 2) плоскость лунного экватора наклонена на постоянный угол (около 1,5°) к эклиптике; 3) восходящий узел лунной орбиты всегда совпадает с нисходящим узлом лунного экватора.

Кассини руководил экспедиционными работами по измерению дуги меридиана на территории Франции. На основании этих измерений он пришёл к неправильному заключению, что длина одного градуса географического меридиана уменьшается к северу, а значит, Земля вытянута вдоль оси вращения. Лишь последующие экспедиции П. Бугера, Л. Годена и Ш. М. ла Кондамина в Перу в 1735–1743 гг., а также П. Л. М. Мопертюи в Лапландию в 1736–1737 гг. окончательно разрешили вопрос о фигуре Земли: как и полагал И. Ньютон, Земля оказалась эллипсоидом, сжатым вдоль оси вращения.

Кассини прославился как талантливый астроном-наблюдатель. Но он часто придерживался устарелых физических концепций: был противником теории всемирного тяготения, его коперниканство было ограниченным, он предлагал заменить эллиптические орбиты Кеплера кривыми четвёртого порядка (овалами Кассини), считал, что Рёмер неправильно объясняет наблюдаемую неравномерность движения спутников Юпитера конечностью скорости света. Ошибочными были и его взгляды на природу комет. Но объективно борьба различных мнений в науке лишь способствует утверждению верных взглядов. Астрономические открытия Кассини заметно стимулировали науку той эпохи. Его имя занесено на карты Луны, Марса и спутника Сатурна – Япета.

КАССИНИ, Жак (Cassini, Jacques) (18.02.1677, Париж, Франция, – 15.04.1756, Тюри близ г. Клермон, Франция) – французский астроном, сын Дж. Д. Кассини. В 1691 г. окончил колледж Мазарини и работал в Парижской обсерватории, которую возглавил после смерти отца (1712). Член Лондонского королевского общества (1698) и Парижской АН (1699).

Занимался определением фигуры Земли, изучал планеты, их спутники и кометы. Помогал отцу в астрономических наблюдениях и геодезических измерениях. В 1695 г. сопровождал его в поездке по Италии, затем посетил Фландрию, Нидерланды, Англию, где выполнил большое число астрономических и геодезических измерений. В 1700–1701 гг. участвовал в измерении южной дуги Парижского меридиана; в 1718 г. завершил измерение северной части этого меридиана, доведя его до Дюнкерка. В споре о форме фигуры Земли занимал ошибочную позицию: в своём труде «О размере и форме Земли» (1720) утверждал, что она представляет не сжатый, а вытянутый вдоль оси вращения сфероид.

Жак Кассини предложил метод определения географической долготы из наблюдений покрытия звёзд и планет Луной. Изучал орбиты спутников планет, строение колец Сатурна. Составил первые таблицы орбитального движения спутников Сатурна. Выполнил много наблюдений комет, открыл две новые кометы. Изучал морские приливы. После открытия Э. Галлеем собственных движений звёзд первым начал их измерения. Опубликовал труды «Элементы астрономии» (1740) и «Астрономические таблицы Солнца, Луны, планет, неподвижных звёзд и спутников Юпитера и Сатурна» (1740). Был убеждённым картезианцем и противником теории всемирного тяготения, стремился

факты наблюдений истолковывать с помощью теории вихрей.

Его сын, Сезар-Франсуа Кассини де Тюри (C.-F. Cassini de Thury), известный в истории науки как Кассини III (1714–1784), сменил отца на посту директора Парижской обсерватории в 1771 г. Он был известным геодезистом и картографом, руководил созданием большой топографической карты Франции (1789). Внук Жака и сын Сезара-Франсуа — Жак-Доминик Кассини (J.-D. Cassini, comte de), известный как Кассини IV (1748–1845), занял пост директора Парижской обсерватории в 1784 г. и закончил создание карты Франции. Однако его план модернизации Парижской обсерватории сорвала Французская революция. Недолгое время он сотрудничал с революционным правительством, но его монархические симпатии проявились, он был арестован и провёл несколько месяцев в тюрьме. Позже Наполеон сделал его сенатором и графом.

КАССИОПЕЯ — северное созвездие, одно из красивейших на нашем небе и всегда доступное для наблюдения в средних широтах. Астеризм из пяти ярких (от $2{,}2^m$ до $3{,}4^m$) звёзд похож на букву «М», когда наблюдается над северным полюсом мира вечером в декабре, и на букву «W», когда наблюдается ниже полюса в июне. В мифах царица Кассиопея была женой царя Кефея (Цефея) и матерью Андромеды. Большая часть созвездия Кассиопея лежит в Млечном Пути и содержит много интересных объектов. Внимание любителей астрономии привлекает звезда Шедар (α Cas): с XIX в. она входит в каталоги переменных звёзд, однако её переменность до сих пор уверенно не подтверждена. Среди других интересных объектов: рассеянные скопления M 52, M 103, NGC 457 и NGC 7789, карликовые эллиптические галактики NGC 147 и NGC 185 — спутники Туманности Андромеды; диффузная туманность NGC 281 и гигантская газовая сфера — туманность Пузырь (NGC 7635). В этом созвездии расположен один из мощнейших источников галактического радиоизлучения — Кассиопея А. Это быстро расширяющаяся газовая оболочка, сброшенная при взрыве сверхновой звезды, который наблюдался в 1572 г. Как отмечали Тихо Браге и другие астрономы тех лет, сверхновая сияла ярче Венеры.

КАТАДИОПТРИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП — то же, что *Зеркально-линзовый телескоп*. Иногда встречается написание «катодиоптрический» (что точнее), но чаще пишут «катадиоптрический», прямо транскрибируя англ. catadioptric.

КАТАКЛИЗМИЧЕСКАЯ ДВОЙНАЯ — тесная двойная система, главной звездой которой является белый карлик, а его спутник — оранжевая или красная (спектрального класса K или M) звезда главной последовательности. В системе происходит перетекание вещества со спутника на главную звезду. В большинстве случаев поток богатого водородом газа сначала втекает в аккреционный диск вокруг белого карлика, а затем может попасть на поверхность этой компактной звезды и воспламениться в ядерной реакции. Катаклизмические двойные делят на две группы. Наиболее многочисленная группа содержит карликовые звёзды типа U Близнецов (U Gem), а также классические и повторные новые. Вторая, менее богатая, группа содержит звёзды типа AM Геркулеса (AM Her) и DQ Геркулеса (DQ Her). У этих систем вокруг главной звезды существует сильное магнитное поле, что сильно влияет на аккреционный диск.

КАТАКЛИЗМИЧЕСКАЯ ПЕРЕМЕННАЯ — переменная звезда с внезапной и сильной переменностью блеска. В эту группу входят все типы катаклизмических двойных, а также некоторые типы симбиотических звёзд и сверхновые.

КАТАЛОГ АБЕЛЯ — каталог богатых скоплений галактик всего неба, содержащий параметры 4073 скоплений с красным смещением $z \leqslant 0{,}2$. Его основой стал «Северный обзор» с данными о 2712 скоплениях, который в 1958 г. опубликовал американский астроном Джордж Абель (George Ogden Abell, 1927–1983) на основе Паломарского обзора неба. В 1989 г. каталог был дополнен «Южным обзором» с данными о 1361 скоплении.

КАТАЛОГ ГАЛАКТИК И СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК — то же, что *Каталог Цвикки*.

КАТАЛОГ ГЕНРИ ДРЭПЕРА — каталог спектральных классов звёзд, составленный в начале XX в. на Гарвардской обсерватории (США). Большую часть работы по его созданию выполнила Энни Кэнон (1863–1941). Вместе с дополнениями этот каталог содержит данные о спектрах 350 тыс. звёзд. Каталог назван в честь американского врача и астронома Генри Дрэпера (Henry Draper, 1837–1882), на деньги посмертного фонда которого была осуществлена эта работа.

КАТАЛОГ ГИДИРОВОЧНЫХ ЗВЁЗД (Guide Star Catalog, GSC) — каталог, созданный для обеспечения работы Космического телескопа «Хаббл», прежде всего для его ориентации и точного наведения. Это первый каталог всего неба, специально созданный для точной ориентации космических аппаратов. Первая версия каталога (GSC-I) включает данные о 15 млн звёзд и 4 млн незвёздных объектов от 6^m до 15^m. Вторая версия каталога (GSC-II), опубликованная в 2008 г., имеет входные параметры для 945 592 683 звёзд и выходные данные (точное положение, классификация, звёздная величина) для 455 851 237 звёзд. Насколько возможно, были исключены или отмечены двойные звёзды и незвёздные объекты, представляющие трудности для датчиков точного наведения.

КАТАЛОГ ГИППАРКОС — звёздный каталог, составленный по данным наблюдений астрометрического искусственного спутника Земли HIPPARCOS (High Precision PARallax COllecting Satellite) Европейского космического агентства, работавшего на орбите с 1989 по 1993 г. Поскольку спутник вышел на нерасчётную орбиту, потребовалась сложная процедура редукции данных наблюдений. Каталог HIPPARCOS опубликован в 1997 г. Он включает координаты, геометрические параллаксы (т. е. расстояния), собственные движения и блеск 118 218 звёзд (одиночных и двойных) до 9^m. Погрешность данных каталога около $0{,}001''$. На настоящий момент (2012) это самый точный астрометрический каталог.

КАТАЛОГ КОЛДУЭЛЛА — каталог из 109 незвёздных объектов (т. е. туманностей, звёздных скоплений, галактик), дополнительных к объектам каталога Мессье, но при этом достаточно ярких для наблюдения в небольшой телескоп, интересных и доступных для начинающих любителей астрономии. Каталог Колдуэлла (Caldwell catalogue) был составлен и впервые опубликован в журнале «Sky and Telescope» в декабре 1995 г. британским астрономом и очень известным популяризатором науки сэром Патриком Муром (Patrick Moor, p. 1923). Название каталогу он дал, использовав свою вторую фамилию (его полное имя — Patrick Alfred Caldwell Moor), чтобы обозначать объекты своего каталога как C1, C2, ... и не путать их с объектами каталога Мессье (M1, M2, ...). В отличие от каталога Мессье, каталог Колдуэлла охватывает всё небо, и объекты в нём упорядочены по склонению — от больших к меньшим. Патрик Мур считает, что так удобнее. Жителям Северного полушария доступны для наблюдения все объекты от начала каталога до определённого его места, обусловленного географической широтой точки наблюдения и условиями видимости.

КАТАЛОГ МЕССЬЕ — каталог из 110 незвёздных объектов (т. е. туманностей, звёздных скоплений, галактик), в основном составленный французским астрономом Шарлем Мессье (1730–1817) между 1771 и 1781 гг. и позже дополненный другими астрономами. Мессье систематически вёл поиски новых комет. Чтобы не путать кометы с далёкими туманными объектами неба, он составил один из первых

в истории астрономии каталогов туманностей и звёздных скоплений, до сих пор чрезвычайно популярный среди любителей астрономии, поскольку все его объекты доступны для наблюдения в небольшой телескоп. Первое издание каталога вышло в свет в 1774 г. и содержало 45 объектов. Среди них под первым номером (M1) указана Крабовидная туманность в созвездии Телец, обнаруженная Мессье 12 сентября 1758 г. В астрономию прочно вошли обозначения многих туманностей, скоплений и галактик по каталогу Мессье: например, M31 — туманность Андромеды, M42 — диффузная туманность Ориона. Второе издание каталога (1781) содержало 103 объекта. Современная версия этого каталога содержит около 110 объектов, из которых более 60 открыто самим Мессье и около 30 — французским астрономом Пьером Мешеном (1744–1804).

КАТАЛОГ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК — то же, что *Каталог Абеля.*

КАТАЛОГ «ТИХО» (Tycho catalog) — каталог координат и звёздных величин 1 058 000 звёзд, полученный с помощью астрометрического спутника HIPPARCOS и опубликованный в 1997 г. Точность координат звёзд в этом каталоге составляет от 0,007″ до 0,025″. В 2000 г. был опубликован каталог «Тихо 2», содержащий данные о 2,5 млн звёзд. См. *Каталог Гиппаркос.*

КАТАЛОГ ЦВИККИ — «Каталог галактик и скоплений галактик», составленный и опубликованный в 1968 г. под руководством американского астронома Фрица Цвикки на основе фотопластинок Паломарского обзора неба. Включает данные примерно о 40 тыс. объектах.

КАТАЛОГ ЯРКИХ ЗВЁЗД (Bright star catalog) — Каталог звёзд ярче $6{,}5^m$, т. е. звёзды, видимые невооружённым глазом в идеальных условиях. Впервые опубликован обсерваторией Йельского университета (США) в 1930 г. Включает более 9000 звёзд.

КАТАЛОГИ ГЕРШЕЛЕЙ — серия каталогов незвёздных объектов, составленных между 1786 и 1847 гг. сэром Вильямом Гершелем и его сыном — сэром Джоном Гершелем. Каталоги в общей сложности включают около 6500 объектов. Позднее большинство этих объектов вошло в Новый общий каталог (New General Catalog, NGC), поэтому в настоящее время принято использовать обозначение объектов по NGC. Ссылки на каталоги Гершелей встречаются редко; в этих случаях объекты обозначают буквами H (сэр Вильям) и h (сэр Джон), например H1.210 или h 2409.

КАТОПТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА — оптическая система, состоящая только из отражающих поверхностей (от греч. *katoptrikós*); то же, что *Зеркальная система.*

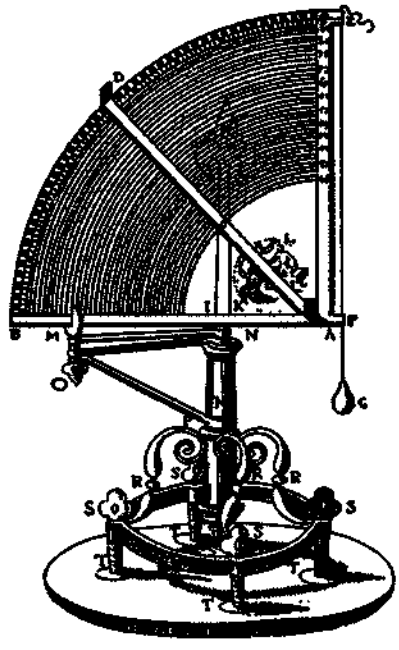
КАЧАЮЩЕЕСЯ ЗЕРКАЛО — устройство, предназначенное для частичной коррекции искажений волнового фронта, вносимых в изображение земной атмосферой. Основным его элементом служит плоское зеркало, которое может быстро наклоняться в любом направлении для компенсации мгновенного общего наклона волнового фронта, создаваемого атмосферными неоднородностями. Используя подобную систему, можно достичь существенного улучшения чёткости изображения при значительно меньшей стоимости по сравнению с полноценной системой адаптивной оптики. Имеется несколько вариантов коммерческих систем с качающимся зеркалом, предназначенных для использования с небольшими телескопами. См. *Адаптивная оптика.*

КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ — степень ухудшения изображения астрономического объекта под влиянием земной атмосферы. Флуктуации плотности воздуха вызывают мерцания изображений звёзд и размытие тонких деталей в изображениях протяжённых источников. Для оценки качества изображения используется шкала Антониади.

КВАДРАНТИДЫ — ежегодный метеорный поток, радиант которого лежит в созвездии Волопас, около границы с созвездиями Геркулес и Дракон. Название относится к тем временам, когда эта область неба принадлежала созвездию Стенной Квадрант (Quadrans Muralis), теперь уже не существующему. Пик этого метеорного потока приходится на 3 января, а обычные пределы — с 28 декабря по 7 января. Это узкий поток метеоров с резким максимумом, не связанный с какой-либо известной кометой. Среднее зенитное часовое число метеоров в максимуме $N \approx 90$, но в отдельные годы наблюдается повышенная активность.

КВАДРАТНЫЙ ГРАДУС — единица площади (телесного угла) на небесной сфере, эквивалентная области угловым размером 1×1°. Полная площадь сферы составляет 4π стерадиан = 41 253 кв. градуса (округлённо). Для обозначения квадратного градуса обычно используют знак □°. То же для квадратной минуты (□′) и секунды (□″).

КВАДРАНТ — старинный астрономический угломерный инструмент, предназначенный для определения высоты светила над горизонтом. Подобен октанту и секстанту, но с измерительным сектором в 90°. Простейший квадрант — это плоская доска в форме четверти круга, с дугообразной шкалой, разделённой на градусы и доли градуса. Относительно центра этого круга вращается линейка с диоптрами, служащая для наблюдения светила и отсчёта его высоты над горизонтом либо зенитного угла. Для ориентации по вертикали служит отвес.



Квадрант Тихо Браге

КВАДРАТУРА — такое положение Луны или планеты, при котором её эклиптическая долгота отличается от долготы Солнца на 90° (т. е. когда угол Солнце—Земля—объект равен 90°). Различают восточную и западную квадратуры. Обычно этот термин употребляют в отношении верхних (т. е. внешних относительно земной орбиты) планет. Но иногда им пользуются и в отношении Луны, имея в виду её фазы первой и последней четвертей.

КВАЗАГИ — объекты, подобные квазарам, но не обладающие заметным радиоизлучением. Слово «квазаг» происходит от англ. *quasag* — QUASi stellAr Galaxy. Квазаги открыл в 1965 г. американский астроном Аллан Сэндидж (Allan Sandage, 1926–2010).

КВАЗАРЫ — внегалактические объекты, отличающиеся очень высокой светимостью и настолько малым угловым размером, что в течение нескольких лет после открытия их не удавалось отличить от точечных источников — «звёзд», что указывает на их большую удалённость от нашей Галактики, достигающую нескольких тысяч мегапарсек. Слово «квазар» происходит от англ. *quasar* — QUASi stellAR radio source, т. е. радиоисточник, похожий на звезду. Квазары отличаются очень высокой светимостью, в десятки раз превы-

шающей светимость крупных галактик; и при этом квазары демонстрируют переменность яркости, что указывает на компактность источника энергии.

Впервые квазары обнаружили в 1960 г. как радиоисточники, совпадающие в оптическом диапазоне со слабыми звездообразными объектами. В 1963 г. голландский астроном Маартен Шмидт, работающий в США, доказал, что линии в их спектрах сильно смещены в красную сторону. Принимая, что это красное смещение вызвано эффектом Доплера, возникшего в результате удаления квазаров, до них определили расстояние по закону Хаббла. Квазары оказались самыми далёкими объектами Вселенной, доступными для наблюдения. Позже обнаружились подобные объекты без мощного радиоизлучения – квазаги. Как обобщающий был принят термин «квазизвёздный объект» (quasi-stellar objects, QSO), но чаще говорят просто «квазар».

Астрономы обнаружили уже более 5000 квазаров. Ближайший из них и наиболее яркий (3С 273) имеет блеск около 13^m и красное смещение $z=0{,}158$ (что соответствует расстоянию около 2 млрд св. лет). Самые далёкие квазары благодаря их гигантской светимости, превосходящей в сотни раз светимость нормальных галактик, видны на расстоянии около 13 млрд св. лет (красное смещение $z=7{,}1$). Изучая ближайшие квазары, удалось определить, что они располагаются в ядрах крупных галактик; вероятно, это характерно и для остальных квазаров. Нерегулярная переменность блеска квазаров указывает, что область генерации их излучения имеет малый размер, сравнимый с размером Солнечной системы. В этом заключается главная загадка квазаров: какой физический процесс обеспечивает выделение гигантской энергии в столь малой области? Многие астрофизики считают, что это выделяется гравитационная энергия в процессе падения вещества на гигантскую чёрную дыру массой 10^7–10^9 масс Солнца.

КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ – теория, объединяющая квантовую механику и общую теорию относительности (возможно, с изменениями). Примером теории квантовой гравитации служит теория струн.

КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА (КХД) – релятивистская квантовая теория поля, описывающая сильное взаимодействие и свойства кварков.

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (КЭД) – релятивистская квантовая теория поля, описывающая электроны и электромагнитное взаимодействие.

КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (quantum efficiency, QE), или квантовый выход – мера эффективности детектора, равная отношению числа зарегистрированных фотонов к числу фотонов, упавших на детектор. Значение квантовой эффективности старых фотографических эмульсий около 0,1%, современных эмульсий – от 1% до 3%, человеческого глаза – около 5%, ПЗС – до 90%.

КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ – мера чувствительности приёмника, позволяющая сравнивать различные типы приёмников. Выражается как квадрат отношения сигнал/шум на выходе приёмника к входному отношению сигнал/шум.

КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ – мазер, микроволновый квантовый усилитель. Усилитель с очень низким уровнем шумов, используемый в радиоприёмниках некоторых радиотелескопов.

КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ – способность атомарных объектов проходить сквозь препятствия, которые с точки зрения классической физики являются непреодолимыми.

КВАНТОВЫЙ ВЫХОД – отношение числа эмитируемых (выбитых) из вещества фотоэлектронов к числу упавших фотонов. Термин «квантовый выход», строго говоря, применим лишь к детекторам излучений, использующим внешний фотоэлектрический эффект в газах и с поверхности твёрдых тел. Однако часто значение квантового выхода приводят и для других регистрирующих приборов и фотоматериалов, подразумевая под этим понятием величину, обратную числу фотонов, необходимых для почернения одного зерна фотоэмульсии (10^{-3}–10^{-2}). Более общий смысл имеет термин «квантовая эффективность», хотя часто оба термина используют как синонимы. Квантовый выход характеризует абсолютную чувствительность фотокатода или детектора в целом. Реальная чувствительность при астрономических наблюдениях, т. е. минимально обнаружимый сигнал (световой поток), определяется помимо квантового выхода уровнем шума, который, в свою очередь, зависит от шума детектора и регистрирующей аппаратуры, уровня фона неба и других источников помех, например при внеатмосферных наблюдениях – от потока заряженных частиц.

Квантовый выход прибора в целом (т. е. на его выходе) обусловлен также и пропусканием окна детектора, если таковое имеется. В видимой области спектра пропускание можно сделать близким к единице. В УФ- и рентгеновском диапазонах (длина волны излучения $\lambda \geq 0{,}4$ нм) роль окна детектора часто становится определяющей. Квантовый выход современных фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) достигает в видимой области и ближней УФ-области спектра величины 25%, падая до 1% в ближней ИК-области. ФЭУ являются почти единственными детекторами для целей фотометрии в видимой и ближней УФ-области спектра. Высокий квантовый выход свойствен фотокатодам, в состав которых входят соединения Cs, Bi, Te и других металлов с малой работой выхода.

В области мягкого рентгеновского излучения и жёсткого УФ-излучения используют гейгеровские и пропорциональные счётчики с газовым наполнением, квантовый выход которых без учёта пропускания окна в максимуме близок к 100%. В УФ-диапазоне применяются в качестве наполнителей счётчиков окись азота ($\lambda < 134$ нм), ксилол, спирты, бромистый метил и другие вещества. Их квантовый выход близок к 100%. В мягком рентгеновском диапазоне (0,1–10 кэВ) в качестве газов-наполнителей используются Ar, Kr и Xe с квантовым выходом в максимуме около 100%. Квантовый выход твёрдых тел в этой области спектра может даже превышать 100% (эффект Лукирского). Высоким квантовым выходом в УФ- и мягком рентгеновском диапазонах обладают канальные фотоэлектронные умножители и микроканальные пластины.

КВАНТОВЫЙ ШУМ – хаотический компонент сигнала (шум), причиной которого служит квантовая природа электромагнитного излучения. Вследствие квантового шума фотоны от слабого источника постоянной яркости прибывают не через равные промежутки времени, а случайным образом, неравномерно группируясь во времени.

КВАРК – частица вещества, участвующая в сильных взаимодействиях. Есть шесть разновидностей кварков (u, d, s, c, b, t), и каждый из них имеет три условных «цвета» (красный, зелёный, синий).

КВАРКОВАЯ ЗВЕЗДА – гипотетическая звезда, состоящая из свободных кварков, плотность которой равна средней плотности между нейтронной звездой и чёрной дырой такой же массы. В теоретических работах 1980-х гг. высказывались большие сомнения относительно существования в природе кварковых звёзд. Но в апреле 2002 г. наблюдения рентгеновской обсерватории «Чандра» показали, что объект RX J185635-375, удалённый от нас примерно на 450 св. лет, возможно, действительно является такой звездой. Этот объект, считавшийся ранее нейтронной звездой, по наблюдениям «Чандры» имеет диаметр около 11 км, что слишком мало для тела, состоящего из цельных нуклонов (нейтронов и протонов). Если судить по плотности, похоже, что его нуклоны разорваны на составляющие их кварки. Вторым

кандидатом в кварковые звёзды является объект 3C 58, который ранее тоже считался обычной нейтронной звездой, образовавшейся в процессе взрыва сверхновой 1181 г. Температура её поверхности около 1 млн °С, то есть она намного холоднее, чем если бы состояла из цельных нуклонов. Согласно теории, часть вещества 3C 58 превратилась в «бульон» из кварков.

КЕЛЬВИН — единица измерения температуры в системе СИ. Названа в честь английского физика Уильяма Томсона, лорда Кельвина (1824–1907). Обозначается символом «К». Нуль-пунктом температурной шкалы Кельвина служит «абсолютный нуль», при котором в рамках классической физики полностью прекращается тепловое движение молекул и атомов. Точкам замерзания и кипения воды в шкале Кельвина соответствуют температуры 273,16 К и 373,16 К. Таким образом, масштаб температурной шкалы Кельвина такой же, как у шкалы Цельсия, но нуль-пункт сдвинут к абсолютному нулю. Следует помнить, что единицей измерения температуры в шкалах Цельсия, Фаренгейта, Реомюра служит «градус» соответствующей шкалы, тогда как в шкале Кельвина единицей измерения служит «кельвин». Перед подстановкой значения температуры в физические формулы их (как правило) следует переводить в шкалу Кельвина.

КЕМБРИДЖСКИЙ ОПТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП АПЕРТУРНОГО СИНТЕЗА (Cambridge Optical Aperture Synthesis Telescope, COAST) — система оптического апертурного синтеза, включающая четыре 40-сантиметровых зеркала с максимальной базой 100 м. Способна измерять только яркие звёзды с угловым разрешением до 0,001″. Система создана под руководством Джона Балдвина (John Evan Baldwin, 1931–2010) сотрудниками Кавендишской астрофизической группы. Располагается в Мюллардовской радиоастрономической обсерватории (Кембриджшир, Великобритания).

КЕНТАВР, или **Центавр**, — одно из самых южных созвездий, известных древним звездочетам. Первоначально в него включались звёзды, из которых позже образовали созвездие Южный Крест. Но и без них Кентавр — большое созвездие и содержит много ярких звёзд и интересных объектов. Согласно греческим мифам, попавший на небо кентавр — это бессмертный и мудрый Хирон, сын Кроноса и нимфы Филиры, знаток науки и искусства, воспитатель греческих героев — Ахилла, Асклепия, Ясона. Ярчайшую звезду этого созвездия древние называли Ригиль Кентаврус (от арабского «Al Rijl al Kentaurus» «нога кентавра») или Толиман. В наше время она известна как Альфа Кентавра (α Cen), ближайшая к Солнцу звезда: до неё 4,4 св. года. Это одна из ярчайших звёзд на земном небе и красивая двойная: её компоненты разделены углом около 20″ и обращаются с периодом 80 лет. Более яркий из них (−0,04^m), жёлтый карлик, — почти точная копия Солнца. Его сосед (1,2^m) — оранжевый карлик. В 1915 г. на небольшом удалении от этой пары звёзд английский астроном Роберт Иннес (1861–1933) обнаружил звёздочку 10,7^m. Оказалось, что она располагается чуть-чуть ближе к Солнцу (4,2 св. года), чем пара α Cen. За это ей дали собственное имя — Проксима («ближайшая»). Хотя Проксима Кентавра — очень тусклый красный карлик, уступающий нашему Солнцу по массе и размеру раз в 6–7, а по светимости — в десятки тысяч раз, но в то же время это весьма активная вспыхивающая звезда, блеск которой может измениться вдвое всего за несколько минут. Долгие годы астрономы полагали, что Проксима является третьим членом системы Альфа Кентавра. В каталогах её обозначили как «α Cen C» и даже подсчитали, что она обращается вокруг центральной двойной звезды (α Cen A + α Cen B) примерно за 500 тыс. лет. Однако в последнее время появилось сомнение: возможно, Проксима — самостоятельная звезда, случайно и ненадолго сблизившаяся с системой α Cen.

В созвездии Кентавр видно крупнейшее шаровое скопление Галактики — ω Cen (NGC 5139), состоящее из нескольких миллионов звёзд, среди которых 165 пульсирующих переменных с периодами около полусуток. Хотя расстояние до скопления 16 тыс. св. лет, оно самое яркое на небе. В Кентавре находится также необычная эллиптическая галактика NGC 5128, пересечённая клочковатой тёмной полосой межзвёздной пыли; астрономы полагают, что сравнительно недавно она разорвала в клочья и сейчас поглощает свою соседку — спиральную или неправильную галактику. Этот «каннибал» известен также как мощный радиоисточник Кентавр А.

КЕНТАВРЫ — класс малых тел Солнечной системы, движущихся между орбитами Юпитера и Нептуна. Первое из этих тел обнаружил 18 октября 1977 г. Чарлз Коуэл (Ch. Kowal) на фотопластинках, полученных на 1,2-метровой камере Шмидта Паломарской обсерватории (США). Объект получил обозначение 1977 UB, и, как астероиду, ему дали очередной номер 2060. Однако уверенности в том, что это именно астероид, не было, поскольку на таком большом расстоянии от Солнца даже ледяные ядра комет не испускают газ. Поэтому объект назвали Хироном (Chiron) в честь легендарного кентавра, также имевшего двойственную природу. Действительно, когда Хирон проходил в 1988 г. перигелий, у него появились газовая кома и хвост.

К 2005 г. в семействе кентавров было уже 40 членов. Первым из них присваивали мифические имена соплеменников Хирона (Фол, Несс и др.), но их на всех не хватило; кентавры, открытые позже, имеют лишь номера. Их орбиты разнообразны: от круговых до сильно вытянутых (e = 0,95); некоторые значительно наклонены к эклиптике, вплоть до обратного движения вокруг Солнца. Диаметры кентавров 100–300 км, и у них весьма тёмная поверхность. Полное количество кентавров диаметром более 1 км оценивается в 44 тыс.

КЕПЛЕР, Иоганн (Kepler, Johannes) (27.12.1571, Вейль, Германия, — 15.11.1630, Регенсбург, Германия), немецкий астроном. Слабое здоровье уже в юные годы определило ему судьбу учёного. После окончания монастырской школы в Адьдерберге он в 1589 г. поступил в Швабский университет в Тюбингене, где занимался три года, изучая теологию, математику и философию. Вначале астрономия не играла заметной роли в его образовании, хотя в Тюбингене Михаэль Мёстлин познакомил его с теорией Коперника, защита и развитие которой стали в дальнейшем делом жизни Кеплера. Хотя он собирался посвятить себя служению протестантской церкви, но по причине его независимости и слабой религиозности учителя рекомендовали его на должность профессора математики в гимназии города Грац. Это первая должность Кеплера повернула его судьбу в сторону астрономии.

В своём первом сочинении «Тайна Вселенной» (1596), посвящённом поиску соотношений между орбитами планет, Кеплер встал на неверный путь. Тем не менее оригинальность и смелость подхода выявили силу его таланта и привлекли внимание великого Тихо Браге. Он пригласил Кеплера в замок Бенатки под Прагой для помощи в обработке планетных наблюдений, проведённых Браге за всю его жизнь.

Кеплер прибыл к Тихо в январе 1600 г. Это знаменательное сотрудничество двух ведущих астрономов своего времени, — пожилого великого наблюдателя и юного блестящего теоретика — продолжалось всего 22 месяца, вплоть до смерти Тихо. Но Кеплер произвёл в Праге такое впечатление, что через несколько дней после смерти Тихо император Рудольф II назначил на освободившееся место Императорского математика Кеплера. Формально Кеплер занимал этот пост до конца жизни.

Следующее десятилетие в Праге (1602–1612) стало вершиной карьеры Кеплера. Настойчивые попытки математически описать видимое движение Марса по наблюдениям Тихо в рамках существовавших тогда теорий (Птолемея, Тихо, Коперника) привели наконец Кеплера к эмпирическому открытию ныне носящих



Иоганн Кеплер

его имя законов движения планет. Эти законы отражают, как стало известно позже, интегралы движения двух тел, взаимодействующих обратно пропорционально квадрату расстояния (математически эту проблему решил Ньютон в конце того же столетия). Первые два из этих законов, утверждающих, что (1) планеты обращаются вокруг Солнца по эллипсам, в фокусе которых располагается светило, и что (2) радиус-вектор каждой планеты заметает равные площади за равные времена, были опубликованы в «Новой астрономии» (1609) Кеплера. Эта книга стала в один ряд с трудами Коперника и Ньютона. Разумеется, сама идея гелиоцентрической системы мира ещё в античные времена была предложена Аристархом, считавшим, что все планеты с постоянной скоростью движутся по круговым орбитам вокруг Солнца. Но она противоречила наблюдениям (из-за эллиптичности реальных орбит), что вынудило Птолемея разработать сложную геометрическую систему эксцентрических окружностей и эпициклов, бессмысленную с физической точки зрения. Спустя 14 столетий Коперник попытался включить некоторые геометрические идеи Птолемея (эксцентрические окружности) в систему Аристарха, но и он считал, что движения планет должны быть равномерными и круговыми. И только Кеплер понял, что орбиты имеют форму эллипса и планеты движутся по ним с угловой скоростью, обратно пропорциональной квадрату расстояния от Солнца. Эти законы в пределах точности наблюдений полностью согласуются с данными Тихо, а обнаруженные позже небольшие расхождения объяснила ньютонова механика.

Кеплер сам весьма трогательно выразил уверенность в значении достигнутого и в открывающихся перед астрономией перспективах: «Восемнадцать месяцев назад у меня зародился первый проблеск; три месяца назад наступило озарение; а несколько дней назад взошло солнце изумительной ясности; теперь уже ничто меня не остановит... Ну вот, жребий брошен. Я пишу эту книгу для моих современников или – какая в том разница? – для потомков. Не ждал ли сам Господь 6000 лет того, кто с пониманием будет взирать на его труд?»

Многие десятилетия законы Кеплера не вызывали особого интереса в научном мире; их важность была полностью оценена лишь во времена Ньютона. Между прочим, Кеплер сам догадывался, что причиной эллиптического движения может быть сила, обратно пропорциональная квадрату расстояния; но он не мог доказать этого до создания новых математических методов. Это открытие ожидало рождения Ньютона и математического анализа.

Публикация «Новой астрономии» и почти одновременное изобретение телескопа сделали 1609–1610 гг. рубежом между древними и новыми временами. Эти события стали также кульминационной точкой в жизни и научной работе Кеплера. После смерти Рудольфа II положение Кеплера при дворе в Праге становилось всё более неопределённым, и выплата жалованья всё чаще задерживалась. Поэтому он получил у нового императора Матвея разрешение временно занять пост математика провинции Верхняя Австрия в Линце, где фактически и провёл следующие 15 лет.

Основным научным достижением Кеплера в Линце стала публикация «Гармонии Мира» (1619), содержащей его третий закон движения планет: квадраты периодов обращения планет соотносятся как кубы больших полуосей их эллиптических орбит. Следующие 9 лет он трудился над составлением таблиц положения планет, основанных на его новых законах их движения.

Разыгравшаяся тем временем Тридцатилетняя война, религиозная нетерпимость и другие неблагоприятные обстоятельства вынудили его несколько раз менять своих помощников, печатников и даже жилище. Последние 10 лет жизни он скитался по просторам империи в поисках временного пристанища или нового покровителя, который пожелал бы нанять Императорского математика хотя бы на должность астролога. Эти постоянные и бесполезные скитания приводили его в отчаяние, от которого он пытался уйти, размышляя о небесных явлениях.

Планетные таблицы, опубликованные наконец в Ульме в 1629 г. под названием «Рудольфовы таблицы» (в память о его первом покровителе), стали последним крупным событием в жизни Кеплера. Осенью 1630 г. в надежде получить жалованье Императорского математика он отправился в Регенсбург. В возрасте почти 60 лет Кеплер проделал долгий путь из Силезии в Баварию верхом. Это последнее путешествие великого астронома, проехавшего пол-Германии на старой кляче в поисках денег, заработанных им много лет назад, выглядит невероятно трагично. Измотанный переездом, Кеплер прибыл в Регенсбург совершенно больным, вскоре умер и был похоронен на кладбище Св. Петра за городской стеной. Три года спустя это кладбище было разрушено при взятии города герцогом Бернхардом Веймарским, и место могилы Кеплера теперь неизвестно.

КЕРРОВСКАЯ ЧЁРНАЯ ДЫРА – чёрная дыра, обладающая массой и моментом количества движения (моментом импульса), т. е. электрически нейтральная вращающаяся чёрная дыра. Название связано с тем, что точное решение уравнений общей теории относительности, описывающее такой объект, впервые получил в 1963 г. новозеландский математик Рой Керр (Roy Patrick Kerr, p. 16.05.1934).

КЁРТИС, Гебер (Curtis, Heber Doust) (27.06.1872, Маскигон, шт. Мичиган, США, – 9.01.1942, Анн-Арбор, шт. Мичиган, США) – американский астроном. Открыл (1904) спектральную двойственность звезды Кастор A. Обнаружил (1917) вспышки новых звёзд в соседних галактиках и впервые правильно оценил расстояние (1918) до Туманности Андромеды, доказав тем самым, что это самостоятельная галактика.

КИВИОК (S XXIV, Kiviuq) – естественный спутник Сатурна. Его открыли в 2000 г. канадские астрономы Бретт Гладман (Brett J. Gladman) и его коллеги. Спутник назван в честь персонажа эскимосской мифологии. Большая полуось орбиты 11 111 тыс. км. Орбитальный период 449,22 сут. Эксцентриситет орбиты 0,3288. Наклонение орбиты к эклиптике 45,7°; спутник обращается по орбите в прямом направлении, т. е. в сторону вращения планеты. Размер 16 км. Альбедо около 0,04. Цвет красноватый. Видимый блеск $m_R = 22^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 40,2′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

КИЛЛЕНЕ (J XLVIII, Cyllene) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2003). Большая полуось орбиты 23 396 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 731 сут. Эксцентриситет орбиты 0,41. Наклонение орбиты к эклиптике 149°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R \approx 23{,}2^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 3°00′29″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 K.

КИЛОПАРСЕК — единица расстояния в астрономии, равная 1000 парсеков (1 кпк = 1000 пк ≈ 3262 св. года ≈ $3{,}0857 \cdot 10^{19}$ м).

КИЛЬ — южное созвездие, богатое яркими звёздами. В конце XVII столетия большое птолемеевское созвездие Арго (корабль аргонавтов) поделили на три части — Киль, Корму и Паруса. Украшением созвездия Киль стал великолепный бледно-жёлтый гигант Канопус (α Car) блеском $-0{,}73^m$, вторая по яркости звезда ночного неба после Сириуса. Удалённый от нас на 330 св. лет, Канопус светит в 16 тыс раз мощнее Солнца и в 760 раз мощнее Сириуса. Его можно наблюдать в странах, расположенных к югу от 37° с. ш. Канопус — важная навигационная звезда: он расположен недалеко от южного полюса эклиптики, поэтому наряду с Солнцем часто используется в системах астроориентации. Важно, что блеск Канопуса, как и блеск Солнца, чрезвычайно стабилен: это облегчает распознавание ориентира.

По-иному ведёт себя другая знаменитая звезда этого созвездия — Эта Киля (η Car). Эдмонд Галлей наблюдал её в 1677 г. как звезду 4^m. Позже астрономы отмечали её нерегулярную переменность, а в 1840 г. её блеск значительно возрос. К 1843 г. он достиг максимума ($-0{,}8^m$), и тогда η Car стала ярче Канопуса. Затем она начала тускнеть и спустя десятилетие уже была недоступна невооружённому глазу. В минимальном блеске она имела 8^m, но в последние годы XX в. её яркость вновь начала понемногу возрастать. Исследования показали, что в переменности блеска звезды η Car виновата не столько она сама, сколько окружающая её очень компактная и плотная пылевая туманность диаметром всего 0,4 св. года. Она состоит из вещества, сброшенного самой звездой, и быстро меняет свою форму и прозрачность. Если бы не эта туманность, то мы видели бы звезду колоссальной яркости, поскольку её светимость в 5 млн раз выше солнечной. Однако почти весь этот свет поглощается пылью туманности и переизлучается в инфракрасном диапазоне, делая источник η Car самым ярким на инфракрасном небе (исключая объекты Солнечной системы).

Масса звезды η Car в 100 раз больше Солнечной, но ежегодно она теряет в виде звёздного ветра 0,07 массы Солнца — больше любой другой известной звезды. Этот газ улетает от неё со скоростью 700 км/с. Вдали от звезды он охлаждается, и образовавшиеся при этом мельчайшие твёрдые частицы формируют вокруг звезды почти непрозрачный «кокон». Ясно, что долго так продолжаться не может; обычно такая нестабильность знаменует конец жизни звезды. Сегодняшнее её затишье — временное: вполне вероятно, что в ближайшие столетия, а может быть, и десятилетия она взорвётся как сверхновая!

Звезда η Car располагается в центре гигантской газовой туманностью с тем же названием (NGC 3372). Её угловой размером 3° — в 6 раз больше, чем у Луны. Поскольку расстояние до неё около 8000 св. лет, этот угол соответствует линейному диаметру туманности 400 св. лет, что в 12 раз больше, чем у Туманности Ориона. В самом центре яркой туманности η Car, рядом со звездой η Car, расположена тёмная туманность Замочная Скважина (NGC 3324), действительно похожая на отверстие для ключа. В Киле также можно наблюдать рассеянные скопления NGC 2516 и NGC 3532 и шаровое скопление NGC 2808.

КИППЕР, Аксель Янович (Kipper, Aksel) (5.11.1907–25.09.1984) — эстонский астрофизик, академик АН ЭССР (1946), вице-президент АН ЭССР (1946–1950). Окончил Тартусский университет (1930), работал в Тартусской обсерватории (1929–1944). С 1941 г. профессор Тартусского университета. Инициатор создания Института физики и астрономии АН ЭССР (с 1973 г. — Институт астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР) и его первый директор (1950–1974). Объяснил (1950) непрерывный спектр газовых туманностей, развил теорию колебаний во внешних слоях пульсирующих звёзд, предложил (1962) модификацию ньютоновской теории тяготения.

КИРАЛЬНОСТЬ — свойство элементарных частиц, состоящее в различии правого и левого и указывающее на то, что Вселенная является несимметричной относительно замены правого на левое и наоборот. В физических теориях киральность — это сохраняющееся квантовое число в теориях полей, обладающих киральной симметрией. В более общем случае, в других дисциплинах, этот термин означает то же, что и хиральность (от греч. *cheir* — рука) — отсутствие симметрии относительно правой и левой стороны. Например, если отражение объекта в идеальном плоском зеркале отличается от самого объекта (как отражение руки: левая становится правой), то объекту присуща хиральность.

КИРКВУД, Дэниел (Kirkwood, Daniel) (27.09.1814, округ Харфорд, шт. Мэриленд, США, — 11.06.1895, Риверсайд, шт. Калифорния, США) — американский астроном. Обнаружил (1857) провалы в распределении средних расстояний астероидов от Солнца (люки Кирквуда или провалы Кирквуда). Первым рассмотрел связь комет с метеорами (1861) и астероидами (1866). Выделил (1892) 32 группы астероидов.

КИТ — крупное экваториальное созвездие. В греческих мифах это чудище, посланное Посейдоном, чтобы разрушить страну царя Цефея и погубить его дочь Андромеду. Кит окружён в основном «водными» созвездиями: он лежит к югу от Рыб, протянувшись от Водолея на западе до Эридана на востоке. Самая известная звезда в Ките — о Cet (омикрон Кита), которую издавна называют Мира, т. е. «изумительная». Это красный гигант, долгопериодическая переменная, изменяющая блеск с периодом 332 сут от 3^m до 11^m. Представляет интерес компактная спиральная галактика 9^m с яркой центральной частью M77 (NGC 1068); она относится к типу сейфертовских галактик, в её ядре происходят активные процессы выделения энергии. Следует обратить внимание и на большую, но довольно бледную спиральную галактику NGC 47 с тусклым ядром и необычной тёмной овальной областью на диске, охваченной, как петлёй, спиральным рукавом.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК — подразделение галактик на группы, основанное на их объективных признаках — физических (светимость, масса и др.), морфологических (наблюдаемая форма, состав) и т. п. Путём объединения галактик в группы по одной или нескольким характеристикам, таким как форма, спектр и светимость, были разработаны различные схемы классификации для наведения порядка в этом галактическом «зверинце». Приведём несколько таких схем, хотя их гораздо больше, включая схемы классификации радиогалактик или других редких звёздных систем.

Классификация по Хабблу. Это наиболее известная и часто используемая схема, предложенная Эдвином Хабблом в 1925 г. Это морфологическая система классификации галактик, основанная только на их наблюдаемой форме. Согласно классификации Хаббла, выделяется три основных класса галактик: спиральные (S, SB) и эллиптические (E) галактики весьма симметричны, а неправильные, или иррегулярные, галактики (Ir или Irr) имеют несимметричный, клочковатый вид. Буквенные обозначения этих типов происходят от английских слов *spiral*, *elliptical* и *irregular*.

В свою очередь, спиральные галактики подразделяются на два подкласса: нормальные спирали (S) и спирали с перемычкой, или баром, которые иногда называют пересечёнными спиралями (SB). У нормальных спиралей рукава начинаются практически от самого центра, а у пересечённых спиралей рукава отходят от концов прямолинейной структуры (бара, перекладины), симметрично пересекающей центр галактики.

Группу эллиптических галактик представляет ряд, начинающийся со сферических галактик (E0) и заканчивающий-

ся очень вытянутыми галактиками (E6 и E7). Цифра в этих обозначениях указывает степень наблюдаемой вытянутости эллипсоида и вычисляется по формуле $10(a-b)/a$, где a и b — длина большой и малой осей эллипса, аппроксимирующего видимую форму галактики.

Кроме этого, нормальные и пересечённые спирали подразделяются по степени закрученности рукавов, которая указывается в виде строчной латинской буквы «a», «b» или «c» в порядке уменьшения плотности закрутки рукавов и роста их клочковатости. Нормальные спирали охватывают диапазон от Sa (с туго закрученными рукавами) до Sc (с большим расстоянием между рукавами, быстро удаляющимися от центра по мере продвижения от начала рукава в центре галактики к его окончанию на краю галактики). Такую же последовательность образуют и пересечённые спирали: SBa, SBb и SBc.

К этой схеме Аллан Сэндидж добавил и другие категории, например S0 («эсноль») для описания линзообразных систем с ядрами, окружёнными дискообразной структурой, лишённой газового диска и спиральных рукавов. Иногда говорят, что галактики относятся к «ранним» (E и S0) или «поздним» (Sb, Sc, Irr) типам. Это отголосок устаревших представлений о том, что галактики эволюционируют вдоль последовательности E→S→Irr, как полагал Хаббл.

Классификацию Хаббла часто изображают графически в виде «камертонной» диаграммы. Ножкой камертона служит последовательность эллиптических галактик от E0 до E7. У типа S0 она раздваивается, превращаясь в «вилку» — в две последовательности спиральных галактик. Вдоль одной из них идут нормальные спирали (от Sa до Sc), а вдоль другой — пересечённые (от SBa до SBc). Неправильные системы обычно в этот «камертон» не вписываются либо скромно располагаются за галактиками Sc и SBc, поскольку у них предельно клочковатый вид.

Классификация по Моргану. Схема, разработанная Уильямом Морганом (W. Morgan), опирается на интегральный оптический спектр галактики, её форму (реальную и видимую) и степень концентрации звёзд к центру системы. В этой схеме спектральные типы галактик обозначаются как a, af, f, fg, g, gk и k в соответствии со спектральной последовательностью звёзд (A, F, G, K). Формы обозначаются как S (спиральная), B (пересечённая спираль), E (эллиптическая), I (неправильная), Ep (эллиптическая с поглощением света пылью), D (круговая симметрия без явных признаков спиральной структуры или эллиптической формы), L (низкая поверхностная яркость) и N (маленькое яркое ядро). Наклон к лучу зрения может изменяться от 1 (плашмя) до 7 (с ребра). Например, галактика Андромеда по этой классификации обозначается как kS5.

Классификация спиральных галактик по Вокулёру и Сэндиджу (de Vaucouleurs–Sandage classification). Основные типы — SA (нормальные спирали) и SB (пересечённые спирали). Затем строчной буквой в скобках указывается форма спирали: от s (S-образные спирали) до r (кольцевые спирали). Кроме того, между SA- и SB-спиралями и неправильными галактиками типа Магеллановых Облаков (Im) добавлено несколько переходных стадий. В этой системе галактика Андромеда обозначается как SA(s)b.

Классификация по ван ден Бергу (Sidney van den Bergh), или DDO-классификация (от David Dunlap Observatory). Включает в себя два параметра — морфологический тип и класс светимости. Тип галактики (Sa, Sb, Sc, Ir) указывается просто по Хабблу. Обозначение S(B) введено для описания промежуточных объектов между нормальными и пересечёнными спиралями. Класс светимости (I, II, III, IV, V) аналогичен классификации звёзд по светимостям: I — сверхгиганты, II — яркие гиганты, III — гиганты, IV — субгиганты, V — карлики. Классу I соответствует абсолютная звёздная величина в фильтре B около $-20{,}5^m$ (т. е. $2\cdot10^{10}\ L_\odot$), а классу V соответствует звёздная величина -14^m ($10^8\ L_\odot$). Не известно ни одной спирали типов Sa или Sb, светимость которых была бы меньше, чем класс III.

КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ПО МАКИНТОШУ — простая схема классификации солнечных пятен по размеру и внешнему виду, использующая комбинации из латинских букв. Первая буква определяет общий вид пятна или группы пятен, вторая буква служит для описания наибольшего пятна в группе, третья используется для описания характера распределения пятен в группе. В современных исследованиях используют её вариант — систему Цюрих/Макинтош (Zürich/McIntosh system). Вместе с тем используются и другие схемы классификации, например, в Магнитной классификации обсерватории Маунт-Вилсон основным критерием служит конфигурация магнитного поля солнечного пятна.

КЛАССЫ СВЕТИМОСТИ — система классификации звёзд по их светимости. Фактически это деление оптических звёздных спектров на типы, дополнительное к спектральным классам звёзд. При этом звёзды близких спектральных классов делятся на группы по светимости. Физической основой классификации служит степень уширения спектральных линий под влиянием давления газа в атмосфере звезды. Звёзды высокой светимости существенно больше по размеру, чем звёзды низкой светимости того же спектрального класса. Поэтому у звёзд высокой светимости низкие плотность и давление в атмосфере; как результат — узкие линии поглощения в спектре. А у звёзд-карликов меньшей светимости давление в атмосфере выше и поэтому более широкие линии в спектре.

Класс светимости указывают римской цифрой после спектрального класса звезды. Солнце — звезда спектрального класса G2 — имеет класс светимости V, поэтому полная характеристика его спектра записывается как G2V. Фактически каждый класс светимости указывает определённую последовательность (группу) звёзд на диаграмме Герцшпрунга–Рассела. Кроме отмеченных в таблице классов на этой диаграмме иногда выделяют положение самых ярких сверхгигантов, звёзд очень редкой «породы», обозначая её как Ia–O или как Ia^+. В некоторых классификациях присутствует также бело-голубая последовательность (класс светимости VIII), образованная ядрами планетарных туманностей.

Основные классы светимости звёзд

Класс светимости	Тип звезды
Ia	Яркие сверхгиганты
Iab	Сверхгиганты
Ib	Сверхгиганты низкой светимости
II	Яркие гиганты
III	Гиганты
IV	Субгиганты
V	Карлики главной последовательности
VI	Субкарлики
VII	Белые карлики

КОГЕРЕНТНОСТЬ — степень корреляции (совпадения по фазе) колебаний у двух или более волн. Излучение лазеров и мазеров имеет когерентность 100%.

КОЗЕРОГ — сравнительно небольшое и невыразительное зодиакальное созвездие, которое поздним вечером в августе и только в безлунную ночь можно найти в Зодиаке между Водолеем и Стрельцом. Если в Козероге вы увидите действительно яркую звезду, то знайте — это не звезда, а планета. Древние называли это созвездие «рыба-коза», и в этом странном виде оно представлено на многих картах. Впрочем, иногда оно отождествляется с богом лесов, полей и пастухов Паном. Его звезды образуют силуэт, напоминающий перевёрнутую шляпу, хотя при желании в них можно увидеть и фигуру рогатого животного, как это удалось Г. Рею (1969). Наиболее примечательный объект в Козероге — шаровое скопление M30 с весьма плотным ядром. В этом созвездии 23 сентября в 1846 г. была откры-

та планета Нептун; сделали это астрономы Берлинской обсерватории Иоганн Галле (1812–1910) и Генрих д'Арре (1822–1875), получившие накануне точное теоретическое предсказание французского математика и астронома Урбена Леверье (1811–1877). Самую северную звезду в этом созвездии, α Козерога, можно разрешить как двойную невооружённым глазом.

КОЗЫРЕВ, Николай Александрович (19.08.1908, Санкт-Петербург, Россия, – 27.02.1983, Ленинград, СССР) – советский астроном, сотрудник Пулковской обсерватории с 1931 г. Репрессирован (1936–1946); полностью реабилитирован (1958). Доктор физико-математических наук (1947). Разработал (1934) теорию протяжённых атмосфер (теория Козырева–Чандрасекара), теорию солнечных пятен. Получил спектрограммы (1958) лунного кратера Альфонс, свидетельствующие о выходе газов из центральной горки кратера.

КОЙПЕР, Джерард Петер (Kuiper, Gerard Peter) (7.12.1905, Туйтьенхорн, Нидерланды, – 23.12.1973, Мехико-сити, Мексика) – американский астроном. Окончил Лейденский университет (1927) и работал там же под руководством Э. Гершпрунга. С 1933 г. жил в США. Работал в Ликской обсерватории (1933–1935), Гарвардском (1935–1936) и Чикагском (1936–1960, с 1943 – профессор) университетах. В 1947–1949 и 1957–1960 гг. директор обсерваторий – Йеркской и Мак-Дональд. В 1960 г. организовал в Аризонском университете Лунно-планетную лабораторию, которой руководил до 1973 г.

Спектроскопически обнаружил углекислый газ в атмосфере Марса. Открыл пятый спутник Урана – Миранду (1948) и второй спутник Нептуна – Нереиду (1949). Обладал чрезвычайно острым зрением: невооружённым глазом видел звёзды до $7{,}5^m$. Обсуждал существование малых тел за орбитой Нептуна, в области, которую позже стали называть поясом Койпера. Развивал протопланетную космогоническую гипотезу, согласно которой двойные звёзды и звезды с планетными системами образуются в результате аналогичных процессов из турбулентных дозвёздных облаков, сжимающихся с сохранением углового момента. Открыл и исследовал много двойных звёзд. Опубликовал (1937) первые диаграммы спектр–светимость для звёздных скоплений, на которых теоретические расчёты звёздной эволюции сравнивались с результатами наблюдений; подобные диаграммы сыграли большую роль в изучении эволюции звёзд.

Организовал глубокий фотографический поиск астероидов (1949–1956). В связи с началом исследования Луны с помощью космических аппаратов провёл многочисленные визуальные и фотографические наблюдения её поверхности на 82-дюймовом телескопе. Руководил программой фотографирования Луны с космических аппаратов «Рейнджер», принимал участие в работах по программам «Сервейор», «Орбитер» и «Аполлон». Руководил созданием четырёх атласов Луны, составленных в результате выполнения этих программ. Дал описание структуры различных объектов на поверхности Луны. Организовал издание и был редактором двух серий коллективных монографий – «Солнечная система» (т. 1–4, 1953–1961) и «Звёзды и звёздные системы» (т. 1–9, издание начато в 1960 г.).

КОЛБОЧКА – светочувствительная клетка; см. *Сетчатка*.

КОЛИЧЕСТВО ЗВЁЗД, ВИДИМЫХ НЕВООРУЖЁННЫМ ГЛАЗОМ, – число звёзд, доступных (заметных) при наблюдении на ясном ночном небе для человека с хорошим зрением (либо в очках) после достаточно длительной (> 15 мин) адаптации к темноте. Обычно указывается количество таких звёзд на полной небесной сфере, тогда как единовременно даже при полностью открытом горизонте можно наблюдать лишь около 40% этих звёзд по причине сильного поглощения света в атмосфере вблизи горизонта.

Разные авторы указывают различное число доступных глазу звёзд. Часто в научно-популярной литературе можно увидеть цифру 6000, однако авторитетные наблюдатели нередко дают иную оценку: «Число звёзд, которые видны без помощи телескопа, весьма незначительно. Г-н Аргеландер в своей «Уранометрии» даёт список 3256 звёзд, видимых невооружённым глазом от Северного полюса до 36° южного склонения, т. е. немного менее чем на восьми десятых небесного свода. Для других двух десятых в окрестностях южного небесного полюса нужно прибавить 844 звезды. Мы будем иметь тогда на всём небесном своде 4100 звёзд, видимых человеком со средним зрением. Это число увеличивается почти до 6000 для лиц, наделенных острым зрением» (Струве В. Я. «Этюды звёздной астрономии». М.: Изд-во АН СССР, 1953, с, 9).

В примечании к этому абзацу из книги В. Я. Струве её переводчик М. С. Эйгенсон и редактор акад. А. А. Михайлов пишут: «Одной из причин резкого различия числа действительно визуально подсчитанных звёзд с тем числом, которое (неточно) оценивается при общем созерцании неба без фиксирования зрения на каком-нибудь одном определённом его участке, может быть большая чувствительность бокового зрения, в котором участвуют периферические части сетчатки, по сравнению с прямым зрением. Поэтому при общем созерцании звёздного неба нам кажется (и это ощущение вполне соответствует действительности), что на небе звёзд очень много. «Открылась бездна, звёзд полна, звездам числа нет...» – весьма точно передал это ощущение бесчисленности звёзд в своём знаменитом стихотворении «Вечернее размышление о божьем величестве при случае великого северного сияния» М. В. Ломоносов. При звёздных же подсчётах мы не просто созерцаем всё небо, попадающее в наше, весьма широкое у людей с нормальным зрением, поле зрения, а фиксируем рассматриваемую звезду в области жёлтого пятна с его пониженной относительно боковых областей сетчатки чувствительностью» (указ. соч., с. 209).

Добавим, что число видимых звёзд чрезвычайно сильно зависит от состояния неба. Например, в условиях ночного освещения городов редко удаётся увидеть звёзды слабее 4^m, которых на всём небе лишь около 500. С другой стороны, в высокогорных условиях человек с острым зрением после длительной (> 40 мин) темновой адаптации замечает звёзды до 7^m, которых около 15 тыс. Но в типичных условиях загородного неба при небольшой высоте над уровнем моря (около 500 м) человек с нормальным зрением видит звёзды приблизительно до 6^m, которых на всём небе около 4800. Эта оценка близка к указанной В. Я. Струве.

КОЛЛАПС – явление катастрофического сжатия тела под действием его собственного гравитационного поля. Чтобы подчеркнуть это обстоятельство, часто говорят «гравитационный коллапс». Например, в конце эволюции ядра массивных звёзд испытывают коллапс, сжимаясь при этом до состояния нейтронной звезды или чёрной дыры. Подробнее см. *Гравитационный коллапс*.

КОЛОННА – опора для монтировки телескопа, представляющая собой прочный вертикальный столб круглого или квадратного сечения. Постоянные колонны могут быть каменными или бетонными, с глубиной фундамента от одного метра и более для максимального уменьшения вибрации. При этом колонна не должна соприкасаться с фундаментом и конструкцией башни во избежание передачи ветровой и механической вибрации от башни на колонну. Переносные колонны обычно имеют форму центрального столба с тремя или четырьмя горизонтальными опорами, которые можно снимать для транспортировки.

КОЛОРИМЕТРИЯ ЗВЁЗД – количественное изучение цветов звёзд методами многоцветной фотометрии. Звезду фотографируют или измеряют её блеск фотоэлектрическим методом через различные светофильтры.

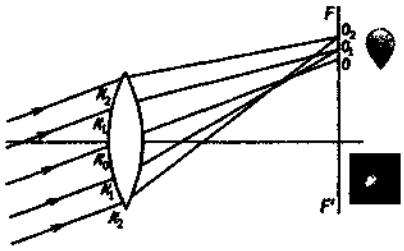
КОЛЬЦА ПЛАНЕТ — потоки твёрдых частиц, движущихся в близких окрестностях планет-гигантов Солнечной системы. Состоят из мелких тел (рыхлые снежные комья, ледяные глыбы, пылевые частицы), которые обращаются вокруг планеты в одном направлении, преимущественно в её экваториальной плоскости, и образуют систему тонких колец, как бы вложенных одно в другое. Наиболее плотные области колец простираются от верхних слоёв атмосферы до расстояния в несколько радиусов планеты. Но разреженные кольца могут наблюдаться во всей области, занятой спутниками планеты, и при этом не лежать в экваториальной плоскости планеты.

Наиболее яркие кольца планет были открыты у Сатурна с началом телескопических наблюдений (XVII в.). Помимо Сатурна кольца имеют Юпитер, Уран и Нептун. Сложная структура колец связана с гравитационным влиянием на них со стороны спутников планеты. По современным представлениям, кольца планет образованы остатками газово-пылевого облака, некогда окружавшего формирующуюся планету. Во внешних частях этого облака миллиарды лет назад произошло образование спутников планет, а его внутренние части сохранились в раздробленном состоянии, приняв форму плоских колец. Некоторые кольца могут иметь временный характер и быть образованы веществом, выброшенным с поверхности спутников в результате их внутренней активности (криовулканизм и пр.) или сильного удара по их поверхности.

КОЛЬЦО АДАМСА — одно из колец Нептуна, открытых по снимкам, переданным межпланетным зондом «Вояджер-2» (NASA) в 1989 г. Кольцо имеет вид нити с бусами. Его вещество сосредоточено в четырёх дугах, связанных перемычками из мелких пылевых частиц. Возможно, оно возникло в результате разрушения одного из спутников планеты диаметром около 10 км после его соударения с кометой.

КОЛЮРЫ — меридианы постоянных прямых восхождений. Большой круг, проходящий через полюсы мира и точки весеннего и осеннего равноденствий, называют колюром равноденствий, а проходящий через полюсы мира и точки летнего и зимнего солнцестояний — колюром солнцестояний.

КОМА (в оптике) — одна из геометрических внеосевых аберраций оптических систем, нарушающая симметрию пучка лучей относительно его оси. Равномерно нанесённым на входном зрачке окружностям соответствует в плоскости изображения семейство окружностей, центры которых удаляются от параксиального изображения, а радиусы увеличиваются.



Кома. На линзу падает пучок параллельных лучей. Каждая радиальная зона линзы создает в фокальной плоскости *FF'* изображение в виде кольца, сдвинутого от оси и расширенного тем сильнее, чем больше радиус зоны. Справа: вверху — теоретический вид комы (негатив), внизу — изображение звезды, испорченное комой

Огибающей этих окружностей (каустикой) являются две прямые, составляющие угол 60°. Параллельный пучок, идущий под углом к оптической оси объектива, образует в фокальной плоскости не точку, а характерное пятно, напоминающее веер с углом раствора 60° или комету с коротким и толстым хвостом (греч. *kome* — волосы, хвост). Изображение точки при наличии комы имеет вид несимметричного пятна, освещённость которого максимальна у вершины фигуры рассеяния и вблизи каустики. Линейный размер пятна пропорционален угловому расстоянию звезды от оптической оси и квадрату относительного отверстия объектива телескопа. Кома отсутствует на оси центрированных оптических систем. Кома особенно велика в телескопах с параболическими зеркалами; именно она в основном ограничивает их поле зрения.

КОМЕТЫ — малые тела Солнечной системы, состоящие изо льда и пыли. Характерными признаками комет, наблюдающимися при их приближении к Солнцу, служат кома (газ и пыль, окружающие твёрдое ядро) и длинный хвост (один или несколько, из ионизованного газа и пыли). Характерный размер твёрдого ядра кометы оценивается от единиц до нескольких десятков километров. В 2011 г. известно около 500 периодических (иногда говорят «короткопериодических») комет, имеющих орбитальный период менее 200 лет, а также сотни долгопериодических или непериодических комет, наблюдавшихся лишь при одном прохождении вблизи Солнца и имеющих либо очень большие орбитальные периоды, либо межзвёздное происхождение.

С кометами связаны разнообразные физические процессы — от сублимации (сухого испарения) льда до плазменных явлений. Кометы — это остатки формирования Солнечной системы, своеобразная переходная ступень к межзвёздному веществу. Все или почти все кометы являются членами Солнечной системы. Они, как и планеты, подчиняются законам тяготения, но движутся весьма своеобразно. Все планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении (которое называют «прямым», в отличие от «обратного») по почти круговым орбитам, лежащим примерно в одной плоскости — в плоскости эклиптики. А кометы движутся как в прямом, так и обратном направлениях по сильно вытянутым (эксцентричным) орбитам, наклонённым под различными углами к эклиптике. Именно характер движения сразу выдаёт комету.

Долгопериодические кометы прилетают с расстояний, в тысячи раз бóльших, чем до самых далёких планет, причём их орбиты наклонены под всевозможными углами. Короткопериодические кометы приходят из района внешних планет, двигаясь в прямом направлении по орбитам, лежащим недалеко от эклиптики. Вдали от Солнца кометы обычно не имеют хвостов, но иногда имеют еле видимую кому, окружающую более яркое оптическое ядро; вместе их называют головой кометы. С приближением к Солнцу голова увеличивается и появляется хвост.

Приближаясь к Солнцу, твёрдое ядро кометы нагревается, и льды сублимируются, т. е. испаряются без плавления. Образовавшийся газ разлетается во все стороны от ядра, унося с собой пылинки и образуя кому. Разрушающиеся под действием солнечного света молекулы воды формируют вокруг ядра кометы огромную водородную корону, диаметр которой бывает больше Солнца. Помимо солнечного притяжения, на разреженное вещество кометы действуют и отталкивающие силы, благодаря которым образуется хвост. На нейтральные молекулы, атомы и пылинки действует давление солнечного света, а на ионизованные молекулы и атомы сильнее влияет давление солнечного ветра. Плазменный хвост, состоящий из заряженных частиц, имеет сложную магнитную структуру. На обращённой к Солнцу стороне комы формируется лобовая ударная волна, проявляющая высокую плазменную активность. Хотя в хвосте и коме заключено менее одной миллионной доли массы кометы, 99,9% света исходит именно из этих газовых образований, и только 0,1% — от ядра. Дело в том, что ядро очень компактно и к тому же может иметь низкий коэффициент отражения (альбедо). С приближением к Солнцу комета в целом быстро увеличивает свою яркость (см. *Абсолютная звёздная величина кометы*).

Потерянные кометой пылинки движутся по своим орбитам и, попадая в атмосферы планет, становятся причиной метеоров. Большинство наблюдаемых нами метеоров связано именно с кометными частицами. Иногда разрушение комет носит более катастрофический характер. Открытая в 1826 г. комета Биелы в 1845 г. на глазах у наблюдателей разделилась на

две части. Когда в 1852 г. её видели в последний раз, куски её ядра удалились друг от друга на миллионы километров. Деление ядра обычно предвещает полный распад кометы. Когда в 1872 г. и 1885 г. комета Биелы должна была пересекать орбиту Земли, наблюдались необычайно обильные метеорные дожди (см. *Метеоры*). Иногда кометы разрушаются при сближении с планетами, как это произошло, например, 1992 г. с кометой Шумейкеров–Леви-9, разрушившейся вблизи Юпитера, а затем по частям упавшей на него.

Короткопериодические кометы часто сближаются с Солнцем, интенсивно испаряются и поэтому живут недолго. После нескольких сотен или тысяч таких пролётов в ядре не остаётся легкоплавких веществ, и оно перестаёт быть видимым. Для регулярно сближающихся с Солнцем короткопериодических комет это означает, что менее чем за миллион лет их популяция должна стать невидимой. Но мы их наблюдаем, значит, в эту группу постоянно приходит пополнение из «свежих» комет. Это происходит в результате «захвата» летящих издалека комет планетами, в основном Юпитером. Раньше считалось, что захватываются кометы из числа долгопериодических, приходящих из облака Оорта, но теперь думают, что их источником служит кометный диск, называемый внутренним облаком Оорта. В принципе представление об облаке Оорта не изменилось, но расчёты показали, что приливное влияние Галактики и массивных облаков межзвёздного газа довольно быстро должны разрушать его. Нужен источник его пополнения. Таким источником теперь считают внутреннее облако Оорта, значительно более устойчивое к приливному влиянию и содержащее на порядок больше комет, чем внешнее облако. После каждого сближения Солнечной системы с массивным межзвёздным облаком кометы из внешнего облака Оорта разлетаются в межзвёздное пространство, а им на смену приходят кометы из внутреннего облака.

Переход кометы с почти параболической орбиты на короткопериодическую происходит в том случае, если она догоняет планету сзади. Обычно для окончательного перехода требуется несколько проходов кометы через планетную систему. Результирующая орбита кометы, как правило, имеет небольшое наклонение и большой эксцентриситет, а комета получает прямое движение. Её афелий (наиболее удалённая от Солнца точка орбиты) лежит вблизи орбиты захватившей её планеты. Эти теоретические соображения полностью подтверждаются статистикой кометных орбит.

Газообразные продукты сублимации оказывают реактивное давление на ядро кометы (подобное отдаче ружья при выстреле), которое приводит к эволюции орбиты. Наиболее активный отток газа происходит с нагретой Солнцем «послеполуденной» стороны ядра. Поэтому направление силы давления на ядро не совпадает с направлением солнечных лучей и солнечного тяготения. Если осевое вращение ядра и его орбитальное обращение происходят в одном направлении, то давление газа в целом ускоряет движение ядра, приводя к увеличению орбиты. Если же вращение и обращение происходят в противоположных направлениях, то движение кометы тормозится и орбита сокращается. Если такая комета первоначально была захвачена Юпитером, то через некоторое время её орбита целиком оказывается в области внутренних планет.

Особую группу составляют короткоперигелийные кометы (их называют «кометы, задевающие Солнце»). Вероятно, они образовались тысячелетия назад в результате приливного разрушения крупного, не менее 100 км в диаметре, ядра. После первого катастрофического сближения с Солнцем фрагменты ядра совершили около 150 оборотов, продолжая распадаться на части. Двенадцать членов этого семейства комет Крейца наблюдалось между 1843 и 1984 гг. Возможно, их происхождение связано с большой кометой, которую видел Аристотель в 371 г. до н. э.

Наблюдение комет и даже их открытие нередко осуществляются любителями астрономии. Некоторые из них за годы упорных наблюдений открыли по многу комет. Иногда кометы бывают столь яркими, что привлекают всеобщее внимание. В прошлом появление ярких комет вызывало у людей страх и служило источником вдохновения для художников. В наше время интерес учёных к кометам связан с тем, что в твёрдом ядре кометы при низкой температуре миллиарды лет сохраняется исходное вещество, из которого сформировалась Солнечная система. При сближении кометы с Солнцем все её внешние проявления так или иначе связаны с ядром. Американский астроном Фред Уиппл (1906–2004) предположил, что оно является монолитным телом, сложенным в основном из водяного льда и частиц пыли. Такая модель «грязного снежка» легко объясняет многократные пролёты комет вблизи Солнца: при каждом пролёте испаряется тонкий поверхностный слой (0,1–1% полной массы), сохраняя внутреннюю часть ядра. Возможно, ядро является конгломератом нескольких «кометезималей», каждая не более километра в диаметре. Такая структура могла бы объяснить распад ядер на части, как это наблюдалось у кометы Биелы в 1845 г. или у кометы Веста в 1976 г. Сближения космических зондов с ядрами нескольких комет, начиная с кометы Галлея, позволило рассмотреть их детально: внешне они скорее напоминают монолиты, чем груду камней.

Исходя из наблюдаемого количества и орбитальных параметров комет, эстонский астроном Эрнст Юлиус Эпик (1893–1985) вычислил вероятность столкновения Земли с ядрами комет различного размера. В среднем наша планета имеет шанс 1 раз за 1,5 млрд лет столкнуться с ядром диаметром 17 км, а это может полностью уничтожить жизнь на территории, равной площади Северной Америки. За 4,5 млрд лет истории Земли такое могло случаться неоднократно. Гораздо чаще происходят катастрофы меньшего масштаба: в 1908 г. над Сибирью вошло в атмосферу и взорвалось, возможно, ядро небольшой кометы, вызвав вывал леса на большой территории (так называемый Тунгусский метеорит). Пока мы не способны точно предсказать подобные события, но уже можем оценить их вероятность.

КОМЕТА ГАЛЛЕЯ — самая знаменитая из всех комет; единственная из короткопериодических комет (имеющих орбитальный период менее 200 лет), легко доступная для наблюдения невооружённым глазом. В исторических хрониках отмечено 30 её появлений: начиная с 240 г. до н. э. она наблюдалась каждый раз при своём возвращении к Солнцу, без единого пропуска.

Комета Галлея была первой, для которой удалось предсказать, что она будет периодически возвращаться в центральную область Солнечной системы. Используя математический аппарат, разработанный Исааком Ньютоном, его коллега Эдмунд Галлей (1656–1742) вычислил параметры орбит 24 комет, наблюдавшихся астрономами в предшествовавшие годы. Оказалось, что кометы, появлявшиеся в 1531, 1607 и 1682 гг., имели похожие орбиты. Галлей предположил, что в действительности это один и тот же объект, и предсказал, что комета, носящая сейчас его имя, вернётся к Солнцу в конце 1758 г. или в начале 1759 г. Когда в конце 1758 г. немецкий любитель астрономии Иоганн Палич обнаружил комету на небе, это стало триумфом расчётов Галлея и положенных в их основу законов Ньютона.

Орбитальный период кометы Галлея около 75,3 года. За это время она успевает пройти на расстоянии 0,586 а. е. от Солнца, затем удалиться от него на 35,1 а. е. (за орбиту Нептуна) и вновь вернуться к Солнцу. Когда комета вернулась в 1910 г., Земля прошла сквозь её хвост. Это не имело никаких последствий, но вызвало сильное волнение населения. Последний раз комета Галлея появилась в марте 1986 г. В этот момент её наблюдали не только многочисленные любители астрономии и профессиональные учёные, но и пять международных космических аппаратов. Это было первое в истории исследование ядра кометы с близкого рас-

стояния, позволившее получить его изображение. Японские зонды «Сакигаке» и «Суйсей» издалека наблюдали огромное водородное облако, окружающее комету, и исследовали взаимодействие кометы с заряженными частичками солнечного ветра. Советские зонды «Вега-1 и -2» прошли 6 и 9 марта на расстояниях 8871 и 8014 км от ядра кометы. Зонд Европейского космического агенства «Джотто» прошёл 14 марта ближе остальных от ядра кометы – всего в 605 км.

Телевизионные изображения, переданные европейским и советскими зондами, показали чёрное как смоль ядро кометы. Сопоставив наземные и космические наблюдения газа и пыли, окружающих ядро, учёные сделали вывод, что оно примерно на 50% состоит изо льда, а остальное составляют пыль и другие нелетучие вещества. Лёд состоит в основном из воды (80%) и окиси углерода (10%), а остальное – это формальдегид, двуокись углерода, метан, аммиак и синильная кислота. Нелетучая часть, в основном представленная пылинками микронного размера, состоит либо из каменистого вещества, либо из лёгких углеводородов. Количество пыли вблизи ядра оказалось значительно выше ожидаемого.

Внешне ядро кометы Галлея представляет собой картофелеобразный объект размерами около 15×10×8 км. Масса ядра 220 млрд т, а средняя плотность около 0,6 г/см^3 (во всяком случае – от 0,2 до 1,5 г/см^3). Ядро покрывает очень тёмная кора: она чернее угля, от неё отражается только 4% света. Возможно, кора покрыта слоем органических соединений. В некоторых местах коры видны разломы, сквозь которые просматривается подкорковое вещество, состоящее в основном из водяного льда с вкраплениями тёмных пылинок. Поскольку ядро кометы вращается вокруг своей оси с периодом около двух суток, этот лёд под влиянием солнечного света испаряется и превращается в газ, который, вылетая из ядра, захватывает с собой пылевые частицы. Скорость убегания с поверхности ядра всего около 2 м/с.

Именно это ядро, похожее на небольшой грязный айсберг, в период сближения с Солнцем поставляет весь газ и пыль, образующие необъятную атмосферу и хвост кометы. С кометой Галлея, теряющей по пути пыль, связаны два ежегодных метеорных потока: Эта-Акварииды, наблюдающийся с 24 апреля по 20 мая, и Ориониды, наблюдающийся 17–26 октября.

На своём длинном пути по орбите комета Галлея попадает под действие гравитационного притяжения планет, мимо которых она проходит, а приблизившись к Солнцу, ощущает слабую отдачу от испаряющихся с поверхности её ядра газов. Под действием этих возмущений орбитальный период кометы может меняться на несколько лет от одного её появления до другого. Расчёт движения кометы Галлея в прошлое позволяет вычислить каждое из её 30 появлений между 240 г. до н. э. и 1986 г. Следующие по времени два её прохождения близ Солнца ожидаются 28 июля 2061 г. и 27 марта 2134 г. Пролёт кометы в 1986 г. немного разочаровал наблюдателей, поскольку она не подошла достаточно близко к Земле. Её минимальное расстояние от нашей планеты 10 апреля 1986 г. составляло 63 млн км. К сожалению, во время возвращения в 2061 г. комета не подойдёт к Земле ближе чем на 71 млн км. Это случится 29 июля 2061 г. А возвращение 2134 г. будет более впечатляющим, так как комета 7 мая 2134 г. будет находиться от Земли на расстоянии 13,7 млн км.

КОМЕТА ДЖАКОБИНИ—ЦИННЕРА – периодическая комета 21P/Giacobini–Zinner. Её открыл Мишель Джакобини в 1900 г. и переоткрыл Эрнст Циннер в 1913 г. Орбитальный период 6,59 лет. В перигелии комета приближается к орбите Земли. Именно с этой кометой 11 сентября 1985 г. впервые сблизился космический аппарат: «International Cometary Explorer» (NASA) прошёл через хвост кометы на расстоянии 7800 км от ядра, изучив плазменный компонент хвоста. Запущенный в 1978 г., этот аппарат первоначально назывался International Sun-Earth Explorer-3 (ISEE-3) и работал на околоземной орбите. В 2012 г. он ещё фуикционирует на околосолнечной орбите; 10 августа 2014 г. ожидается его возвращение к Земле. С кометой Джакобини–Циннера связан метеорный поток Драконииды (Джакобиниды), наблюдающийся ежегодно в районе 9 октября.

КОМЕТА ШУМЕЙКЕРОВ—ЛЕВИ-9 – первая комета, падение которой на планету было предвычислено и наблюдалось учёными. 24 марта 1993 г. на обсерватории Маунт Паломар (Калифорния) астрономы Кэролайн и Юджин Шумейкеры совместно с Дэйвидом Леви открыли недалеко от Юпитера комету с уже разрушенным ядром. Вычисления показали, что 9 июля 1992 г. комета Шумейкеров–Леви-9 (это была уже девятая комета, открытая ими) прошла вблизи Юпитера на расстоянии половины радиуса планеты от её поверхности и была разорвана её притяжением более чем на 20 частей. До разрушения радиус её ядра был около 20 км. Растянувшись в цепочку, осколки кометы удалились от Юпитера по вытянутой орбите, а затем в июле 1994 г. вновь приблизились к нему и один за другим столкнулись с облачной поверхностью Юпитера. Вызванные столкновениями взрывы наблюдались наземными и космическими телескопами, а также с борта межпланетного зонда. Разрушив в местах столкновения верхний слой облачности, эти взрывы помогли астрономам поглубже заглянуть в атмосферу Юпитера.

КОМЕТА ЭНКЕ. Эта тусклая комета первой была включена в семейство комет Юпитера. Её период 3,29 года наиболее короткий среди комет. Её орбиту впервые вычислил в 1819 г. немецкий астроном Иоганн Франц Энке (1791–1865), отождествивший её с кометами, наблюдавшимися в 1786, 1795 и 1805 гг. Комета Энке ответственна за метеорный поток Тауриды, ежегодно наблюдающийся в конце октября и ноябре.

КОМПАРАТОР – прибор для сравнения измеряемого объекта с эталонным. В астрономии используются спектрокомпаратор (для измерения длины волны спектральных линий), стереокомпаратор (для выявления быстро движущихся небесных объектов) и блинк-компаратор (для выявления движущихся объектов, а также источников, изменяющих свой блеск).

КОМПАС – небольшое экваториальное созвездие. Введено Н. Лакайлем (1713–1762) в 1754 г. под названием «Компас мореплавателя». Граничит с созвездиями Корма и Паруса, которые вместе с созвездием Киль составляли в прошлом большое созвездие Корабль Арго, но в 1756 г. были разделены Лакайлем. Компас не был выделен из Корабля Арго, но он так точно расположился среди прочих частей Корабля, что их стали считать единым историческим целым. Значительная часть созвездия Компас располагается на Млечном Пути. Самый любопытный объект в этом созвездии – повторная новая T Pyx, которая ярко вспыхивала в 1890, 1902, 1920, 1944 и 1966 гг., т. е. приблизительно через каждые 20 лет, однако после 1966 г. ярких вспышек у неё не происходило, хотя хаотические колебания блеска наблюдаются. Исследователи переменных звёзд уделяют этому объекту особое внимание, ожидая вспышки со дня на день. Есть подозрение, что белый карлик в этой двойной звёздной системе, несмотря на вспышки, увеличивает свою массу и уже близок к пределу Чандрасекара. Перейдя через этой рубеж, звезда взорвётся как сверхновая типа Ia. В спокойном состоянии блеск T Pyx колеблется около 15,5^m, а во время вспышки достигает 6^m. Хотя склонение этой звезды –32°, из южных районов России с некоторым трудом её можно наблюдать.

КОМПЕНСАТОР ВРАЩЕНИЯ – устройство, применяемое для компенсации вращения поля зрения у телескопов, установленных на альт-азимутальной монтировке, или для компенсации вращения поля в фокусе куде у телескопов, установленных на экваториальной монтировке.

КОМПТОНОВСКАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ — физическая величина размерности длины (λ_C), характерная для релятивистских квантовых процессов. Выражается через массу частицы (m) и универсальные постоянные h и c: $\lambda_C = h/mc$. Для электрона $\lambda_C = 2{,}4263 \cdot 10^{-10}$ см, для протона $\lambda_C = 1{,}3214 \cdot 10^{-13}$ см. Название комптоновской длины волны связано с тем, что величина λ_C определяет увеличение длины волны электромагнитного излучения при его комптоновском рассеянии на покоящейся частице. Комптоновская длина волны определяет масштаб пространственных неоднородностей полей, при которых становятся существенными квантовые релятивистские процессы. Например, в случае электромагнитного поля с неоднородностями меньше комптоновской длины волны электрона энергия фотонов $E = h\nu$ (где $\nu = c/\lambda$ — частота фотонов) оказывается больше энергии покоя электрона $m_e c^2$, и, следовательно, в этом поле становится возможным рождение электрон-позитронных пар.

Комптоновская длина волны определяет также расстояние, на которое может удалиться виртуальная частица с массой m от точки своего рождения. Поэтому радиус действия ядерных сил (переносчиком которых являют в основном виртуальные π-мезоны — самые лёгкие из сильно взаимодействующих частиц) по порядку величины равен комптоновской длине волны π-мезона ($\sim 10^{-13}$ см).

КОМПТОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ — упругое рассеяние фотона на свободном электроне. Разумеется, комптоновское рассеяние может происходить не только на электронах, но и на любых других заряженных частицах (например, протонах). Но поскольку сечение комптоновского рассеяния обратно пропорционально квадрату массы, на тяжёлых частицах оно происходит существенно менее эффективно.

Комптоновское рассеяние определяет непрозрачность вещества для жёстких (высокоэнергичных) рентгеновских и гамма-лучей. Оно играет важную роль в атмосферах нейтронных звёзд, в рентгеновских источниках, в недрах звёзд. Частным случаем комптоновского рассеяния в пределе низкочастотных фотонов и электронов низкой энергии является томсоновское рассеяние. Рассеяние фотона на покоящемся электроне в силу законов сохранения энергии и импульса сопровождается уменьшением энергии фотона и передачей её электрону. Это явление было экспериментально открыто в 1922 г. американским физиком А. Комптоном, исследовавшим рассеяние рентгеновских лучей в графите. Поэтому его называют эффектом Комптона (коротко — комптон-эффектом), или эффектом отдачи. Рассеяние низкочастотных фотонов на ультрарелятивистских электронах приводит к увеличению (во много раз) энергии фотонов — это называют «обратным комптон-эффектом». Обратный комптон-эффект — один из важнейших механизмов формирования спектров рентгеновского и гамма-излучения астрономических объектов.

При комптоновском рассеянии жёсткого фотона на электроне имеется малая вероятность рождения низкочастотного фотона. Этот процесс называют двойным комптон-эффектом. Рождение низкочастотных фотонов вследствие двойного комптон-эффекта может конкурировать с рождением тормозного излучения (при рассеянии электронов на протонах) лишь в экстремально разреженной и горячей плазме на ранних стадиях расширения Вселенной, а также в рентгеновских и гамма-источниках.

Комптон-эффект ограничивает пробег жёстких фотонов в веществе. В результате многократных рассеяний жёсткий фотон уменьшает свою энергию (отдавая её электронам), переходит в другую область спектра и поглощается вследствие фотоионизации атомов. Комптон-эффект определяет длину пробега жёстких рентгеновских фотонов (10 кэВ < $h\nu$ < 3 МэВ) в разреженной астрофизической плазме. Рассеяние жёстких фотонов с $h\nu > 3$ кэВ на электроне в атоме водорода (или другого атома) происходит с тем же сечением, что и на свободном электроне. Это связано с тем, что энергия, сообщаемая электрону в силу эффекта отдачи, превышает энергию связи электрона в атоме водорода.

При рассеянии низкочастотных фотонов на ультрарелятивистских электронах (обратный комптон-эффект) вероятность рассеяния фотонов максимальна в направлении движения электрона, а изменение частоты фотона происходит только из-за эффекта Доплера, так же как при отражении от движущейся стенки. При этом сечение рассеяния равно томсоновскому. Это легко понять, поскольку в этом случае в системе покоя электрона происходит классическое томсоновское рассеяние. Следовательно, обратный комптон-эффект, в отличие от комптон-эффекта, является чисто классическим эффектом (изменение частоты не зависит от h). При рассеянии в направлении движения электрона происходит значительное увеличение частоты фотона $\nu' \approx \gamma^2 \nu$, где $\gamma = [1 - (v/c)^2]^{-1/2}$ — лоренц-фактор электрона. Частота фотонов при рассеянии на изотропно распределённых релятивистских электронах в среднем должна увеличиваться в $(4/3)\gamma^2$ раз. Такое же среднее увеличение имеет место, если фотоны изотропного поля излучения рассеиваются на пучке ультрарелятивистских электронов.

Обратный комптон-эффект часто считают основным механизмом формирования жёстких степенных спектров излучения в квазарах и ядрах галактик. Этот процесс служит основной причиной потерь энергии релятивистскими электронами в изотропном поле низкочастотного излучения (например, в поле микроволнового фонового излучения, заполняющего Вселенную) или в поле излучения компактных объектов. Характерное время потерь энергии в таком поле излучения $t \approx (3/4) m_e c/(\gamma \sigma_T E_r)$, т. е. тем меньше, чем выше энергия электрона ($\sim\gamma$) и плотность энергии излучения E_r. При $E_r > H^2/8\pi$, где H — напряжённость магнитного поля, потери энергии на обратный комптон-эффект превышают потери на синхротронное излучение.

КОНИЧЕСКИЕ СЕЧЕНИЯ — семейство кривых, которые получаются как линии пересечения поверхности конуса и плоскости при различных углах, образованных плоскостью с осью конуса. Частные случаи конических сечений — окружность, эллипс, парабола, гипербола, прямая. Семейством этих кривых полностью исчерпываются возможные траектории движения точечного тела под действием притяжения к другому точечному телу в рамках ньютоновой механики.

КОНТАКТНАЯ ДВОЙНАЯ — тесная двойная система на поздней стадии эволюции, в которой оба компонента заполнили свою полость Роша. Когда оба компонента (т. е. обе звезды) достигают своей критической эквипотенциальной поверхности, то иногда говорят, что они образовали контактную двойную систему. Местом их контакта служит внутренняя точка Лагранжа. Чаще оба компонента выходят за эквипотенциальную поверхность и обретают общую конвективную оболочку. Такую конфигурацию иногда называют сверхконтактной двойной. Дальнейшее расширение приводит к тому, что оболочка достигает своей внешней эквипотенциальной поверхности и через внешние точки Лагранжа система начнет терять вещество.

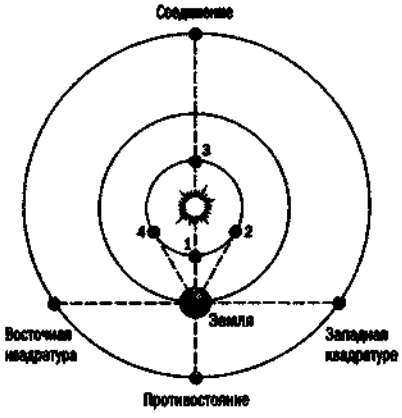
КОНТИНУУМ — участки спектра между спектральными линиями, т. е. «ровные» участки, не имеющие деталей. Интенсивность (эквивалентную ширину) спектральных линий измеряют по отношению к уровню близлежащего континуума. В отсутствие спектральных линий континуум представляет непрерывный спектр.

КОНТРАСТ — относительная разность интенсивности свечения ярких и тёмных участков объекта или его изображения.

КОНУС УБЕГАНИЯ — совокупность направлений, в которых из данной точки пространства вблизи массивного тела лучи света способны уйти на бесконечность.

Если же направление излучения лежит вне конуса убегания, то траектория луча изогнется так, что он пересечёт поверхность тела или его горизонт событий (если тело уже сколлапсировало и превратилось в чёрную дыру). Вдали от массивного тела конуса убегания широко раскрыт и практически занимает полный телесный угол (4π). Чем ближе к поверхности тела, тем меньше угол при вершине конуса.

КОНФИГУРАЦИИ – характерные взаимные положения планет, Луны и других тел Солнечной системы относительно Земли и Солнца. Различают верхние (3) и нижние (1) соединения планет с Солнцем, наибольшие восточные (4) и западные (2) элонгации, противостояние планет, восточные и западные квадратуры. Лунные конфигурации характеризуют фазами Луны.



Конфигурации планет

КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ МАШИНА – прибор для измерения координат изображений на фотографической пластинке. Работа прибора основана на взаимном перемещении микроскопа, фиксирующего объект на фотопластинке, и столика с двумя градуированными линейками, задающими ортогональную систему координат. Измеряемую фотопластинку устанавливают на подвижном столике, снабжённом устройствами для точного считывания координат. Координаты объектов, зарегистрированных на фотопластинке, последовательно определяют путём их центрирования на перекрестье нитей в поле зрения микроскопа. Используя измеренные линейные координаты изучаемых объектов и ранее определённые небесные координаты опорных объектов, присутствующих на фотопластинке, вычисляют небесные координаты изучаемых объектов. В настоящее время большая часть координатных измерений выполняется при помощи автоматических измерительных машин, управляемых компьютерами.

КООРДИНАТЫ АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ – координаты для сравнения с каталожными положениями звёзд. Астрометрические координаты обычно относятся к среднему равноденствию определённой эпохи (B1950, J2000). Для планет и комет астрометрические координаты даются с учётом времени распространения света.

КООРДИНАТЫ ВИДИМЫЕ – координаты светила, которые нужны, например, для наведения на него телескопа с разделёнными кругами. Видимые координаты связаны с действительной ориентацией земной оси и поэтому содержат поправки за прецессию и нутацию. Кроме того, учитывается звёздная аберрация, а для тел Солнечной системы также время распространения света.

КООРДИНАТЫ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИЕ – координаты в какой-либо системе координат (например, эклиптической – долгота и широта), начало отсчёта которой расположено в центре Солнца.

КООРДИНАТЫ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИЕ – координаты в какой-либо системе координат (например, экваториальной – прямое восхождение и склонение), начало отсчёта которой расположено в центре Земли.

КООРДИНАТЫ ТОПОЦЕНТРИЧЕСКИЕ – координаты относительно места наблюдения на поверхности Земли. Топоцентрические и геоцентрические координаты различаются на величину суточного параллакса.

КОПЕРНИК, Николай (Nicolaus Copernicus, польск. Mikolaj Kopernik, нем. Niklas Koppernick) (19.02.1473, Торунь, Пруссия, ныне Польша, – 24.05.1543, Фромборк, Польша) – польский астроном. Младший из четырёх детей купца и члена магистрата Николая Коперника и его жены Барбары Ваченроде. После смерти отца в 1483 г. был усыновлён дядей Лукашем Ваченроде, священником, который готовил его для служения церкви. После окончания школы в Торуни Николаус Коперникус (уже решивший к этому времени называть себя на латинский лад) отправился в Краковский университет. В 1496 г. едет в Италию, где в университетах Болоньи и Падуи изучает классическое право и медицину, а в университете Феррары получает степень доктора. Пройдя затем в Падуе курс медицинской практики, он ещё год провёл в Риме. В 1506 г. вернулся из Италии и поселился в г. Хайльсберге (польск. Лидзбарк), где стал врачом у своего дяди, получившего к тому времени сан епископа прусской епархии Эрмланд (польск. Вармия) и устроившего племянника каноником во Фромборкский собор. Всю дальнейшую жизнь Коперник провёл во Фромборке, занимаясь



Николай Коперник

делами церкви и медициной, математикой и переводами с греческого, дипломатией и улучшением монетной системы. Но высшим его достижением стало создание исторической книги, ставшей предвестником низвержения средневековой концепции Вселенной.

Будучи студентом в Кракове, Коперник размышлял над классической задачей математического описания сложных движений небесных тел. В те годы её решением считалась теория Птолемея, согласно которой Земля находится в центре Вселенной, а вокруг неё обращаются Солнце, Луна и планеты. В Италии Коперник проникся научными идеалами древних греков, стремившихся представить движения планет математически в наиболее простом виде. Эта идея уже в III в. до н. э. вдохновила Аристарха Самосского предположить, что не Земля, а Солнце находится в центре Вселенной. Это и была гелиоцентрическая планетная система, которую пытался отстаивать Коперник.

Примерно в 1512 г. он распространил среди друзей рукопись «Комментариев», содержащую краткое и предварительное изложение его системы. Во Фромборке Коперник проводил наблюдения неба с площадки, устроенной на стене, окружавшей территорию собора. Он пользовался самодельными инструментами, изготовленными по описаниям Птолемея. Объединив эти наблюдения с данными своих предшественников, Коперник смог вычислить некоторые константы для определения орбит планет. В 1539 г. его посетил математик из Виттенберга Георг Иоахим фон Лаухен, известный под именем Ретик. Он прибыл, чтобы подробно познакомиться с нашумевшей реформацией в астрономии и почитать рукопись великой книги, почти законченную к тому времени. В следующем году Ретик опубликовал краткое содержание первых глав. Наконец, когда удалось убедить Коперника в



Страница 9 из рукописи Коперника «De revolutionibus orbium coelestium»

необходимости напечатать всю книгу, Ретик в 1543 г. организовал её публикацию в Нюрнберге под названием «De revolutionibus orbium coelestium» («О вращениях небесных сфер»). Когда книга уже была в типографии, Коперник заболел; он умер сразу после того, как ему доставили первый экземпляр его книги.

Коперник посвятил книгу правившему тогда папе Павлу III, на чью поддержку своих идей он рассчитывал и которому он вверил свои солнечные и лунные таблицы как вклад в обсуждавшуюся на 5-м Латеранском соборе реформу календаря. И эти таблицы, конечно, способствовали проведению реформы папой Григорием XIII в 1582 г.

Труд Коперника «О вращениях небесных сфер» состоит из шести книг, и в первой же из них приведена основная идея о том, что восходы и закаты небесных тел суть следствие суточного вращения Земли вокруг оси и что видимое движение Солнца по зодиакальным созвездиям и смена времён года происходит из-за обращения Земли вокруг Солнца в плоскости, наклонённой к земной оси. Медленным изменением направления этой оси объяснялась прецессия точки равноденствия. Вторая книга посвящена элементарным математическим методам астрономии и содержит звёздный каталог, в основу которого положен каталог Птолемея. Остальная часть труда посвящена построению геометрических схем, детально представляющих движение Земли (Книга III), Луны (Книга IV) и планет (книги V и VI). Эти схемы основывались на наблюдениях и служили для вычисления таблиц положений данных тел на их орбитах для любого момента времени в будущем. Более того, на основе своей теории Коперник мог впервые в истории определить относительные расстояния Земли и планет от Солнца. Поскольку он относил движения планет к Солнцу (точнее, к центру земной орбиты), ему удалось избавиться от многих независимых круговых движений, которые прежде астрономы вынуждены были постулировать для объяснения неравномерности видимого движения планет. Коперник показал, что в основном это следствие единственного годичного движения Земли. Однако, находясь под влиянием античной натуральной философии, основой которой была геоцентрическая картина мира, Коперник ограничил свою теорию планетных орбит: он считал, как было принято в древности, что небесные тела, будучи по природе «идеальными», должны двигаться с постоянной скоростью по окружностям либо по кривым, составленным из окружностей. Это искусственное ограничение и невысокое качество наблюдений сделали таблицы Коперника не более точными, чем другие, существовавшие в то время. Но после высокоточных наблюдений Тихо Браге и пересмотра теории Коперника, предпринятой Иоганном Кеплером на основе более изощрённых законов движения планет, точность таблиц Коперника значительно повысилась.

Некоторая неопределённость в отношении теории Коперника возникла вначале из-за включения в его труд анонимного обращения «к читателю», в котором утверждалось, что гипотеза о движении Земли введена как приём, облегчающий вычисление таблиц, и не должна рассматриваться как физическое явление. Это обращение принадлежало Андреасу Осиандеру — лютеранскому математику, которому Ретик поручил контроль за изданием книги. И только 70 лет спустя Кеплеру удалось выяснить имя автора этого предисловия. Долгое время оригинальная рукопись Коперника считалась утерянной; нашлась она только в XIX в., когда её тщательно изучили и определили основной период её создания по записям дат наблюдений, включённых в текст. У рукописи нет названия: видимо, его придумал редактор, который внёс и значительные изменения в текст. О них не подозревали, пока в 1873 г. не вышло в свет издание, основанное на авторском подлиннике.

Теория Коперника вначале была отвергнута протестантской церковью как противоречащая Писанию. В 1616 г. римская инквизиция также провозгласила её ошибочной и чуть ли не еретической. Защита Галилеем новой астрономии была пресечена в 1633 г. Серьёзным научным возражением против этой теории было то, что годичное движение Земли вокруг Солнца должно приводить к видимому перемещению звёзд в противоположном направлении, но это явление не обнаруживалось даже при наиболее точных наблюдениях. Причиной явилось гигантское расстояние звёзд от Земли: перемещение звёзд оказалось слишком малым, чтобы быть замеченным инструментами эпохи Коперника. Существование такого годичного параллакса было открыто только в 1838 г.

КОРДЕЛИЯ (U VI, Cordelia) — естественный спутник Урана. Его открыл Ричард Террил 20 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». В следующий раз его удалось заметить только в 1997 г. на снимках, полученных космическим телескопом «Хаббл».

Большая полуось орбиты Корделии 49 752 км. Орбитальный период 0,335034 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0003. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,085°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Размеры 50×36×36 км. Масса около $4 \cdot 10^{16}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 7 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 17 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск 23,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 4″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

КОРЕ (J XLIX, Kore) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2003). Большая полуось орбиты 23 345 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 776 сут. Эксцентриситет орбиты 0,20. Наклонение орбиты к эклиптике 141°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск m_R = 23,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°32′29″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

КОРИЧНЕВЫЕ КАРЛИКИ — космические тела, занимающие по своим массам промежуточное положение между звёздами и планетами. Коричневыми карликами принято называть объекты с массами приблизительно от 0,01 до 0,08 масс Солнца ($M_\odot$). От нормальных звёзд они отличаются тем, что температура в их недрах никогда не достигает значений, необходимых для протекания важнейшей термоядерной реакции — превращения лёгкого изотопа водорода (^{1}H) в гелий (^{4}He), которая обеспечивает длительное свечение обычных звёзд. Именно этим и определяется верхняя граница их массы: (0,075–0,08) $M_\odot$. Но по сравнению с планетами, вообще не способными к термоядерному синтезу, коричневые карлики на начальном этапе своей жизни всё же разогреваются настолько, что «сжигают» в термоядерных реакциях некоторые редкие элементы, например тяжёлый изотоп водорода — дейтерий (^{2}H), а также ли-

тий. Это делает их на короткое время похожими на звёзды. Нижняя граница массы коричневых карликов, отделяющая их от планет, имеет значение около 13 масс Юпитера ($\approx 0{,}01\,M_\odot$).

Температура поверхности коричневых карликов обычно не превышает 2000 К, а у многих даже близка к 1000 К. Поэтому они имеют темно-красный или даже инфракрасный цвет. Отсюда и английское название этих объектов — brown dwarf, которое некоторые авторы переводят на русский язык как «бурый карлик». Для таких относительно холодных объектов введены новые спектральные классы: L (1300–2000 К), T (700–1300 К) и Y (<600 К). Светимость коричневых карликов $L \sim (10^{-4}–10^{-5})L_\odot$. Они излучают энергию за счёт медленного сжатия ядра. Характерная длительность излучения около 15 млн лет. Затем сжатие останавливается, и равновесие объекта поддерживается давлением вырожденного электронного газа, препятствующего гравитационному сжатию. Остывая, коричневые карлики превращаются в «чёрные карлики». Первый коричневый карлик был обнаружен в 1996 г. После этого у астрономов появилась надежда, что остывшие коричневые карлики, если они многочисленны, могут играть роль скрытой массы Галактики. Но предварительные подсчёты показывают, что их недостаточно для решения проблемы тёмного вещества.

Предсказание и обнаружение коричневых карликов

Обычные звёзды проводят большую часть своей жизни в состоянии равновесия между силой тяжести, стремящейся их сжать, и препятствующей этому силой газового давления. Высокое давление в недрах звезды обеспечивается огромной температурой плазмы в миллионы и даже десятки миллионов кельвинов, которую поддерживают постоянно идущие в центральной части звезды термоядерные реакции, т. е. реакции синтеза ядер более тяжёлых химических элементов из более лёгких. Например — синтез гелия из водорода, углерода из гелия и т.-п. В этих реакциях выделяется ровно столько энергии, сколько звезда постоянно теряет со своей поверхности в виде излучения.

Чем меньше масса звезды, тем ниже температура в её ядре и тем медленнее протекают в нём термоядерные реакции. В 1958 г. астрофизик индийского происхождения Шив Кумар (Университет штата Виргиния, США) занялся теоретическим изучением маломассивных звёзд, предположив, что могут существовать звездообразные тела настолько малой массы, что температура в их недрах окажется недостаточной для протекания ядерного синтеза. Дело в том, что в период формирования звезды её гравитационное сжатие обычно продолжается до тех пор, пока температура в центре не достигнет уровня, необходимого для протекания термоядерных реакций. У массивных звёзд эта температура достигается при относительно невысокой плотности вещества, а у звёзд малой массы — при более высокой плотности. Например, в центре Солнца плотность плазмы превышает 160 г/см^3.

В 1963 г. расчёты Кумара показали, что у формирующихся звёзд (т. е. у протозвёзд) очень малой массы сжатие останавливается раньше, чем температура в их центре достигает значения, необходимого для важнейшей термоядерной реакций — синтеза гелия из водорода ($4\,^1\mathrm{H} \rightarrow {}^4\mathrm{He}$). Причиной остановки сжатия протозвезды служит квантовомеханический эффект — давление вырожденного электронного газа.

Таким образом, при массе звезды менее $0{,}07–0{,}08\,M_\odot$ (точное значение зависит от её химического состава) она не способна сжигать лёгкий изотоп водорода, а значит, в её жизни нет фазы главной последовательности — самого длительного этапа эволюции нормальных звёзд. Поэтому такие объекты, вообще говоря, нельзя называть звёздами. Но, с другой стороны, это и не планеты, поскольку в эволюции объекта с массой более $0{,}013\,M_\odot$, как показывают расчёты, должна быть короткая термоядерная стадия, в ходе которой сгорает редкий тяжёлый изотоп водорода — дейтерий, превращаясь в лёгкий изотоп гелия ($^2\mathrm{D} + \mathrm{p} \rightarrow {}^3\mathrm{He}$). Этот краткий эпизод термоядерного горения не задерживает надолго гравитационное сжатие протозвезды. Температура её поверхности даже при максимальном разогреве не превышает 2800 К, а затем начинает снижаться, и объект практически перестаёт светиться.

Итак, согласно теоретическому предсказанию Кумара, протозвёзды с массой от 0,013 до приблизительно 0,075 массы Солнца в конце своего гравитационного сжатия проявляют робкую попытку стать звездой, но так ею и не становятся; их краткая жизнь заканчивается остыванием и полным исчезновением с небосвода. Такие звёзды-неудачники, открытые «на кончике пера», Кумар назвал чёрными карликами, но обнаружить их долго не удавалось, и новый термин забылся. В середине 1970-х гг. астрономы выяснили, что помимо наблюдаемых в телескоп нормальных ярких звёзд и межзвёздного газа в нашей и других галактиках присутствует огромное количество невидимого вещества; подозрение пало на тусклые карликовые объекты, предсказанные Кумаром, и они вновь стали популярны. Крис Дэвидсон (Университет штата Миннесота, США) назвал эти неведомые звёзды «инфракрасными карликами»; другие астрономы хотели назвать их «малиновыми карликами», но в 1975 г. студентка-дипломница из университета в Беркли (США) Джил Тартер придумала термин «brown dwarf», и он прижился. На русский язык его перевели как «коричневый карлик», хотя в действительности эти объекты имеют инфракрасный цвет, и точнее было бы перевести brown как «тёмный», «тусклый» или «бурый». Но самый первый термин уже вошёл в нашу научную и популярную литературу, закрепив за группой промежуточных между звёздами и планетами объектов название «коричневые карлики».

Три десятилетия продолжались безрезультатные поиски этих тусклых светил. Их первое надёжное обнаружение состоялось лишь после того, как были созданы новые гигантские телескопы диаметром 8–10 м, снабжённые инфракрасными приёмниками изображения (ПЗС-матрицами большого размера) и мощными ИК-спектрографами, рассчитанными именно на тот диапазон излучения, в котором должны светиться коричневые карлики. Но даже такая мощная техника способна обнаружить эти слабые источники лишь на расстоянии не более 100 пк (300 св. лет) от Солнца, а в таком сравнительно небольшом объёме пространства их довольно мало. Чтобы выявить несколько коричневых карликов, пришлось провести детальный обзор всего неба. Некоторые из них обнаружились в соседнем молодом звёздном скоплении Плеяды.

Первый успех пришёл в 1996 г., когда японские астрономы (Накаджима и др.) обнаружили рядом с очень маленькой и холодной звездой Gliese 229 ещё более мелкий и холодный спутник с температурой поверхности всего около 1000 К и мощностью излучения в 160 тыс. раз слабее солнечной. Его незвёздная природа была окончательно подтверждена в 1997 г. с помощью «литиевого теста» (см. ниже). Обозначенный как Gliese 229B, этот объект стал первым коричневым карликом, открытым астрономами. Его размер почти в точности равен размеру Юпитера, а масса оценивается в 0,03–0,06 $M_\odot$. Коричневый карлик Gliese 229B обращается вокруг своего более массивного компаньона Gliese 229A по орбите радиусом около 40 а. е. с периодом около 200 лет. В 1997 г. были открыты два первых изолированных коричневых карлика (Kelu-1 и DENIS-PJ1228-1547), а также было доказано, что коричневым карликом является объект GD 165B, компаньон белого карлика. Эти четыре и стали прототипами нового класса астрономических объектов, занявших место между звёздами и планетами.

Строение и эволюция коричневых карликов

До середины 1990-х гг. граница между звёздами и планетами представлялась вполне определённой. Наиболее массивной планетой считался Юпитер, масса которого составляет всего $0{,}001\,M_\odot$, а наименьшие среди известных звёзд были зна-

чительно крупнее: они имели массу около 0,1 $M_\odot$. Однако после 1995 г. были обнаружены экзопланеты во много раз массивнее Юпитера и близкие к ним по массе мини-звёзды. Это потребовало точного определения понятий «звезда» и «планета» на основе физических различий в их эволюции.

Поскольку характерным признаком звезды служат протекающие в её недрах термоядерные реакции, именно их отсутствие было положено в основу определения планеты. Согласно Б. Р. Оппенгеймеру и др. (2000), планета — это объект, в котором за всю его историю реакции ядерного синтеза не происходят ни в каком виде. Если же на каком-либо этапе эволюции мощность термоядерного синтеза была сравнима со светимостью объекта, то он достоин называться звездой.

Расчёты показывают, что в звёздах с массой менее 0,07–0,08 $M_\odot$ температура так низка, что термоядерные реакции с участием лёгкого изотопа водорода (т. е. реакции pp-цикла) практически не происходят. Это критическое значение массы звезды называют «границей возгорания водорода», или «пределом Кумара». Единственным долговременным источником энергии менее массивных звёзд служит их гравитационное сжатие. Однако в процессе этого сжатия каждая протозвезда проходит короткий этап горения дейтерия. Этот тяжёлый изотоп водорода вступает в термоядерную реакцию при более низкой температуре, чем лёгкий водород, потому что реакция с дейтерием ($^2D + p \rightarrow {}^3He + \gamma$) происходит под действием электромагнитного, а не слабого взаимодействия. Необходимые для этой реакции условия возникают в звёздах с массой более 0,013 солнечной (что всего в 14 раз больше массы Юпитера). Но содержание дейтерия в космическом газе ничтожно (0,001%), сгорает он быстро и слабо влияет на светимость звезды; основным источником её энергии в этот период всё равно остаётся гравитационное сжатие.

Звёзды наименьшей массы, обладающие ядерным источником энергии, очень экономно расходуют запас водорода: например, звезда с массой 0,085 $M_\odot$ может поддерживать свою невысокую светимость (около 0,04% от солнечной) в течение 6000 млрд лет, что в 440 раз больше нынешнего возраста Вселенной! Но коричневые карлики с массой чуть ниже предела Кумара практически лишены ядерной энергии, поэтому после быстрого сгорания дейтерия и остановки гравитационного сжатия они быстро остывают и становятся невидимыми, всего за несколько миллиардов лет. Поэтому в Галактике может быть много холодных и совершенно невидимых коричневых карликов, которые могли бы составлять немалую долю её скрытой массы.

В таблице ниже приведены характерные признаки маломассивных звёзд, коричневых карликов и планет-гигантов, позволяющие провести точные границы между ними. Массы объектов получены из теоретических моделей для вещества с солнечным химическим составом. Заметим, что в подгруппе массивных коричневых карликов содержание лития зависит от возраста: в их недрах он постепенно сгорает.

Звёзды, коричневые карлики и планеты

Тип объекта	Масса, $M_\odot$	Термоядерный синтез		Наличие	
		H→He	D→He	Li	D
Звезда	0,1–0,075	Долгий	Краткий	Нет	Нет
Коричневый карлик	0,075–0,065	Краткий	Краткий	Есть	Нет
Коричневый карлик	0,065–0,013	Нет	Краткий	Есть	Нет
Планета-гигант	<0,013	Нет	Нет	Есть	Есть

Отличить молодой, ещё не остывший коричневый карлик от маленькой звезды довольно сложно: их цвет и светимость весьма близки. Критическим признаком при этом считается «литиевый тест» — наличие в спектре объекта линий лития. Дело в том, что литий — «нежный» элемент: он разрушается ядерными реакциями при температуре выше 2,4 млн К. Поэтому все нормальные звёзды должны сжечь свой литий ещё до начала реакций с участием водорода, причём сжечь не только в ядре, но во всем объёме звезды, включая поверхностные слои. Причина в том, что маломассивные звёзды и коричневые карлики полностью конвективны: их вещество активно перемешивается («кипит»), и поэтому каждая его порция рано или поздно проходит через ядро, где при высокой температуре литий сгорает без остатка. Расчёты показывают, что звезда минимальной массы (0,075 $M_\odot$) сжигает 99% своего лития за 100 млн лет, а коричневый карлик с массой ниже 0,06 $M_\odot$ сожжёт такую же долю лития лишь за время больше 10 млрд лет. Этим и обоснован литиевый тест: обнаружение в спектре холодной звезды линии Li с длиной волны 670,8 нм сразу указывает, что её масса меньше 0,06 $M_\odot$, а значит, это коричневый карлик.

Как сказано, температура поверхности коричневых карликов никогда не превышает 2800 К. Для таких холодных объектов в спектральную классификацию звёзд потребовалось ввести новые классы. Принятая сейчас классификация звёздных спектров сложилась в первой половине XX в. Известная гарвардская последовательность спектральных классов O–B–A–F–G–K–M отражает ход температуры звёздных фотосфер (от горячих O и B к прохладным K и M), а дополнительные классы R, N и S отражают вариации химического состава у холодных звёзд-гигантов с температурой около 3000 К. Эта схема надёжно служила астрономам почти целый век, и даже создалось впечатление её завершённости. Однако последние годы показали, что развитие спектральной классификации не прекратилось: обнаружение коричневых карликов привело в конце 1990-х гг. к введению новых спектральных классов L и T для небесных тел с эффективной температурой менее 2000 К, а в 2006 г. для объектов с температурой менее 600 К был предложен спектральный класс Y.

Оказалось, что в формировании спектров экстремально холодных объектов весьма важную роль играет пыль. У самых холодных звёзд класса M с температурой поверхности около 3000 К в спектре видны мощные полосы поглощения окисей титана и ванадия (TiO, VO). Но у более холодных звёзд их не оказалось. До открытия ставшего теперь классическим коричневого карлика Gliese 229B самым тёмным и холодным был компаньон белого карлика GD 165B, имеющий температуру поверхности 1900 К и светимость 0,01% солнечной. Он поразил исследователей тем, что в отличие от других холодных звёзд не имеет полос поглощения TiO и VO, за что был прозван «странной звездой». Такими же оказались спектры и других коричневых карликов с температурой ниже 2000 К. Расчёты показали, что молекулы TiO и VO в их атмосферах сконденсировались в твёрдые частицы — пылинки и уже не проявляют себя в спектре, как это свойственно молекулам газа.

Таким образом, подавление спектральных полос TiO и VO в результате конденсирования этих молекул в пылинки при $T < 2000$ К потребовало введения нового спектрального класса. В 1998 г. Дэви Киркпатрик (Калифорнийский технологический институт, США) предложил расширить гарвардскую схему, добавив в неё класс L для маломассивных инфракрасных звёзд, имеющих эффективную температуру поверхности 1300–2000 К. Спектр L-карликов характеризуется сильной полосой поглощения CrH, сильными линиями редких щелочных металлов Cs и Rb, а также широкими линиями калия и натрия. Но без информации о возрасте объекты L-класса нельзя автоматически считать коричневыми карликами: очень старые маломассивные звёзды тоже могут остыть ниже 2000 К. Однако большинство объектов L-класса всё же должны быть именно коричневыми карликами.

Продолжая поиск и исследование L-карликов, астрономы обнаружили ещё более экзотические объекты, для которых потребовалось ввести новый спектральный класс T, ещё более холодный,

чем L (Дж. Либерт и др., 2000). Эффективная температура Т-карликов около 1300–700 К и даже чуть ниже. В их спектрах видны мощные полосы поглощения воды, метана и молекулярного водорода, поэтому их называют «метановыми карликами». Прототипом этого класса считают коричневый карлик Gliese 229B. К 2010 г. были обнаружены экстремально холодные карлики с температурой 300–500 К, которые отнесены к спектральному классу Y.

Коричневые карлики ставят перед астрономами много сложных и очень интересных проблем. Чем холоднее атмосфера звезды, тем сложнее её изучать как наблюдателям, так и теоретикам. Присутствие в атмосфере пыли не делает эту задачу легче: конденсация твёрдых частиц не только изменяет состав свободных химических элементов в атмосфере, но и влияет на теплообмен и форму спектра. Теоретические модели с учётом пыли предсказали парниковый эффект в верхних слоях атмосферы и уменьшение глубины молекулярных полос поглощения; эти эффекты подтверждаются наблюдениями. Но проблема пыли сложна: расчёты показывают, что после конденсации пылинки начинают тонуть. Возможно, на разных уровнях в атмосфере формируются плотные облака пыли. Метеорология коричневых карликов может оказаться не менее разнообразной, чем у планет-гигантов. Но если атмосферы планет удаётся изучать с близкого расстояния, то расшифровывать метановые циклоны и пылевые бури коричневых карликов придётся только по их спектрам.

Вопросы о происхождении и численности коричневых карликов пока остаются открытыми. Первые подсчёты их количества в молодых звёздных скоплениях типа Плеяд показывают, что по сравнению с нормальными звёздами общая масса коричневых карликов, видимо, не так велика, чтобы «списать» на них всю тёмную массу Галактики. Но этот вывод ещё нуждается в проверке (см. *Скрытая масса галактики*).

Другой важный вопрос – как формируются коричневые карлики. Общепринятая теория происхождения звёзд не даёт на него ответа. Объекты столь малой массы могли бы формироваться, подобно планетам-гигантам, в околозвёздных дисках. Но обнаружено довольно много одиночных коричневых карликов (например, в Туманности Ориона); трудно предположить, что все они сразу после рождения были потеряны своими более массивными компаньонами.

В 2001 г. совершенно особый путь рождения коричневых карликов наметился при исследовании двух тесных двойных систем – LL Андромеды и EF Эридана. В них более массивный компаньон, белый карлик, своим тяготением стягивает вещество с менее массивного спутника, так называемой звезды-донора. В системе LL Андромеды перетекающий на белый карлик газ образует аккреционный диск, в котором время от времени, раз в несколько лет, происходят вспышки; поэтому LL Андромеды относят к классу неправильных переменных звёзд, называемых карликовыми новыми. Систему EF Эридана относят к классу поляров: в ней сильное магнитное поле белого карлика препятствует образованию аккреционного диска, поэтому вещество донора течёт вдоль силовых линий и падает на магнитные полюса белого карлика.

Расчёты показывают, что в начале эволюции обеих этих систем спутники-доноры в них были обычными звёздами, но за несколько миллиардов лет их масса упала ниже предельного значения, и термоядерные реакции в этих звёздах угасли. Теперь это по внешним признакам типичные коричневые карлики. Температура звезды-донора в системе LL Андромеды около 1300 К, а в системе EF Эридана – около 1650 К. Их массы лишь в несколько десятков раз превосходят массу Юпитера, а в их спектрах видны линии метана. Насколько их внутреняя структура и химический состав сходны с аналогичными параметрами «настоящих» коричневых карликов, пока не известно. Таким образом, нормальная маломассивная звезда, потеряв значительную долю своего вещества, тоже может стать коричневым карликом.

Корма – крупное экваториальное созвездие, часть некогда очень большого созвездия Корабль Арго. Лежит в Млечном Пути, содержит много интересных звёзд, среди которых затменная переменная V Pup, меняющая свою звёздную величину от 4,74 до 5,25 с периодом 1,45 сут; весь её цикл можно наблюдать невооружённым глазом. Ярчайшая звезда в созвездии Корма – ζ Pup по имени Наос. Это голубой сверхгигант очень редкого спектрального класса O5, одна из самых горячих и мощных звезд: её светимость в 300 тыс. раз выше солнечной. Одной из ярчайших новых прошлого столетия была CP Pup: 11 ноября 1942 г. её блеск достиг $0{,}3^m$. Интересны для наблюдения рассеянные скопления M46, M47, M93 и NGC 2477.

КОРОЛЕВСКАЯ ГРИНВИЧСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (Royal Greenwich observatory) – координирующий и исследовательский центр, в ведении которого до 1998 г. находилось большинство телескопов Великобритании. В 1998 г. эти функции были переданы Королевской обсерватории в Эдинбурге. Первоначально местом расположения Центра была Королевская обсерватория в Гринвиче, затем он был перемещен в Сассекс, где изначально был установлен телескоп «Исаак Ньютон», далее – в Кембридж, и, наконец, вплоть до закрытия в 1998 г., Центр находился в Институте астрономии.

КОРОЛЕВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ В ГРИНВИЧЕ (Royal observatory, Greenwich) – оптическая астрономическая обсерватория, расположенная в Гринвиче (Лондон). В настоящее время – музей. При основании Гринвичской обсерватории (1675) на ней был установлен меридианный круг. Точка пересечения осей этого инструмента задаёт Гринвичский меридиан, являющийся началом отсчёта географических долгот на Земле.

КОРОЛЕВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ В ЭДИНБУРГЕ (Royal observatory, Edinburgh) – астрономическая обсерватория, расположенная в Эдинбурге (Великобритания). Служит центром, координирующим работу больших телескопов Великобритании, а также, через Центр астрономических технологий, управляет разработкой и изготовлением астрономического оборудования.

КОРОЛЕВСКОЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО (Royal Astronomical Society) – научное общество Великобритании, объединяющее астрономов, геофизиков и учёных других специальностей, изучающих космические объекты, Солнечную систему, Землю и историю этих наук. Основано в 1820 г. Штаб-квартира находится в Лондоне. Общество представляет астрономию Великобритании на мировой арене. Объединяет более 3000 членов, треть из которых – иностранцы. Общество занимается не только развитием науки, но и её популяризацией и внедрением в учебный процесс.

КОРОНА (в астрономии) – внешняя часть солнечной атмосферы, которую удаётся наблюдать в моменты полных солнечных затмений или с помощью специальных телескопов – коронографов, в которых закрывается изображение яркого солнечного диска. Корона очень горячая, поэтому в основном излучает рентгеновские лучи и служит источником солнечного ветра, т. е. быстрых потоков плазмы, растекающихся от Солнца в межпланетное пространство (см. *Солнечная корона*). По-видимому, большинство звёзд имеет короны, подобные солнечной.

В геофизике короной называют одну из форм полярного сияния (в районах Северного и Южного полюсов), которая обычно зарождается вблизи зенита и в виде лучей или потоков радиально расходится во всех направлениях.

КОРОНАЛЬНАЯ ДЫРА – область в солнечной короне, характеризуемая пониженными плотностью и температурой вещества короны, а также слабой эмиссией электромагнитного излучения во всем диапазоне длин волн. Корональные дыры служат источниками высокоскоростных потоков солнечного ветра.

КОРОНИЙ – гипотетический химический элемент, которому в начале XX в. приписывались яркие линии в спектре солнечной короны. В 1939–1941 гг. было убедительно доказано, что загадочные линии «корония» принадлежат многократно ионизованным атомам железа, никеля и кальция. См. также *Мистериум и Небулий*.

КОРОНОГРАФ – телескоп для наблюдения солнечной короны в периоды между затмениями. В его фокальной плоскости, где объектив строит изображение Солнца, находится круглая заслонка, – «искусственная Луна», закрывающая изображение яркой фотосферы, но оставляющая видимой корону. На космических телескопах и наземных телескопах с системой адаптивной оптики используют «звёздный коронограф», в котором затемняется изображение яркой звезды для поиска в её окрестности слабых объектов: звёзд-спутников, планет или околозвёздного газово-пылевого диска.

КОРРЕКТОР К ПАРАБОЛИЧЕСКОМУ ЗЕРКАЛУ – корректор, как правило, линзовый, состоящий из одного или нескольких оптических элементов и предназначенный для уменьшения внеосевых аберраций параболического зеркала, в первую очередь комы.

КОРРЕКТОР КРИВИЗНЫ ПОЛЯ – оптический элемент телескопа, позволяющий устранить кривизну поля и получить плоскую фокальную поверхность. Например, в камерах Шмидта для исправления кривизны поля иногда используют одиночную плоско-выпуклую линзу, называемую линзой Пиацци–Смита.

КОРРЕКЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОШИБОК – электронная система коррекции механических погрешностей зубчатых колёс приводов телескопа, которые проявляются в виде периодических ошибок скорости ведения телескопа. Вначале проводится «обучение» управляющего компьютера: наблюдатель выполняет аккуратное гидирование звезды в течение некоторого промежутка времени, а управляющий компьютер запоминает необходимые поправки к ведению и автоматически вводит их при последующих наблюдениях.

КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ – область радиоастрономии, в которой для интерферометрических измерений по крайней мере один радиотелескоп выводится за пределы Земли.

Быстрый прогресс радиоастрономии начался после Второй мировой войны, когда радары были обращены к небу. Но для получения изображений длинноволновых радиоисточников с высоким угловым разрешением требовались гигантские радиотелескопы. Астрономы Кембриджского университета в 1950-х и 1960-х гг. разработали метод апертурного синтеза, позволяющий объединить сигналы от нескольких удалённых друг от друга радиотелескопов и получить разрешающую силу как у одного огромного инструмента. К 1980-м гг. телескопы разных частей света объединялись в единую систему размером с Землю, работая по принципу интерферометра со сверхдлинной базой (very long baseline interferometry, VLBI). Повысить разрешение можно было, лишь добавив к этой системе телескопы на высоких околоземных орбитах или на орбите вокруг Солнца.

Первые эксперименты по космической VLBI проводились в 1980-е гг. с помощью радиотелескопа КРТ-10 на советской орбитальной станции «Салют-6» и с помощью американского спутника связи TDRS-1. Первым полноценным телескопом для космической радиоинтерферометрии стал японский спутник «VLBI Space Observatory Project» (VSOP), после запуска на орбиту 12 февраля 1997 г. получивший имя «Харука» (HALCA). На нём имелся радиотелескоп диаметром 8 м для проведения интерферометрических наблюдений, база которых превышает диаметр Земли в 2,5 раза. Наблюдения проводились до конца 2005 г. В июле 2011 г. в рамках международного проекта «Радиоастрон» в России запущен аппарат «Спектр-Р», имеющий параболическую антенну диаметром 10 м и четыре приёмника в диапазонах от 0,33 до 25 ГГц (длина волны от 1,2 до 92 см). Двигаясь по высокой геоцентрической орбите, он удаляется от Земли в апогее на 340 тыс. км (более 26 диаметров Земли). Предполагается использовать его как элемент радиоинтерферометра.

Спутники используют также для изучения очень длинных радиоволн, излучаемых Солнцем, магнитосферами планет-гигантов и межзвёздной средой. Поверхности Земли эти волны не достигают, поскольку отражаются от ионосферы, поэтому «Эксплорер-49» с аппаратурой для регистрации сверхдлинных волн был запущен 10 июня 1973 г. на орбиту вокруг Луны. Чтобы укрыться от помех, возможно, со временем вся радиоастрономия переместится на обратную сторону Луны и будет использовать Луну как экран от земных радиопередатчиков.

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ – непилотируемые полуавтоматические агрегаты, запускаемые в космос для выполнения различных задач в околоземном или межпланетном пространстве. Большинство космических аппаратов функционирует на околоземных орбитах. Это навигационные спутниковые системы, спутники связи, спутники прямого телевизионного вещания, метеорологические спутники, разведывательные спутники, научные спутники (астрономические и геофизические), экспериментальные спутники (для отработки элементов будущих космических аппаратов). Значительно реже в космос отправляют межпланетные аппараты (зонды) для изучения Солнца и объектов Солнечной системы – планет и их спутников, межпланетной среды, астероидов и комет.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ – высокоэнергичные ядра атомов и элементарные частицы космического происхождения. Поток космических лучей, приходящий из межзвёздного пространства, постоянно бомбардирует Землю. Иногда его интенсивность резко возрастает за счёт частиц, порождаемых вспышками на Солнце. В состав космических лучей входят электроны, протоны (ядра атомов водорода) и ядра более тяжёлых элементов – гелия, кислорода, углерода, азота и др. Количественно они представлены примерно так же, как химические элементы в атмосфере Солнца и других звёзд.

Космическими лучами обычно называют частицы с кинетической энергией $E_k > 100$ МэВ, т. е. 10^8 эВ (электронвольт), а менее энергичные, но все ещё быстрые частицы именуют субкосмическими лучами. Земная атмосфера задерживает космические лучи, но при их столкновении с атомами воздуха рождаются «ливни» элементарных частиц, достигающих поверхности Земли; их называют вторичными космическими лучами.

Солнечные космические лучи имеют сравнительно низкую энергию, обычно не выше 10 ГэВ (10^{10} эВ). Гораздо более энергичные частицы приходят из Галактики и, возможно, внегалактического пространства: их энергия достигает 10^{20} эВ. Если вспомнить, что лучшие лабораторные ускорители разгоняют частицы до энергии порядка 10^{12} эВ, становится понятным, почему физики так интересуются частицами космических лучей: такие мощные «снаряды» для бомбардировки элементарных частиц и исследования их внутренней структуры невозможно получить в лаборатории.

Установить источники галактических космических лучей не удаётся: двигаясь в межзвёздном магнитном поле, частицы теряют первоначальное направление полёта, их траектории запутываются, и они приходят к Земле со всех сторон одинаково часто. Косвенно выясняется, что «ускорителями» космических лучей служат взрывы сверхновых звёзд, высокая активность молодых пульсаров и тесные двойные системы, где частицы разгоняются до больших энергий в сильных переменных магнитных полях вблизи компактной звезды.

КОСМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ – специализированные спутники Земли или

межпланетные космические аппараты, предназначенные для проведения астрономических наблюдений. Для наблюдений в дальнем инфракрасном, вакуумном ультрафиолетовом, рентгеновском и гамма-диапазонах альтернативы нет: в этих диапазонах спектра излучение из космоса не проходит сквозь атмосферу Земли. Но и в оптическом диапазоне, и даже в радиодиапазоне космические обсерватории также имеют большие преимущества перед наземными (см. *Внеатмосферная астрономия*). В целом наблюдения наземных и космических обсерваторий дополняют друг друга и, как правило, совместно обеспечивают успех в каждой конкретной области астрономии.

Существенным недостатком космических обсерваторий является высокая стоимость оборудования, а также его доставки к месту наблюдения и обслуживания. Стоимость вывода полезного груза на геоцентрическую орбиту высотой 800 км составляет от 10 тыс. долл./кг для небольших ракет класса «Союз» до 5 тыс. долл./кг для тяжёлых ракет класса «Протон».

Ракета-носитель	Масса груза на орбите высотой 800 км	Стоимость выведения на орбиту, млн долл.
«Союз-2»	5 т	45
«Зенит-3»	6–12 т	50
«Протон-М», «Ангара-5»	12–20 т	70
РН с грузоподъёмностью до 35 т	22–30 т	100
РН с грузоподъёмностью до 60 т	30–50 т	160

Масса космических обсерваторий составляет от десятков килограммов до десятков тонн. Характерная масса автоматической космической обсерватории 1–2 т.

Для первых внеатмосферных астрономических наблюдений использовали баллистические ракеты, которые лишь на несколько минут поднимались над плотными слоями атмосферы. Ещё в конце 1940-х гг. учёные США измерили ультрафиолетовое излучение Солнца, используя захваченные немецкие ракеты «Фау-2», которые запускали на полигоне Уайт-Сэндс в Нью-Мексико. Однако внеатмосферная астрономия реально встала на ноги, когда короткие прыжки в космос с помощью высотных ракет были дополнены детальными исследованиями с борта орбитальных обсерваторий.

Астрономические спутники во многом похожи на спутники других типов. Источником электроэнергии служат солнечные батареи, а трёхосевая стабилизация обычно поддерживается гиродинами (массивными гироскопами). Связь с Землёй осуществляется по радио либо напрямую, либо через спутник-ретранслятор на геостационарной орбите. Некоторые астрономические спутники имеют ракетные двигатели и могут изменять свою орбиту.

Современные астрономические обсерватории (наземные и космические) имеют телескопы для сбора и фокусировки света, а также набор приборов, регистрирующих свойства света в виде оцифрованного изображения или спектра. К тому же орбитальная обсерватория должна иметь систему наведения и удержания телескопа в нужном направлении, для чего используют несколько оптических датчиков (т. е. небольших вспомогательных телескопов), фиксирующих положение спутника относительно звёзд.

Астрономический телескоп обычно работает в одном из двух режимов. Он может систематически сканировать всё небо, проводя его полный обзор, а может по многу часов быть нацеленным на один объект, переходя затем к изучению следующего. В первые годы спутниковой астрономии выбором объектов изучения занимался коллектив, создавший спутник, но с конца 1970-х гг. программы наблюдений составляются по конкурирующим заявкам всех астрономов, как это принято в наземных обсерваториях.

Орбиты большинства спутников проходят либо в нескольких сотнях километров от поверхности Земли, либо на расстоянии в десятки тысяч километров, чтобы избежать самых опасных областей радиационных поясов Земли. Поскольку астрономические детекторы чрезвычайно чувствительны к радиационной обстановке, их отключают, когда спутник проходит сквозь области высокой радиации. Для спутников на низких орбитах наибольшую проблему представляет район Южной атлантической аномалии, где радиационный пояс ближе всего подходит к поверхности Земли. Для инфракрасных обсерваторий, имеющих криогенный телескоп, серьёзной помехой является близость тёплой Земли, поэтому их предпочитают размещать вдали от планеты. Например, инфракрасный космический телескоп «Спитцер» (NASA), запущенный в 2003 г., движется по гелиоцентрической орбите, почти совпадающей с орбитой Земли, постепенно отставая от неё. В конце 2011 г. он находился на расстоянии около 1 а. е. от нашей планеты, в районе точки Лагранжа L_5.

Другим фактором при выборе орбиты является удобство наблюдений и обслуживания. Спутником на низкой орбите сложнее управлять, поскольку Земля часто закрывает от него объект наблюдения. С другой стороны, для вывода спутника на высокую орбиту нужна более мощная ракета, и оттуда его нельзя вернуть или отремонтировать с помощью космического челнока. Впрочем, посещение автоматических космических обсерваторий для их ремонта и обслуживания пока ограничивается лишь несколькими экспедициями астронавтов к телескопу «Хаббл». По-видимому, в будущем такой подход будет признан нерентабельным: проще и дешевле запустить в космос новый телескоп, чем ремонтировать старый.

Астрономический спутник, получающий изображения с разрешением лучше одной угловой секунды, требует значительно более точного управления наведением, чем большинство других космических аппаратов. Когда, переходя к наблюдению следующей цели, спутник поворачивается вокруг осей, система управления должна следить, чтобы в поле зрения телескопа не попали Солнце или Луна, которые могут оказаться слишком яркими для чувствительных приборов. В то же время панели солнечных батарей должны быть постоянно ориентированы на Солнце. Наконец, в поле зрения оптических датчиков должно попадать достаточно известных звёзд, чтобы можно было убедиться в правильности наведения на цель главного телескопа. Выполнение всех этих требований заметно ограничивает периоды времени, когда можно наблюдать тот или иной объект.

За первые 50 лет практического освоения космоса на орбиты запущено около 100 телескопов. Кроме того, множество наблюдений проведено с борта геофизических (баллистических) ракет, высотных самолётов и стратостатов. В большинстве своём все эти приборы уникальны. Для примера рассмотрим работу типичной космической обсерватории — рентгеновского спутника ROSAT (сокращённое от Röntgensatellit, в честь Вильгельма Рентгена — Wilhelm Röntgen).

Этот проект родился в Германии, а позже к нему присоединились США и Великобритания. На спутнике установлен рентгеновский телескоп с тремя детекторами и экспериментальный ультрафиолетовый телескоп жёсткого диапазона. Один из рентгеновских детекторов, сделанный в США, давал чёткое изображение наблюдаемого источника, а два других, сделанные в Германии, давали менее чёткую картинку, но зато фиксировали распределение энергии в излучении. Все три детектора были улучшенными версиями приборов, уже применявшихся на спутниках. А вот британский ультрафиолетовый телескоп впервые наблюдал небо в экстремально жёстком диапазоне этого излучения.

ROSAT массой 2,4 т был запущен 1 июня 1990 г. с мыса Канаверал (Флорида) ракетой «Дельта-2» (NASA) на круговую орбиту высотой 570 км. Это достаточно высоко, чтобы сопротивление атмосферы не смогло затормозить спутник и заставить его упасть на Землю в течение как минимум 10 лет, но и достаточно низко, чтобы влияние радиационных поясов земной магнитосферы не смогло повредить его чувствительные приборы.

Несколько недель длился обычный этап проверки, когда наблюдали либо хорошо изученные источники для настройки и калибровки аппаратуры, либо объекты, представляющие исключительный интерес, на тот случай, если спутник преждевременно выйдет из строя.

В случае ROSAT'а начальный этап затянулся на 6 месяцев, в течение которых был сделан полный обзор всего неба. Эта информация стала собственностью группы, создавшей ROSAT. Многие астрономические спутники существенную часть первого года эксплуатации работают в интересах тех научных коллективов, которые разрабатывали их аппаратуру. За это время в некоторых системах ROSAT'а возникли неполадки, например в гироскопах наведения. В феврале 1991 г. из-за проблем с ориентацией спутник «посмотрел» на Солнце, из-за чего один детектор вышел из строя. Но резервные системы позволили аппарату успешно продолжать работу и давать важные научные результаты ещё несколько лет.

Затем ROSAT перешёл к этапу приглашённых наблюдателей, имеющему годичный цикл. Перед началом каждого цикла астрономы присылают заявки, в которых описывают, какие наблюдения они хотели бы провести и какие результаты при этом ожидают получить. После отбора наиболее интересных заявок специальная компьютерная программа составляет расписание наблюдений с учётом положения спутника на орбите, необходимости избегать направления телескопа в сторону Солнца и требования ориентации солнечных батарей к Солнцу. Всё это ограничивает период наблюдения любой звезды или галактики несколькими неделями за полгода.

Сами астрономы не принимают участия в наблюдениях, а просто получают по почте данные после того, как наблюдения проведены и результаты их предварительно обработаны специалистами из Центра управления космическим телескопом. В этом Центре заботятся о том, чтобы все наблюдательные данные были тщательно записаны и прокалиброваны. (В наземных обсерваториях этим индивидуально занимаются сами астрономы.) Такая организация позволяет тем астрономам, кто не является узким специалистом по внеатмосферным наблюдениям, использовать данные различных космических обсерваторий, не вникая подолгу в технические детали наблюдений. Через год после того, как астроном получил свои данные, их помещают в архив для всеобщего использования, откуда любой учёный может взять изображения и спектры, исследовать их и опубликовать то новое, что ему удалось обнаружить.

ROSAT работал до 12 февраля 1999 г., после чего его эксплуатация прекратилась. А 23 октября 2011 г. он вошёл в плотные слои атмосферы и разрушился над Бенгальским заливом, к востоку от Индии, не причинив никому вреда.

В области оптической и ультрафиолетовой астрономии несколько космических обсерваторий оказались чрезвычайно успешными. Расцвет ультрафиолетовой астрономии, исследующей излучение в диапазоне от 100 до 3000 Å, начался с запуска 26 января 1978 г. спутника IUE (International Ultraviolet Explorer), созданного NASA, Европейским космическим агентством (ESA) и Великобританией. Спутник имел телескоп с диаметром зеркала 45 см, четыре ультрафиолетовых спектрографа и мог изучать объекты до 16^m. Уникальная, близкая к геостационарной орбита IUE обеспечивала ему колебания поперёк Атлантики, так что до 1995 г. управление им 16 часов в сутки шло из Годдардского космического центра в Гринбелте (шт. Мэриленд, США), а оставшиеся 8 часов — с радиоастрономической станции ESA под Мадридом (Испания). 1 октября 1995 г. управление полностью перешло к ESA. Поскольку имелся постоянный контакт со спутником, астрономы могли управлять наблюдениями в реальном времени, выбирать время экспозиции и порядок наблюдения объектов. Такой гибкости обычно не бывает при работе со спутниками на низких орбитах, для которых требуется заранее составлять программу наблюдений.

Спутник IUE предназначался для работы в течение шести месяцев, но успешно функционировал более 18 лет, до 30 сентября 1996 г., когда был отключён из-за финансовых проблем ESA. Спутник провёл около 100 тыс. наблюдений 9300 объектов, архив которых доступен по компьютерным сетям всем астрономам мира. Среди важнейших результатов IUE — изучение хромосфер горячих звёзд, измерение скорости потери вещества массивными звёздами, определение температуры белых карликов, изучение квазаров и скорости звёздообразования в галактиках.

Когда IUE ещё только был запущен, NASA и ESA уже готовили ему значительно более мощного преемника — космический телескоп «Хаббл». Имея зеркало диаметром 2,4 м, он должен был получать изображения объектов и проводить их спектральные измерения. Запланированный на 1983 г. запуск был отложен на 7 лет, вначале из-за задержки проекта, а затем из-за катастрофы шаттла «Челленджер» в 1986 г. Вскоре после того, как шаттл «Дискавери» 25 апреля 1990 г. вывел «Хаббл» на орбиту, астрономы поняли, что зеркалу телескопа придана неправильная форма — оно имеет сильную сферическую аберрацию и даёт размытые изображения. Были и другие серьёзные проблемы. Неверно спроектированные солнечные батареи каждый раз при переходе спутника с теневого участка орбиты на солнечный испытывали тепловые деформации и начинали вибрировать, вызывая дрожания телескопа, которые система наведения не могла компенсировать. От большинства запланированных для «Хаббла» программ пришлось отказаться или урезать их. Спектральные измерения требовали времени в несколько раз больше расчётного. Чёткость некоторых изображений удавалось доводить до расчётной в 0,1″, но только после сложной компьютерной обработки. Способность «Хаббла» получать изображения слабых звёзд в других галактиках была под вопросом.

Во время ремонтной экспедиции (STS 61, 2–13 декабря 1993 г.) астронавты шаттла «Индевор» заменили панели солнечных батарей и установили новую камеру и линзовый корректор. После этого телескоп стал работать нормально, получая данные, недоступные любому другому инструменту.

До 1997 г. на «Хаббле» было две камеры: широкоугольная и планетная камера-2 и камера слабых объектов (FOC), а также два спектрографа: спектрограф слабых объектов и годдардовский спектрограф высокого разрешения (GHRS). Камера FOC получает ультрафиолетовые изображения, а прибор GHRS — спектры сверхвысокого разрешения. Во время второго полёта к телескопу (STS-82, 11–21 февраля 1997 г.) астронавты «Дискавери» взамен спектрографа слабых объектов и GHRS установили инфракрасную камеру с многообъектным спектрометром и полевой спектрограф, работающий в диапазоне от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного излучения. Следующие полёты к «Хабблу» для установки на нём нового оборудования происходили в 1999, 2002 и 2009 гг., что обеспечило ему лидирующее положение и в начале XXI в. Вывод из эксплуатации шаттлов в 2011 г. сделал дальнейшее обслуживание «Хаббла» невозможным. Планируется завершить его работу в 2014 г.

Два полёта обсерватории ASTRO на борту шаттлов «Колумбия» (STS-35, 2–11 декабря 1990 г.) и «Индевор» (STS-67, 2–18 мая 1995 г.) позволили провести ультрафиолетовые наблюдения в более коротковолновом диапазоне, чем на телескопе «Хаббл», и получить широкоформатные изображения неба в дополнение к маленьким областям, детально изученным с «Хаббла».

Ультрафиолетовые спектрометры межпланетных зондов «Вояджер» работали с высокой чувствительностью на краю Солнечной системы, в отсутствие рассеянного солнечного света. В 1992–2001 гг. спутник «Extreme Ultraviolet Explorer» провёл обзор неба в диапазоне от 7 до 76 нм, где Галактика непрозрачна и можно видеть только ближайшие источники (спутник заметил их около 800). Однако в области около 10 нм межзвёздный газ уже вновь

прозрачен и можно наблюдать некоторые внегалактические источники. А ещё более короткие волны — это мир рентгеновской астрономии.

Среди чисто оптических космических обсерваторий следует выделить астрометрические и фотометрические приборы. В принципе эти наблюдения можно проводить и с поверхности Земли, но за пределами атмосферы есть возможность достичь значительно более высокой точности, а это неизменно приводит к новым открытиям. Запущенный в августе 1989 г. астрометрический спутник «Гиппаркос» (ESA) при отсутствии атмосферного размытия изображений смог чрезвычайно точно измерить положения, движения, расстояния и яркость сотен тысяч звёзд. Анализ этих данных даёт астрофизике твёрдый фундамент, ибо наши знания о далёких звёздах основаны на сравнении с их близкими аналогами.

Особую роль для нашей жизни имеет ближайшая из звёзд — Солнце. Поэтому особенно часто создаются космические обсерватории для наблюдения Солнца в недоступных для наземных обсерваторий диапазонах спектра и с недоступных ракурсов — с полюсов и с «обратной стороны». Солнце настолько ярче любого другого астрономического объекта, что от него ослепнет любой детектор у описанных выше спутников. Поэтому солнечные обсерватории используют телескопы меньшего диаметра и сильнее расщепляют свет для получения более высокого спектрального разрешения. Внеатмосферные наблюдения ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца позволяют изучать структуру его верхней атмосферы и энергетическую активность короны.

Часто на метеорологических спутниках устанавливают небольшие рентгеновские детекторы для регистрации солнечных вспышек, которые могут выбрасывать плазму в потоки солнечного ветра и влиять на земную ионосферу. Эти приборы — потомки простых счётчиков радиации, которые стояли в 1960–1965 гг. на спутниках Solrad Военно-морских сил США.

Первые внеатмосферные эксперименты NASA по научному изучению Солнца, а не просто для регистрации его вспышек проводились на восьми солнечных орбитальных обсерваториях (Orbiting Solar Observatory, OSO), запускавшихся между 1962 и 1975 гг. Орбитальная станция «Скайлэб» (Skylab, запущена 14 мая 1973 г.) имела несколько солнечных телескопов, среди которых были первые инструменты для получения рентгеновских изображений. OSO-7 (запущен 29 сентября 1971 г.) и «Скайлэб» обнаружили выбросы вещества из короны, часто связанные с солнечными вспышками, когда десятки миллиардов тонн солнечной плазмы впрыскиваются в межпланетную плазму.

Спутник Военно-морских сил США Solwind (P78–1, запущен 24 февраля 1979 г.) наблюдал солнечную корону, пока не был разрушен Военно-воздушными силами США в 1985 г. при испытании противоспутникового оружия. Спутник NASA Solar Maximum Mission (SMM, или Solar Max, запущен 14 февраля 1980 г.) изучал Солнце в период его максимальной активности, но испортился всего через год после запуска. Однако экспедиция на шаттле (STS 41-C, «Челленджер» 6–13 апреля 1984 г.) починила его, и он исправно работал до следующего солнечного максимума. Эстафету от Solar Max принял японский «Йоко» (Yohkoh, «солнечный луч», запущен 30 августа 1991 г.), который ежедневно передавал чёткие рентгеновские изображения, показывающие вспышки и горячие пятна в короне. К сожалению, судьба этого спутника неожиданно оборвалась: «Йоко» прекратил работу 14 декабря 2001 г., в день кольцеобразного солнечного затмения. По несчастливому стечению обстоятельств аппарат попал в глубокую лунную полутень, и его система ориентации потеряла Солнце. Автоматика перевела систему в ждущий режим, но команд с Земли вовремя не последовало, солнечные батареи потеряли ориентацию, и аккумуляторы разрядились.

Наблюдения ультрафиолетового излучения высокоширотных областей солнечной короны проводились маленьким спутником Spartan-201, который на время экспедиции выпускали астронавты шаттла (STS-64, «Дискавери», 9–20 сентября 1994 г., свободный полёт спутника 13–15 сентября; STS-69, «Эндэвор», 7–18 сентября 1995 г., свободный полёт спутника 8–10 сентября) в те дни, когда межпланетный зонд «Улисс» (ESA) пролетал над южным и северным полюсами Солнца.

Объединёнными усилиями ESA и NASA создана самая мощная из космических солнечных обсерваторий — автоматическая станция SOHO (Solar and Heliospheric Observatory, запущена 2 декабря 1995 г.). Она работает (2012 г.) в районе точки Лагранжа L_1 системы Солнце–Земля, т. е. в том месте прямой, соединяющей Солнцу и Землю, где под действием их противоположно направленных притяжений станция оборачивается вокруг Солнца синхронно с Землёй. Ежедневно она передаёт на Землю десятки высококачественных изображений Солнца в широком диапазоне спектра. Летом 1998 г. связь с ней на несколько недель была потеряна, но к концу сентября 1998 г. была восстановлена в полном объёме.

Важную роль для космонавтики играет взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой Земли. Для изучения этого процесса создаются специальные обсерватории, такие как аппараты серии «Прогноз» (СССР, 1972–1995), Interball (Россия и др., 1995–1996). В связи с проведением Международного гелиофизического года (2007–2008) разными странами в период с 2006 по 2008 гг. было запущено более дюжины солнечных космических обсерваторий. Важным новшеством стало то, что некоторые обсерватории представляют собой группу однотипных параллельно работающих аппаратов, дающих трёхмерную картину явлений на Солнце, в межпланетном пространстве и гелиосфере. Например, два спутника STEREO (Solar TErrestrial RElations Observatory, NASA, запущены 26 октября 2006 г.) передают снимки Солнца, двигаясь по гелиоцентрической орбите с периодами 346 и 388 сут. Один из них опережает Землю, другой — отстаёт. С их помощью астрономы наблюдают Солнце со всех сторон и заранее узнают о предстоящем появлении активных областей из-за лимба светила.

КОСМИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ — обычно употребляемые в космонавтике характерные скорости движения тел вблизи планеты массы M и радиуса R. Для обращения вокруг планеты по низкой круговой орбите спутнику нужна 1-я космическая скорость, называемая также «круговой скоростью»; обозначается как V_0, V_1, V_{cir} или $V_{кр}$. Величина $V_1 = (GM/R)^{1/2}$; её значение у поверхности Земли 7,9 км/с, на низкой орбите ($H = 200$ км) около 7,8 км/с, а у орбиты Луны ($R = 400$ Мм) около 1 км/с.

Чтобы при старте с поверхности лишённой атмосферы планеты вырваться из поля её притяжения, телу необходимо сообщить скорость не меньше 2-й космической; другие её названия — скорость убегания, скорость ухода, скорость освобождения, скорость ускользания, параболическая скорость, критическая скорость. Обозначается как V_0, V_2, $V_{осв}$, V_{esc} или V_∞ (последнее обозначение нежелательно, поскольку в космонавтике его используют для «остаточной скорости», или «гиперболического избытка скорости»: $V_\infty^2 = V^2 - V_{esc}^2$). Величина $V_{II} = (2GM/R)^{1/2}$ составляет у поверхности Земли 11,2 км/с. Движение со второй космической скоростью совершается по параболе или прямой.

Кроме этих двух общепринятых величин скорости, существуют ещё две редко употребляемые величины — 3-я и 4-я космические скорости: это скорости ухода соответственно из Солнечной системы и Галактики. Их точные значения нельзя определить по ряду причин. Например, 3-ю космическую скорость обычно определяют как параболическую при $M = M_\odot$ (масса Солнца) и $R = 1$ а. е. (радиус орбиты Земли), получая значение $V_3 = 42$ км/с. Но при старте с поверхности Земли или с околоземной орбиты нужно преодолеть ещё притяжение планеты. Выйдя из сферы притяжения Земли (практически удалившись от неё на несколько её диаметров), аппарат сохраняет

орбитальную скорость Земли (29,8 км/с), поэтому необходимое приращение скорости до 42 км/с зависит от того, в каком направлении он должен покинуть Солнечную систему. Взлетая с поверхности Земли и наилучшим образом используя орбитальное движение планеты, аппарат может при старте иметь 3-ю космическую скорость всего 16,6 км/с, а для полёта в неблагоприятном направлении его необходимо разогнать до 72,8 км/с! Если к тому же учесть притяжение других планет, способное как ускорить, так и притормозить аппарат, диапазон возможных значений 3-й космической скорости станет ещё больше.

По тем же причинам нельзя указать точное значение 4-й космической скорости, необходимой для межзвёздных и межгалактических путешествий. Солнце обращается вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с. Поэтому для путешествия к центру нашей звёздной системы эту скорость нужно погасить. А чтобы отправиться к периферии Галактики или выйти за её пределы, необходимо к орбитальной скорости Солнца добавить ещё 250–300 км/с (точное значение неизвестно, поскольку нет надёжных данных о распределении вещества в Галактике).

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ – непилотируемый автоматический летательный аппарат для выполнения различных задач в космическом пространстве, например метеоспутник, спутник связи, межпланетный зонд.

КОСМИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ – пилотируемый космический аппарат, управляемый находящимся на его борту космонавтом/астронавтом.

КОСМИЧЕСКИЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ (ГАММА-) ВСПЛЕСК – возрастание потока космического рентгеновского (гамма-) излучения, вызванное процессами в одном из объектов за пределами Солнечной системы и характеризующееся длительностью до нескольких сотен секунд.

КОСМИЧЕСКИЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ (ГАММА-) ТРАНЗИЕНТ – возрастание потока космического рентгеновского (гамма-) излучения, вызванное процессами в одном из объектов за пределами Солнечной системы и характеризующееся длительностью больше нескольких сотен секунд.

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ (Next generation space telescope, NGST) – космический телескоп ближнего инфракрасного диапазона с сегментированным главным зеркалом диаметром 8 м, который планировалось запустить в 2009 г. Этот проект не был реализован, но с небольшими изменениями превратился в проект космического телескопа «Джеймс Уэбб» (James Webb Space Telescope, JWST).

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП «ДЖЕЙМС УЭББ», или «Джеймс Вебб» (James Webb Space Telescope, JWST) – автоматическая внеатмосферная обсерватория NASA (США), Европейского космического агентства (ESA) и Канадского космического агентства (CSA), запуск которой в космос запланирован на 2018 г. Впрочем, из-за финансовых проблем сроки реализации проекта несколько раз переносились, поэтому нет уверенности, что запуск вообще состоится. Масса аппарата 6200 кг. Телескоп – трёхзеркальный анастигмат Корша с камерами ближнего и среднего ИК-диапазонов (λ от 0,6 до 28,5 мкм). Главное зеркало телескопа диаметром около 6,5 м, составное складное. Предполагается запустить аппарат ракетой «Ариан-5» с космодрома в Куру. Он должен быть выведен в точку Лагранжа L_2 системы Земля–Солнце, на расстоянии 1,5 млн км от Земли в направлении, противоположном Солнцу.

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП «ХАББЛ» – автоматическая внеатмосферная обсерватория NASA (США) и Европейского космического агентства (ESA), работающая на околоземной орбите высотой около 560 км (с. 8 цветной вкладки). Названа в честь американского астронома Эдвина Хаббла (1889–1953). Запущена с помощью шаттла «Дискавери» 25 апреля 1990 г. Её телескоп системы Ричи–Кретьена с главным зеркалом диаметром 2,4 м получает изображения в оптическом, ближнем инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра с угловым разрешением 0,1″, что значительно лучше, чем у наземных телескопов. Масса обсерватории 11 т. Работой телескопа астрономы управляют с Земли; в выборе объектов наблюдения и обработке результатов участвуют специалисты всех стран. Несколько раз экипажи астронавтов на борту шаттлов посещали «Хаббл» для ремонта и замены приборов (см. *Космические обсерватории*). Планируется, что работа телескопа «Хаббл» продлится до 2014 г.

КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ИМ. КЕННЕДИ (The John F. Kennedy Space Center) – подразделение NASA на мысе Канаверал (Флорида, США), выполняющее запуски космических аппаратов.

КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО – пространство за пределами атмосферы Земли. Границу между атмосферой и космическим пространством разные специалисты определяют по-разному. Одно из определений основано на том факте, что на высоте около 100 км над уровнем моря плотность воздуха уже столь мала, что для создания достаточной подъёмной силы крыла самолёт должен двигаться с первой космической скоростью – примерно 7,9 км/с. Но в таком случае крыло ему уже не требуются, поскольку он становится искусственным спутником Земли. Венгерско-американский инженер и физик Теодор Карман (Theodore von Karman, 1881–1963) предложил считать высоту в 100 км границей атмосферы (линия Кармана), выше которой пространство можно считать космическим. Эта граница принята как официальная в рамках Международной авиационной федерации; она считается водоразделом между аэронавтикой и астронавтикой. С другой стороны, для космических кораблей, возвращающихся на Землю, а также для метеороидов атмосферные эффекты становятся заметными начиная с высоты 120 км. Поэтому нередко именно эту высоту считают границей атмосферы и космического пространства.

КОСМИЧЕСКОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ – гамма-излучение, приходящее от отдельных космических источников или фона. По энергии квантов обычно делится на мягкое (от нескольких сотен кэВ до нескольких МэВ), промежуточное (от нескольких МэВ до десятков МэВ), высокоэнергичное (от нескольких десятков МэВ до 10^{11} эВ) и сверхвысокоэнергичное (более 10^{11} эВ).

КОСМИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – рентгеновское излучение, приходящее от отдельных космических источников или фона. По энергии квантов обычно делится на мягкое (от 1,24 до 12,4 кэВ) и жёсткое (от 12,4 до 124 кэВ) рентгеновское излучение.

КОСМОГОНИЯ (от греч. *kosmo, kosmos* – Вселенная, *gonea, goneas* – родитель) – раздел астрономии, занимающийся изучением происхождения и эволюции небесных тел – звёзд (в том числе Солнца), планет (в том числе Земли) и других тел планетных систем. Наиболее развиты космогония Солнечной системы (планетная космогония) и звёздная космогония. Во второй половине XX в. в планетной космогонии утвердилась гипотеза о происхождении Солнца и планет из единого холодного газово-пылевого облака (гипотеза Канта и Лапласа, развитая О. Ю. Шмидтом, Ф. Хойлом, А. Камероном, Э. Шацманом и др.).

КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСТОЯННАЯ (Λ) – постоянная величина, первоначально введённая в уравнения общей теории относительности для получения решения, описывающего статическую Вселенную. В настоящее время она интерпретируется как постоянная плотность энергии вакуума, сообщающей ему свойство антигравитации.

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ – математические модели эволюции однородной Вселенной, которые следуют из решения уравнений тяготения А. Эйнштейна в применении ко Вселенной в целом. Для изотропной и однородной в больших масштабах Вселенной эти уравнения дают различные космологические модели в зависимости от значений средней плотности ρ материи во Вселенной, постоянной Хаббла H_0 и космологической постоянной Λ. В принципе геометрия Вселенной может быть замкнутой (наблюдаемое расширение в будущем сменится сжатием) или открытой (вечное расширение), причём в открытой модели расширение может быть как замедляющимся, так и ускоряющимся. Согласно современным данным, в природе реализуется именно последний вариант – взаимное удаление галактик в последние несколько миллиардов лет происходит с ускорением.

КОСМОЛОГИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ – нестационарность Вселенной, проявляющаяся в её расширении: расстояние между любыми двумя достаточно удалёнными объектами (например, скоплениями галактик) увеличивается со временем по единому закону (см. *Космологические модели*). Космологическое расширение приводит к эффекту «разбегания» галактик со скоростями, возрастающими с расстоянием до галактик, что установлено по красному смещению линий в их спектрах (см. *Закон Хаббла*).

КОСМОЛОГИЯ – физическое учение о строении и эволюции Вселенной как единого целого. Космология находится на стыке астрономии, теории гравитации и физики элементарных частиц. В рамках космологии учёные ищут объяснение фундаментальным свойствам наблюдаемой Вселенной и изучают ранние, дозвёздные стадии её развития.

КОСМОС (греч. *κόσμος* – порядок, красота, упорядоченная Вселенная, в противоположность хаосу) – в широком смысле: весь материальный мир, вся вселенная, мироздание. В узком смысле: мировое пространство за пределами Земли, за границей земной атмосферы. Формальной границей земной атмосферы считается высота 120 ± 2 км над уровнем моря. В космонавтике выделяют «ближний космос», исследуемый при помощи искусственных спутников Земли и межпланетных космических аппаратов, и «дальний космос» – мир звёзд и галактик.

КРАБОВИДНАЯ ТУМАННОСТЬ – светлая газовая туманность в созвездии Телец. Это остаток взрыва сверхновой звезды, оптическая вспышка которой наблюдалась в 1054 г. Объект расположен на расстоянии около 2 кпк от Солнца. Имеет обозначения NGC 1952 или M1 (по каталогу Ш. Мессье); радиоисточник Tau A. Остатки взрыва расширяются сейчас со скоростью 1200 км/с и видны как эллипсовидная волокнистая туманность общим блеском $8{,}4^m$ и угловым размером $7' \times 5'$, что на указанном расстоянии соответствует линейному размеру около 3,5 пк. Ажурная газовая оболочка Крабовидной туманности расширяется со скоростью более 1000 км/с (с. 16 цветной вкладки).

Близ центра туманности располагается ядро взорвавшейся звезды – нейтронная звезда-пульсар PSR J0534+2200, вспыхивающая с периодом 0,033 с в радио-, оптическом, рентгеновском и гамма-диапазонах. Вблизи пульсара до настоящего времени происходит ускорение заряженных частиц (космических лучей) до очень высоких энергий. Источником энергии служит быстрое, около 30 оборотов в секунду, вращение нейтронной звезды.

Крабовидная туманность является мощным источником синхротронного радиоизлучения. Оптическое и рентгеновское излучение её внутренних областей, как оказалось, также имеет синхротронную природу и связано с движением высокоэнергичных электронов в магнитном поле туманности. Изучение Крабовидной туманности сыграло исключительно большую роль в развитии современной астрофизики. В частности, именно она оказалась первым обнаруженным объектом с нетепловым оптическим излучением и первым остатком сверхновой, где на месте взорвавшейся звезды была найдена нейтронная звезда (пульсар).

КРАЕВОЙ ЭФФЕКТ – визуальный эффект, возникающий при проявлении высококонтрастных фотографических изображений, в которых соседствуют области с сильно различающейся оптической плотностью. Краевой эффект возникает вдоль границ таких областей. В результате проявления граница со стороны тёмной области получается перепроявленной, т. е. слишком тёмной, а со стороны светлой области граница получается недопроявленной, т. е. слишком светлой. Эффект возникает из-за диффузии проявителя, не использованного в эмульсии светлых областей негатива, из светлых областей в тёмные.

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ – увеличение длин волн линий в спектре источника излучения по сравнению с линиями эталонных спектров. В наблюдениях проявляется как сдвиг спектральных линий к красному концу спектра. Красное смещение возникает, когда расстояние между источником излучения и его приёмником (наблюдателем) увеличивается (эффект Доплера) или когда источник находится в сильном гравитационном поле (гравитационное красное смещение). В астрономии наибольшее красное смещение наблюдается в спектрах далёких внегалактических объектов (галактик и квазаров) и рассматривается как следствие космологического расширения Вселенной.

Численно красное смещение обычно характеризуют величиной $z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$, где λ – длина волны спектральной линии в излучении, приходящем от космического источника; λ_0 – длина волны той же линии, измеренная в спектре неподвижного лабораторного источника. При небольших скоростях движения эффект Доплера вызывает красное смещение (или голубое, если источник приближается к наблюдателю), пропорциональное лучевой скорости (v): $z = v/c$, где c – скорость света. При $v \sim c$ эта зависимость становится сложнее: $v = c(z^2 + 2z)/(z^2 + 2z + 2)$. Если излучение испущено с поверхности компактного массивного объекта, то его гравитационное красное смещение составляет $z = GM/(Rc^2)$, где M и R – масса и радиус тела, G – постоянная тяготения.

КРАСНЫЙ ГИГАНТ – звезда очень большого размера (в десятки и сотни раз больше Солнца), имеющая относительно низкую (около 3000 К) температуру поверхности. Относительно короткая эволюционная фаза красного гиганта следует за длительной фазой звезды главной последовательности. Когда в ядре звезды главной последовательности израсходовано ядерное топливо (водород), ядро сжимается и уплотняется, а термоядерные реакции продолжаются на его поверхности, причём из-за возросшей температуры и плотности в области протекания реакций они становятся всё более и более интенсивными. Возросший поток энергии не в состоянии «просочиться» к поверхности сквозь плотное вещество звезды, поэтому оболочка звезды, поглощая идущую от ядра энергию, расширяется и постепенно становится более прозрачной (модель этого явления – детский воздушный шарик, который при надувании становится почти прозрачным). Это продолжается до тех пор, пока темп выделения энер-



Строение красного гиганта

гии в ядре звезды не сравняется с темпом её потери с поверхности. Так из звезды главной последовательности образуется красный гигант. Светимость красного гиганта в тысячи раз выше, чем у предшествовавшей ему звезды главной последовательности.

КРАТНАЯ ЗВЕЗДА — группа из нескольких (более двух) близких друг к другу (в проекции на небо) звёзд. Изредка кратные звёзды именуют также «множественными звёздами». Видимая близость звёзд на небе может быть вызвана как эффектом проекции звёзд, далёких в пространстве друг от друга, так и их реальной близостью, вызванной случайной встречей (что маловероятно), генетической связью (т. е. общностью происхождения) или физической связью, объединяющей их в кратную звёздную систему.

КРАТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ СИСТЕМА — группа из нескольких (от трёх до обычно 7–8) звёзд, гравитационно связанных в единую систему. Звёздные системы с числом членов более нескольких десятков именуют звёздными скоплениями.

КРАТНОСТЬ — мера увеличения окуляра телескопа или иного оптического прибора. Окуляры, используемые в астрономии, обычно маркируются величиной их фокусного расстояния, что позволяет определять увеличение телескопа путём деления фокусного расстояния его объектива на фокусное расстояние окуляра. Окуляры, выпускаемые для использования в микроскопах и т. п., чаще маркируются увеличением, или кратностью, например 10×. Кратность определяют на основе стандартного фокусного расстояния от объектива микроскопа до изображения объекта (так называемая длина тубуса), равного 250 мм. Таким образом, десятикратный окуляр (10×) имеет фокусное расстояние 25 мм, а 25× — 10 мм.

КРАТНЫЕ ЗВЁЗДЫ — системы, состоящие более чем из двух звёзд (обычно 3–6), близко расположенных друг к другу и связанных гравитационным притяжением. В состав кратных звёзд часто входят двойные системы. Примером служит шестикратная звёздная система, две ярчайших звезды которой — Алькор и Мицар — видны невооружённым глазом в созвездии Большой Медведицы как двойная звезда. При этом Алькор является компактной двойной звездой, а Мицар состоит из двух компактных звёздных пар.

КРЕПЛЕНИЕ «ЛОВЕРХ ОСНОВНОГО» (англ. *piggy-back mounting*) — кронштейн или иная подобная конструкция, установленная на телескопе и предназначенная для крепления других инструментов — камеры, второго телескопа и т. п. — к основному инструменту так, что оптические оси обоих инструментов параллельны. Такое крепление позволяет работать с дополнительными приборами, используя монтировку и часовое ведение основного телескопа.

КРЕСЛО НАБЛЮДАТЕЛЯ — кресло, специально приспособленное для проведения астрономических наблюдений. При наблюдении невооружённым глазом, например при счёте метеоров, вполне подойдёт раскладное дачное кресло, позволяющее обозревать зенитную область неба. При наблюдении с биноклем или небольшим телескопом очень удобно прикрепить инструмент над головой к обычному раскладному креслу с изменяемой высотой спинки. Для наблюдений с большими телескопами необходимо специальное кресло, позволяющее наблюдателю изменять высоту сидения, не вставая; подобные кресла обычно конструируются и изготовляются специально. При наблюдении с большими рефракторами, имеющими фокусное расстояние более 4 м, используются особые кресла-лестницы, ступени которых имеют возможность выдвигаться и служить сиденьем. Крупные телескопы-рефлекторы часто имеют механизированный подъёмник для наблюдателя и обслуживающего телескоп персонала. Как правило, этот подъёмник движется по рельсовому пути, проложенному на полу башни, и имеет несколько степеней свободы, что позволяет приблизиться к любому узлу телескопа в любом его положении. Иногда этот подъёмник является частью монтировки телескопа. На верхней площадке подъёмника можно расположить приборы и кресло наблюдателя. В последнее время на крупных телескопах практикуются дистанционные наблюдения, поэтому в присутствии наблюдателя у телескопа нет необходимости.

КРЕССИДА (U IX, Cressida) — естественный спутник Урана. Его открыл С. П. Синнотт 9 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 61 767 км. Орбитальный период 0,4635696 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0004. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,01°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 92×4×74 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным, причём большая ось эллипсоидальной фигуры спутника постоянно ориентирована на планету. Масса около $3{,}4 \cdot 10^{17}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 13 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 34 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск $21{,}6^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 5″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

КРЕСТ МИЛЛСА — один из первых вариантов радиоинтерферометра, состоящий из многочисленных простых дипольных антенн, расположенных в виде креста вдоль двух взаимно перпендикулярных линий.

КРИВАЯ БЛЕСКА — график, показывающий изменение блеска объекта (обычно в звёздных величинах) в зависимости от времени.

КРИВАЯ РОСТА — график, показывающий зависимость эквивалентной ширины (W_λ) спектральных линий от количества атомов, ионов или молекул, лежащих на луче зрения и формирующих эту линию. Обычно кривые роста строят для линий поглощения. Но иногда используют кривые роста и для линий излучения (если распределение атомов по уровням энергии соответствует распределению Больцмана); они показывают полную интенсивность линии излучения в зависимости от числа излучающих атомов. Кривые роста применяют для определения химического состава звёздных и планетных атмосфер, оболочек новых и сверхновых звёзд, межзвёздных облаков и других объектов, имеющих линейчатый спектр. С помощью кривых роста находят также температуру и скорость микротурбулентных движений газа. Анализ производится путём сравнения теоретических и полученных из наблюдений кривых роста.

С помощью кривых роста выполнены обширные исследования химического состава звёзд нашей Галактики и ярких звёзд других галактик, а также исследован характер движений газа в атмосферах звёзд различного типа. Удалось выяснить, например, что микротурбулентная скорость для звёзд-карликов составляет от 1 до 3 км/с, а для сверхгигантов она в 10 раз больше. Установлено, что обилие железа в звёздах старого населения Галактики в 1000 раз меньше, чем на Солнце. Наряду с методом кривых роста для тех же целей в настоящее время всё более широко используется компьютерное моделирование звёздных атмосфер.

КРИВИЗНА ПОЛЯ — аберрация оптической системы, состоящая в том, что изображение плоского предмета получается резким не в плоскости, как должно быть в идеальной системе, а на искривлённой поверхности. При наличии кривизны фокальной поверхности для получения резких изображений по всему полю зрения телескопа необходимо либо искривлять плоскость светоприёмника (как в камере Шмидта, где фотопластинка изгибается

в специальной кассете), либо исправлять эту аберрацию с помощью дополнительного оптического элемента – корректора кривизны поля.

КРИНОВ, Евгений Леонидович (3.03.1906, Отъяссах, Россия, – 2.01.1984, Москва, СССР) – российский астроном и геолог, доктор геолого-минералогических наук (1961), основоположник оптики ландшафтов. Государственная премия СССР (1952). Известный исследователь метеоритов и минералов; в честь него назван открытый (1966) в метеоритах минерал криновит. Автор монографий «Спектральная отражательная способность природных образований» (1947, англ. пер. в Канаде 1953), «Метеориты» (1948), «Тунгусский метеорит» (1949), «Основы метеоритики» (1955) и др.

КРИОВУЛКАНИЗМ – вулканические процессы на некоторых планетах и их спутниках, происходящие в условиях крайне низкой температуры окружающей среды. Вместо расплавленных скальных пород криовулканы извергают воду, аммиак, соединения метана – как в жидком, так и в газообразном состоянии.

Впервые криовулканы были обнаружены автоматическим зондом «Вояджер-2» (NASA) на спутнике Нептуна Тритоне в августе 1989 г. В районе южной полярной шапки спутника имеются небольшие тёмные пятна – газовые струи, вылетающие из жерл криовулканов. На высоте 8 км струи изгибаются под прямым углом и далее тянутся в виде широких горизонтальных шлейфов на 150 км и более. На снимках Тритона насчитывается до 50 таких пятен. Криовулканизм на Тритоне предположительно порождён энергией приливного взаимодействия спутника с планетой.

При пролётах зонда «Кассини» близ Титана были получены свидетельства, что на этом спутнике Сатурна также существуют криовулканы, выбрасывающие в атмосферу заметное количество холодного вещества. Предположительно эти криовулканы служат источником метана, присутствующего в атмосфере Титана.

Криовулканизм обнаружен также на относительно небольшом спутнике Сатурна Энцеладе. Там из разломов льда в районе южного полюса поднимаются огромные выбросы воды. Ряд косвенных данных свидетельствует о наличии криовулканизма и на ряде других «ледяных спутников», обращающихся вокруг газовых планет-гигантов, в частности на Европе и Ганимеде (спутники Юпитера).

КРИТЕРИЙ λ/4 – условие, которому должна соответствовать линзовая оптика телескопа, если она предназначена для достижения рэлеевского предела разрешения. Оптическая система удовлетворяет критерию λ/4, если после прохождения системы отклонение волнового фронта от идеального не превышает четверти рабочей длины волны.

КРИТЕРИЙ λ/8 – условие, которому должны соответствовать элементы телескопа-рефлектора, если он предназначен для достижения рэлеевского предела разрешения. Согласно этому критерию, поверхность отражающего оптического элемента (зеркала) не должна отклоняться от идеальной более чем на $^1/_8$ рабочей длины волны λ. Зеркальный элемент, удовлетворяющий критерию λ/8, обеспечит ошибку в отражённом волновом фронте, не превышающую λ/4.

КРИТИЧЕСКАЯ СВЕТИМОСТЬ – мощность электромагнитного излучения, выделяемая массивным телом (звездой, квазаром), при которой давление излучения, действующее на расположенный рядом с ним элемент плазмы, уравновешивается силой притяжения этого тела. Для тела с массой Солнца критическая светимость составляет около 10^{31} Вт. См. *Эддингтоновский предел светимости.*

КРОММЕЛИН, Эндрю Клод (Crommelin, Andrew Claude de la Cherois) (6.02.1865, Кушенден, округ Антрим, Сев. Ирландия, – 20.09.1939, Лондон, Великобритания) – английский астроном. Получил образование в колледже Марлборо, а затем в Тринити-колледже Кембриджа. С 1891 г. ассистент в Гринвичской обсерватории. Занялся изучением орбит комет и малых планет, став одним из крупнейших в мире специалистов по кометам. Совместно с Ф. Коуэллом упростил метод вычисления возмущений долгопериодических комет. В работе «О возвращении кометы Галлея» они проследили прохождение этой кометы через перигелий вплоть до 240 г. до н. э. и «с меньшей уверенностью» до 625 г. до н. э. Возвращение кометы в 1910 г. они предсказали с точностью 3 сут. За эту работу оба автора получили премию им. Линдемана от Германского астрономического общества и оба получили степени докторов науки Оксфордского университета. Кроммелин принимал участие в экспедициях на солнечные затмения в 1896, 1900, 1905, 1912 и 1927 гг. В 1919 г. он был приглашён Постоянным объединённым комитетом по затмениям в экспедицию на затмение в Бразилию, где основной задачей было измерение угла отклонения света в гравитационном поле Солнца. С 1898 до 1906 г. вычислял эфемериды для наблюдений Марса, Юпитера, Сатурна и Луны. Более сорока лет помещал сообщения о кометах и малых планетах в журнале «Обсерватория» (Observatory) и в «Журнале Британской астрономической ассоциации». Он автор «Каталога комет» (Comet Catalogue, 1925), вместе с Мэри Проктор написал книгу «Кометы» (1937).

КРОН – лёгкий сорт оптического стекла; отличается меньшим показателем преломления (около 1,5), но большим коэффициентом дисперсии (55–60), чем у стекла сорта флинт. Линзы из кроновых и флинтовых сортов стекла совместно используются для изготовления ахроматических объективов (см. *Ахромат*), свободных от хроматической аберрации.

«КРОТОВАЯ НОРА», или **«червоточина»** (англ. *wormhole*), – гипотетический пространственно-временной туннель, связывающий коротким путём отдалённые области Вселенной.

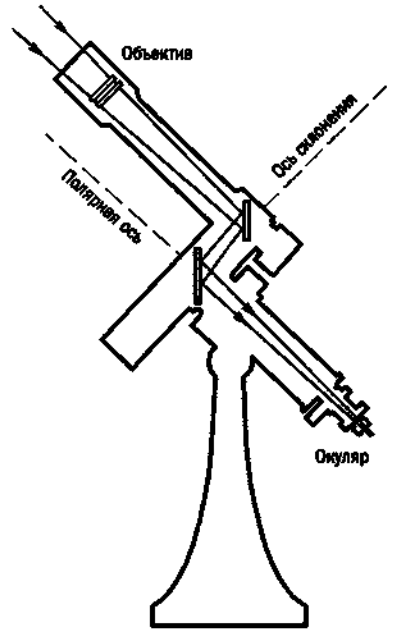
КРУГ ВЫСОТЫ – большой полукруг небесной сферы, проходящий через зенит, небесное светило и надир.

КРУГ РОУЛАНДА – основа нескольких схем спектрографов с вогнутой дифракционной решёткой. Круг Роуланда, по существу, является продолжением образующей кривой решётки, поэтому если на этой окружности поместить входную щель спектроскопа, то изображение спектра расположится на ней же. Введён американским физиком Генри Роулендом (Henry Augustus Rowland, 1848–1901).

КРУГ СКЛОНЕНИЯ – большой полукруг небесной сферы, проходящий через полюсы мира и небесное светило.

КРЫМСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ АН УКРАИНЫ расположена в пос. Научный, Бахчисарайский р-н, Крым (высота 550 м над уровнем моря). Основана в 1945 г. Крупнейший инструмент – телескоп-рефлектор им. Г. А. Шайна диаметром 2,6 м.

КУДЕ, оптическая система – конструкция телескопа-рефлектора, в которой с помощью нескольких дополнительных зеркал собранный свет выводится через центральное отверстие полярной оси, так что изображение остаётся на месте, хотя телескоп поворачивается вслед за звёздами. Конструкцию телескопа-куде (от фр. *coude* – изгиб) предложил в 1871 г. французский астроном Бенджамин Леви (1833–1907). Достоинство этой системы в том, что в неподвижном фокусе-куде можно устанавливать стационарные приборы, например массивные спектрографы. Неподвижная окулярная часть телескопа удобна также для публичных демонстраций неба в народных обсерваториях. Недостатки системы: 1) вращение изображения вокруг оптической оси, которое при фотографировании объектов с длительной экспозицией требует вращающейся кассеты; 2) отражение света от



Телескоп-рефрактор фирмы «Карл Цейс», сделанный по схеме куде. При поворотах объектива расположенный в основании полярной оси окуляр остаётся неподвижным

двух дополнительных зеркал, что ведёт к некоторой потере света. См. также *Фокус куде*.

КУКАРКИН, Борис Васильевич (30.10.1909, Нижний Новгород, Россия, – 15.09.1977, Москва, СССР) – советский астроном, исследователь переменных звёзд. Знания приобрёл самообразованием. В 1928–1931 гг. заведовал обсерваторией Нижегородского кружка любителей физики и астрономии, в 1931–1932 гг. – астроном Ташкентской обсерватории. С 1932 г. работал в Московском университете (МГУ) и Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ). В 1941–1944 гг. был в рядах Советской армии. С 1951 г. – профессор МГУ, в 1952–1956 гг. – директор ГАИШ МГУ, в 1956–1960 гг. – зав. отделом переменных звёзд этого института, с 1960 г. – зав. кафедрой звёздной астрономии (с 1965 г. – кафедра звёздной астрономии и астрометрии) физического факультета МГУ и зав. отделом изучения Галактики и переменных звёзд ГАИШ.

Основные работы посвящены изучению переменных звёзд, структуры звёздных скоплений и Галактики. В 1928 г. обнаружил зависимость между периодом и спектральным классом затменных переменных звёзд. В 1934 г. совместно с П. П. Паренаго установил статистическую зависимость между амплитудой вспышки и длительностью промежутка между вспышками у переменных типа U Близнецов, что привело к верному предсказанию ими вспышки новоподобной звёзды Т Северной Короны. Исследовал кривые блеска, периоды и светимость цефеид. Вместе с Паренаго составил каталог-картотеку характеристик переменных звёзд, который лёг в основу «Общего каталога переменных звёзд» (ОКПЗ), созданного по поручению Международного астрономического союза (МАС) московскими исследователями под руководством Кукаркина. Первое издание ОКПЗ вышло в свет в 1948 г. и содержало сведения о 10 912 звёздах. Работа над этим каталогом происходит непрерывно: 4-е пятитомное издание ОКПЗ вышло в свет в 1980-е гг. под редакцией П. Н. Холопова и Н. Н. Самуся и содержало 28 450 переменных звёзд в нашей Галактике и около 10 тыс. – в других галактиках. Вместе с многочисленными дополнениями к 2010 г. ОКПЗ содержал данные более чем о 50 тыс. переменных звёзд и других нестационарных объектах, являя собой уникальный справочник.

Изучив пространственное распределение переменных звёзд различных типов в сопоставлении с их кинематическими и физическими характеристиками, Кукаркин развил концепцию различных звёздных «населений» Галактики и доказал разновременность возникновения галактических объектов. Эти исследования утвердили представление о Галактике как о звёздной системе, состоящей из взаимопроникающих подсистем. Кукаркин детально изучил совокупность шаровых скоплений Галактики и привел разнообразные данные о них в единую систему, изложив их в монографии «Шаровые звёздные скопления» (1974). Совместно с Паренаго написал книгу «Переменные звёзды и способы их наблюдения» (1938, 1947), сыгравшую большую роль в популяризации изучения переменных звёзд. Он один из авторов монографии «Переменные звёзды» (т. 1–3, 1937–1947), ответственный редактор коллективной монографии «Нестационарные звёзды и методы их исследования» (т. 1–5, 1970–1974). Был инициатором создания в 1928 г. бюллетеня «Переменные звёзды» и оставался его ответственным редактором на протяжении 49 лет. С 1956 г. председатель Комиссии по переменным звёздам Астрономического совета АН СССР, президент Комиссии № 27 «Переменные звёзды» МАС (1952–1958), вице-президент МАС (1955–1961). Награждён премией им. Ф. А. Бредихина АН СССР (1950). Его именем назван астероид № 1954.



Б. В. Кукаркин

КУЛИК, Леонид Алексеевич (7(19).8.1883, Дерпт, Россия, – 14.4.1942, Спас-Деменск, СССР) – советский минералог, специалист по метеоритам. Один из организаторов метеоритных исследований в СССР. Изучал места падений метеоритов, в том числе Тунгусского метеорита.

КУЛИКОВСКИЙ, Петр Григорьевич (31.05.1910, Киев, Россия, – 4.11.2003, Москва, Россия) – советский астроном. Известный исследователь и педагог, один из пионеров применения фотоэлектрических методов в астрономии. В 1938 г. окончил Московский университет и начал работать в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга. С 1940 г. преподавал в МГУ. Статистически исследовал сверхновые и дал их классификацию. Изучил К-эффект в Галактике (1940) и подтвердил существование потока Скорпиона–Кентавра по В-звёздам. Был инициатором систематических исследований по истории астрономии. Книги: «Звёздная астрономия» (1978, 1985), «Справочник любителя астрономии» (1949, 1953, 1961, 1971, 2002, 2008) и др.

КУЛЬМИНАЦИЯ – прохождение светила через небесный меридиан. Пересекая меридиан в верхней кульминации, звезда (или планета) имеет максимальную высоту, а в нижней кульминации – минимальную.

В зависимости от того, по какую сторону горизонта происходят кульминации, все звёзды делят на незаходящие, восходящие и невосходящие. У незаходящих звёзд обе кульминации происходят над горизонтом, т. е. светило постоянно располагается над горизонтом, и его в принципе можно наблюдать в любое время суток и года. Восходящие и заходящие звёзды часть времени проводят над горизонтом, а часть – под горизонтом, поскольку под горизонтом расположена точка их нижней кульминации. Невосходящие светила никогда не видны, поскольку даже в момент своей верхней кульминации они находятся под горизонтом.

На данной географической широте (φ) склонение невосходящих звёзд удовлетворяет условию: $\delta < (\varphi - 90°)$, а склонение незаходящих звёзд удовлетворяет условию: $\delta > (90° - \varphi)$.

КУПИДОН (U XXVII, Cupid) – естественный спутник Урана. Его открыли Марк Шоуолтер и Джек Лизауэр с помощью

космического телескопа «Хаббл». Большая полуось орбиты 75 256 км. Орбитальный период 0,62352747 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00007. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,0306°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размер около 15 км. Видимый блеск 26^m и максимальное угловое расстояние от планеты 5″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Замечание: существует и астероид с похожим названием – 763 Cupido (Купидон).

КЭМПБЕЛЛ, Уильям Уоллес (Campbell, William Wallace) (11.04.1862, округ Хэнкок, шт. Огайо, США, – 14.06.1938, Сан-Франциско, США) – американский астроном. В 1886 г. окончил Мичиганский университет. В 1886–1888 гг. преподавал математику в Колорадском университете, в 1888–1890 гг. преподавал астрономию в Мичиганском университете. В 1890–1930 гг. работал в Ликской обсерватории, с 1901 г. её директор, с 1931 г. почётный директор. В 1923–1930 гг. президент Калифорнийского университета, в 1931–1935 гг. президент национальной АН США.

Изучал оптические спектры звёзд. Детально исследовал Новую Возничего 1892 г. и отметил изменения в спектре – ослабление континуума и появление ярких линий. Наблюдал эмиссионный спектр звёзд Вольфа–Райе. Велика заслуга Кэмпбелла в подготовке и выполнении начатой в Ликской обсерватории в 1896 г. обширной программы по измерению лучевых скоростей звёзд по смещению линий в их спектрах (эффект Доплера). Лучевые скорости звёзд северного неба измерялись в Ликской обсерватории, а для изучения южных звёзд Кэмпбелл отправил 36-дюймовый телескоп со спектрографом в Сантьяго (Чили). Эти работы послужили основой для детального изучения движения звёзд и вращения Галактики. Важным результатом этих наблюдений было также обнаружение большого количества спектрально-двойных звёзд: в 1924 г. Кэмпбелл опубликовал каталог, содержащий данные о более чем 1000 спектрально-двойных звёздах. Он определил движение Солнца в Галактике, а также среднюю скорость хаотического движения звёзд различных спектральных классов.

Во время противостояния Марса в 1894 г. Кэмпбелл наблюдал его спектр и нашёл, что в атмосфере Марса очень мало кислорода и водяных паров и что её плотность намного ниже плотности земной атмосферы. Кэмпбелл возглавлял экспедиции Ликской обсерватории для наблюдения солнечных затмений – в Индию (1898), Испанию (1905), на о-в Флинт близ Таити (1908), в Россию (Киев, 1914), Австралию (1922) и др. Во время затмения 1922 г. произвёл совместно с Р. Дж. Трюмплером измерения отклонения лучей света звёзд при прохождении их вблизи Солнца – эффект, предсказанный общей теорией относительности Эйнштейна. Учебник Кэмпбелла «Элементы практической астрономии» (1899) на протяжении многих лет считался образцовым.

Иностранный член-корреспондент АН СССР (1924), член многих других академий наук и научных обществ, президент Международного астрономического союза (1922–1925). Медали им. Ж. Ж. Ф. Лаланда (1903) и П. Ж. С. Жансена (1910) Парижской АН, Золотая медаль Лондонского королевского астрономического общества (1906), медали им. Г. Дрэпера Национальной АН США (1906). им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1915).

КЭННОН, Энни Джамп (Cannon, Annie Jump) (11.12.1863, Довер, шт. Делавэр, США, – 13.04.1941, Кембридж, шт. Массачусетс, США) – американский астроном. Мисс Кэннон получила образование в колледже города Уэлсли, близ Бостона, где она среди прочего изучала физику и астрономию, а также практиковалась в спектроскопических измерениях. В 1896 г. Кэннон начала службу в обсерватории Гарвардского колледжа (США), где под руководством Э. Ч. Пикеринга продолжила работы по спектральной классификации звёзд, начатые Вильяминой Флеминг и Антонией Мори. Кэннон взялась за исследование ярких звёзд южного полушария и поначалу пыталась применить для классификации их спектров довольно сложную схему Флеминг, содержащую 22 класса, а затем – схему Мори, имевшую физические корни. Оба подхода не понравились Кэннон, и она развила свою, более простую систему спектральных классов, обозначив их буквами алфавита (A, B, C...).

В основном это деление звёзд на классы сохранилось до наших дней, хотя несколько видоизменилось. Когда в начале XX в. физики выяснили, как вид спектра зависит от температуры газа, была выделена основная последовательность спектральных классов: O, B, A, F, G, K, M, отражающая снижение температуры поверхности нормальных звёзд от 40 тыс. до 3 тыс. K. Затем были введены дополнительные классы R, N и S, отражающие вариации химического состава у относительно холодных звёзд-гигантов с температурой около 3000 K. В конце 1990-х гг. ввели два новых спектральных класса – L и T для звёзд с температурой поверхности менее 2000 K (для наиболее холодных звёзд предполагается ввести класс Y). В период Гарвардского проекта такие звёзды ещё не были открыты.

Между 1918 и 1924 гг. Кэннон опубликовала девять томов своего каталога «HD» (Henry Draper), содержащего 250 тыс. звёзд. И далее всю жизнь она занималась спектральной классификацией, которой охватила около 350 тыс. звёзд. Все тома каталога «HD» (включая HDE – Henry Draper Extension) содержат около 400 тыс. звёзд. Этот каталог стал настоящим «каноном»: он пользуется большим спросом у астрономов из-за высокой степени согласованности и однородности данных, поскольку это работа одного исследователя. Метод классификации Кэннон успешно используется по сей день. Кроме этого, за время работы над каталогом Кэннон открыла 300 переменных и 5 новых звёзд.

Энни Кэннон – почётный член Лондонского королевского астрономического общества (1914), почётный доктор многих университетов, к тому же первая женщина, получившая степень доктора наук Оксфордского университета (Англия, 1925).

Л

ЛАБИРИНТЫ (лат. *labyrinthus*, мн. *labyrinthi*) – комплексы пересекающихся долин и каньонов. Встречаются на Венере и Марсе.

ЛАБОРАТОРИЯ РЕАКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ (Jet Propulsion Laboratory) – государственный исследовательский и конструкторский центр США, работающий под управлением Калифорнийского технологического института в интересах NASA. Основные подразделения JPL расположены в области Лос-Анджелеса, а штаб-квартира находится в Пасадене (Калифорния), вблизи Калтеха. В задачи JPL входят разработка, запуск и сопровождение космических аппаратов, в основном межпланетных зондов, а также космических телескопов и некоторых научных спутников Земли. Кроме того, JPL управляет Сетью дальней космической связи.

ЛАВЕЛЛ, Альфред Чарлз Бернард (Sir [Alfred Charles] Bernard Lovell) (р. 31.08.1913, Олдлэнд-Коммон, графство Глостершир, Англия) – английский радиоастроном. В 1934 г. окончил Бристольский университет и в 1936 г. защитил там диссертацию. В 1936–1939 гг. преподавал физику в Манчестерском университете и занимался исследованием космических лучей. В годы войны (1939–1945) как сотрудник Института дальней связи Министерства авиации работал над вопросами радиолокации. В 1945 г. вернулся в Манчестерский университет, читал лекции по физике и применял армейское радиолокационное оборудование для изучения космических лучей. С 1951 г. профессор астрономии; с 1955 г. член Лондонского королевского общества.

Поскольку работе чувствительного радиооборудования мешали помехи боль-

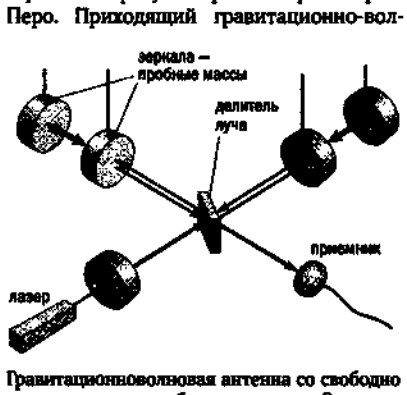
шого города, Лавелл предложил перенести приборы на поле Джодрелл-Бэнк, в 35 км к югу от Манчестера, принадлежащее ботаническому отделу университета. Там под его руководством с 1951 г. началось создание крупнейшей в мире радиоастрономической обсерватории — Экспериментальной станции Манчестерского университета в Джодрелл-Бэнк (Jodrell Bank Experimental Station), с 1966 по 1999 г. носившей название «Наффилдская радиоастрономическая лаборатория», а затем — «Обсерватория Джодрелл-Бэнк». Сэр Бернард Лавелл был её директором в 1951–1981 гг. Основной инструмент обсерватории — полноповоротный параболоид диаметром 76 м — вступил в строй в 1957 г., что в немалой степени было стимулировано желанием следить за полётом первых искусственных спутников Земли. До сих пор этот инструмент остаётся одним из крупнейших в мире.

Научные работы Лавелла посвящены изучению метеоров и нестационарных звёзд. Он развил методы радиолокации метеорных следов и доказал, что метеоры появляются в атмосфере Земли чаще, чем это фиксируют оптические приборы. С помощью радиолокации удалось открыть многочисленные дневные метеорные потоки. В 1958 г. Лавелл обнаружил радиоизлучение от вспышек звёзд типа UV Кита. Организовал международные синхронные оптические и радионаблюдения этих объектов; определил характеристики их радиоизлучения и нашёл, что отношение энергии, генерируемой в радиодиапазоне, к оптической энергии у вспыхивающих звёзд примерно в 1000 раз больше, чем у Солнца во время хромосферных вспышек. Под руководством сэра Бернарда обсерватория Джодрелл-Бэнк занималась изучением пульсаров, квазаров и далёких космологических радиоисточников, активно участвовала в слежении за космическими аппаратами, в поддержании связи с межпланетными зондами, а также в международных радиоинтерферометрических наблюдениях со сверхдлинными базами (в частности, в сотрудничестве с советскими/российскими радиоастрономическими обсерваториями).

Лавелл — автор известных научных и научно-популярных книг: «Радиоастрономия» (1952), «Метеорная астрономия» (1954, рус. пер. 1958), «Изучение космоса с помощью радиоволн» (1957), «Человек и Вселенная» (1959), «История Джодрелл-Бэнк» (1968). «Рождение космологии» (1981) и др. Он почётный член Американской академии искусств и наук (1955), Нью-Йоркской АН (1960), Шведской королевской АН (1962); избирался президентом Лондонского королевского астрономического общества (1969–1971), вице-президентом Международного астрономического союза (1970–1976). Награждён Орденом Британской империи (1946), Королевской медалью Лондонского королевского общества (1960), медалью им. Д. и Ф. Гуггенхеймов Международной федерации астронавтики (1961), Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1981). В 1961 г. за развитие радиоастрономии возведён в рыцарское звание.

ЛАЗЕРНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ, (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, LIGO) — система наземных детекторов гравитационных волн космического происхождения. Проект предложили в 1992 г. Кип Торн, Рональд Дривер из Калифорнийского технологического института и Райнер Вайс из Массачусетского технологического института. Проект финансируется Национальным научным фондом США в объёме 365 млн долларов США (в ценах 2002 г.). Проект имеет широкую международную кооперацию: около 40 научно-исследовательских институтов и 600 отдельных учёных работают над анализом данных, поступающих с LIGO и других подобных обсерваторий. В составе коллектива работают и российские учёные: группа член-корр. РАН В. Б. Брагинского (Физический факультет МГУ, Москва) и группа член-корр. РАН А. М. Сергеева (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород).

LIGO состоит из двух обсерваторий: в Ливингстоне (штат Луизиана) и в Хэнфорде, удалённых друг от друга на 3000 км. Это расстояние позволяет исключить местные сейсмические явления, а разница в моменте регистрации сигнала позволит определить направление на источник. Основной элемент каждой обсерватории — Г-образная система, состоящая из двух четырёхкилометровых плеч (труб) с высоким вакуумом внутри. Каждая обсерватория представляет собой интерферометр Майкельсона, в каждом из плеч которого благодаря свободно подвешенным зеркалам образуются резонаторы Фабри—Перо. Приходящий гравитационно-волновой импульс должен привести к смещению (колебанию) зеркал, что и будет зарегистрировано интерферометром. Наблюдения начались в 2002 г. Аппаратура и методики постоянно совершенствуются.



Гравитационноволновая антенна со свободно подвешенными пробными массами. Это оптический интерферометр Майкельсона, в котором зеркала свободно перемещаются под действием гравитационной волны

ЛАЗЕРНАЯ ЛОКАЦИЯ ЛУНЫ — определение расстояния от Земли до Луны путём измерения времени распространения светового импульса, посланного с поверхности Земли к Луне, отразившегося от поверхности Луны и вернувшегося обратно к Земле. Источником светового импульса служит лазер, приёмником — телескоп, а отражается свет от специально установленных на Луне уголковых отражателей (ретрорефлекторов).

Первые эксперименты по лазерной локации Луны (англ. *Lunar Laser Ranging*), ещё без использования уголковых отражателей, начались сразу после создания лазеров. В США с 9 по 11 мая 1962 г. для этой цели использовались два телескопа Массачусетского технологического института: первый диаметром 30,5 см направлял луч рубинового лазера на Луну, второй диаметром 122 см принимал отражённый сигнал. Лоцировались кратеры Аль-Баттани, Тихо, Коперник, Лонгомонтан. В СССР в 1963 г. лоцировалось дно кратера Аль-Баттани, причём как для посылки луча рубинового лазера, так и для его приёма использовался один телескоп диаметром 2,6 м Крымской астрофизической обсерватории, у которого после посылки светового импульса специальное зеркало изменяло своё положение, направляя отражённый от поверхности Луны свет в фотоприёмник. В этой обсерватории были произведены первые измерения расстояния до Луны методом лазерной локации, когда в 1965 г. с помощью новой установки, изготовленной в ФИАН, это расстояние было измерено с точностью 200 м. Точность была ограничена неровностью лунной поверхности.

В 1969–1973 гг. пилотируемые экспедиции «Аполлон-11, -14 и -15», а также автоматические аппараты «Луна-17» («Луноход-1») и «Луна-21» («Луноход-2») доставили на Луну ретрорефлекторы. Это матрицы из десятков уголковых отражателей — одинаковых призм с тремя взаимно перпендикулярными гранями (стеклянный кубик, рассечённый диагональной плоскостью). Откуда бы ни падал на него луч света, он отражается назад в направлении источника. Это позволило значительно увеличить точность лазерной локации.

Лазер через телескоп излучает импульс, направленный на отражатель, при этом точно фиксируется время, когда импульс был излучён. Для этого часть фотонов исходного импульса посылается на детектор телескопа с целью зафиксировать момент посылки импульса. Площадь лазерного луча на поверхности Луны составляет 30 км^2; площадь ретрорефлекто-

ра – порядка 0,3 м². Отражённый от прибора на Луне свет через 2,5 секунды возвращается в телескоп, далее проходит через систему фильтрации для получения фотонов нужной длины волны (для отсева шумов) и регистрируется в ожидаемом временном окне.

Точность измерения расстояния до Луны в начале 1970-х гг. составляла около 30 см, в 1980 г. – 15 см, в 1990 г. – 4 см, в 2000 г. – 1,5 см. В 2011 г. новая станция в обсерватории Апаче-Пойнт (шт. Нью-Мексико) достигла точности измерения расстояний до отражателей 2–3 мм, а точность определения размера орбиты Луны составила 15 мм. Из-за приливного взаимодействия с Землёй радиус лунной орбиты постепенно возрастает. За период лазерных измерений средняя скорость увеличения большой полуоси лунной орбиты составила 38 мм/год, а длительность земных суток под действием тех же приливов возрастала на 23 микросекунды в год. По палеонтологическим данным (дающим число солнечных суток в году), за последние 620 млн лет средняя скорость удаления Луны составила 22 мм/год, а длительность суток возрастала в среднем на 12 мкс/год.

С помощью лазерной локации Луны проверяется теория лунной орбиты, теория приливов, теория гравитации (общая теория относительности Эйнштейна) и принцип эквивалентности. Некоторые данные оказываются полезными для геофизики и физики лунных недр. Появляется возможность использовать систему «Земля–Луна» в качестве гравитационно-волнового детектора.

ЛАЗЕРНЫЙ КОЛЛИМАТОР – маломощный лазер, который устанавливают на место окуляра при юстировке телескопа. Процесс юстировки считается законченным, когда пятнышко отражённого лазерного луча точно совмещается с исходным пучком.

ЛАКАЙЛЬ, Никола Луи де (Nicolas Louis de Lacaille) (15.03.1713, Рюминьи, Франция, – 21.03.1762, Париж, Франция) – французский астроном. Изучал риторику и философию в Коллеж-де-Лизье в Париже, затем теологию в Наваррском колледже. Получил сан аббата. Астрономию изучил самостоятельно. С 1736 г. работал в Парижской обсерватории. В 1739 г. стал профессором математики в Мазариниевском колледже. С 1741 г. член Парижской АН. Предложил Парижской АН организовать экспедицию в Южное полушарие для изучения южного неба, в 1750–1754 гг. работал на мысе Доброй Надежды в Южной Африке, затем на французских островах Маврикий, Реюньон и Вознесения.

Прославился как один из самых активных астрономов-наблюдателей своего времени. Особую известность принесли ему наблюдения южного неба. Он нанёс на карту почти 10 тыс. южных звёзд. Обработал наблюдения и вычислил положения 1942 звёзд, которые включил в предварительный каталог. Все остальные его наблюдения были обработаны впоследствии в Эдинбурге Т. Хендерсоном и опубликованы Ф. Бейли в виде «Каталога 9766 звёзд Южного полушария» (1847). До Лакайля только Э. Галлей измерял положения южных звёзд (его каталог содержал 341 звезду). Лакайль завершил деление южного неба на созвездия, начатое голландскими мореплавателями около 1600 г.; выделил 14 новых созвездий и дал им имена. В течение 1751–1752 гг. выполнил в обсерватории на мысе Доброй Надежды многочисленные наблюдения Луны, Марса, Венеры для определения лунного и солнечного параллаксов путём сопоставления с аналогичными наблюдениями в Северном полушарии, которые в это время выполнял Ж. Ж. Ф. Лаланд в Берлинской обсерватории. Получил значение солнечного параллакса (9,5″), довольно близкое к современному. Участвовал во многих геодезических работах, выполнявшихся Парижской обсерваторией. В 1738 г. вместе с Дж. Д. Маральди провёл картографирование береговой линии Франции между Нантом и Байонной. В 1739–1741 гг. осуществил основные работы по измерению большой дуги меридиана на территории Франции и показал, что экваториальный радиус Земли больше полярного (т. е. что Земля сплюснута вдоль оси вращения). Впервые измерил дугу меридиана в Южной Африке. Составил карты и определил точное географическое положение островов Маврикий, Реюньон и Вознесения. Составил подробные таблицы атмосферной рефракции, учитывающие влияние температуры и атмосферного давления. Составил таблицы затмений с начала нашей эры до 1800 г. Написал пользовавшиеся широкой известностью учебники по математике (1741), механике (1743), астрономии (1746) и оптике (1756). Иностранный почётный член Петербургской АН (1756), член ряда других академий наук.

ЛАМБЕРТ, Иоганн Генрих (Lambert, Johann Heinrich) (26.08.1728, Мюльхаузен, Эльзас, – 25.09.1777, Берлин, Пруссия) – швейцарский астроном, математик, физик. Заложил основы фотометрии (наряду с П. Бугером, 1760). Ввёл термин «альбедо», открыл закон отражения света диффузной поверхностью (закон Ламберта). Оценил расстояния до звёзд по их яркости. Развил (1761) идею иерархического строения Вселенной.

ЛАНТАНОВЫЙ ОКУЛЯР – современный окуляр класса А; имеет оптическую схему симметричного окуляра или окуляра Эрфле; включает от 5 до 10 элементов; обеспечивает хорошо скорректированное поле зрения до 65°. В конструкции окуляра использованы лантановые стекла. Вынос выходного зрачка составляет около 20 мм для всех фокусных расстояний.

ЛАНТАНОВОЕ СТЕКЛО – оптическое стекло, в состав которого входит от 10% до 20% химического элемента лантана (^{139}La). Лантановые стекла имеют высокий показатель преломления и значительный коэффициент дисперсии. Их используют в некоторых типах окуляров и корректоров для телескопов.

ЛАОМЕДЕЯ (NXII, Laomedeia) – один из естественных спутников Нептуна. Открыли его Мэтью Холман и его коллеги 13 августа 2002 г. Большая полуось орбиты 23 567 тыс. км. Орбитальный период 3171,33 сут. Эксцентриситет орбиты 0,3969. Наклонение орбиты к эклиптике 37,87°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Средний диаметр около 42 км при альбедо 4%. Видимый блеск 25,5^m и максимальное угловое расстояние от планеты 26′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ЛАПЛАС, Пьер Симон, маркиз де (Laplace, Pierre Simon, marquis de) (23.03.1749, Бомон-ан-Оже, Франция, – 5.03.1827, Париж, Франция) – французский математик и астроном. В 18 лет стал преподавателем в Военной школе Парижа. Наряду с Лагранжем был ведущим учёным Франции XVIII в. Хотя был основоположником теории вероятностей, вся его дальнейшая жизнь оказалась посвящена разработке математических методов в астрономии. Важнейшей работой Лапласа стал «Трактат о небесной механике», опубликованный по частям в течение 26 лет (1798–1825). Он был полностью поглощён этой грандиозной работой и практически посвятил ей всю свою жизнь. В «Трактате» описаны свойства и движение небесных тел. Лаплас исследовал эффекты взаимного возмущения в движении планет, Солнца и Луны. Как мастер математического анализа он использовал свои остроумные методы. Основанный на ньютоновых законах гравитации, его огромный трактат имел целью проверку устойчивости Солнечной системы во времени. Некоторые части этого труда перегружены математическими выкладками и трудны для восприятия. Тем не менее Лаплас был величайшим творцом. Он смог предсказать устойчивость Солнечной системы и отсутствия катастроф в её будущем. Ещё одним шедевром Лапласа стал труд «Изложение системы мира» (1796). Это популярная книга, в которой почти нет математики. В приложении к этой книге им высказана знаменитая гипотеза о формировании планет из газовой туманности.

ЛАРИССА (N VII, Larissa) — естественный спутник Нептуна. Его открыли Х. Рейтсема, У. Хаббард и др. при наблюдении покрытия звезды Нептуном 24 мая 1981 г. Снимки, переданные «Вояджером-2» в 1989 г., подтвердили это открытие.

Большая полуось орбиты 73 548 км. Орбитальный период 0,55465332 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0014. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,25°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Размеры 216×204×168 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $4 \cdot 10^{18}$ кг при средней плотности около 1,2 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 3 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 76 м/с. Альбедо около 9%. Видимый блеск 22^m и максимальное угловое расстояние от планеты 3″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 51 К.

Вследствие короткого орбитального периода Ларисса испытывает приливное торможение и приближается к Нептуну. Вероятно, она уже практически достигла предела Роша. Поэтому она может в будущем разрушиться и образовать кольцо либо погрузиться в атмосферу Нептуна.

ЛАЦЕРТИДЫ — немногочисленная группа галактик с активными ядрами, в спектре которых не видно деталей, т. е. практически нет спектральных линий. Прототипом этой группы активных ядер стал объект BL Щита (BL Lacertae, BL Lac), вначале считавшийся переменной звездой в созвездии Щит. В 1929 г. её открыл немецкий астроном Куно Хофмейстер (Cuno Hoffmeister), и довольно долго этот объект изучали как переменную звезду. Лацертидами оказались и некоторые другие «переменные звёзды», например RW Tau, X Com, AP Lib. Первоначально предполагалось, что лацертиды могут быть необычными звёздами, принадлежащими нашей Галактике, однако сейчас их относят к внегалактическим объектам. Из-за отсутствия в их спектрах ярких эмиссионных линий до них трудно определять расстояние (невозможно применить закон Хаббла) и даже трудно выявлять их внегалактическую природу.

Первое указание на это появилось в 1968 г., когда Дж. Шмитт (John Schmitt) на канадской обсерватории Данлоп (David Dunlap Observatory) отождествил «звезду» BL Lac с ярким переменным радиоисточником. На глубоких снимках вокруг неё он заметил тусклое изображение родительской галактики. Окончательно эта загадка была решена после того, как удалось получить спектр слабой туманной оболочки вокруг яркого ядра. Оказалось, что спектр содержит линии поглощения, типичные для звёзд в окрестностях Солнца, и тем самым соответствует спектрам обычных эллиптических галактик. А в 1974 г. американские астрономы Джон Оке (J. B. Oke) и Джеймс Ганн (J. B. Gunn) измерили красное смещение объекта BL Lac, значение которого (z=0,07) без сомнения указало на его внегалактическую природу. Ведь этому красному смещению соответствует скорость удаления 21 тыс. км/с, что по закону Хаббла указывает на расстояние 290 Мпк от нашей Галактики.

Лацертиды, особенно на фотографиях, полученных с помощью короткофокусных телескопов, имеют звездообразный вид. Их основной признак — переменность блеска, достигающая в оптическом диапазоне 4^m–5^m (изменение светимости до 100 раз). На фотографиях, полученных с помощью самых крупных телескопов, вокруг лацертид, как правило, видны туманные оболочки, и в этом отношении лацертиды похожи на квазары.

Красное смещение, измеренное по линиям поглощения, показало, что лацертиды действительно являются ядрами далёких галактик, хотя и не столь далёких, как квазары. Для лацертид характерен чисто непрерывный спектр без эмиссионных линий. Степенной характер спектра и сильная поляризация радио- и оптического излучения, достигающая 30–40%, позволяют предположить, что это — синхротронное излучение. В ядрах лацертид, в отличие, например, от сейфертовских галактик, отсутствует газовая оболочка, дающая эмиссионные линии. Отсутствие таких линий может быть связано как с реальным дефицитом газа, так и со спецификой условий возбуждения (газ есть, но он невидим). Отсутствие газа и синхротронный характер спектра указывают, по-видимому, на то, что излучение лацертид — это излучение, идущее из самых внутренних частей центрального источника.

Лацертиды принадлежат к категории активных ядер галактик, которые называют блазарами и которые на самом деле являются квазарами, наблюдаемыми нами почти точно вдоль оси их мощного джета. Лацертиды характеризуются быстрой и легко заметной переменностью потока в радио-, инфракрасном и видимом диапазонах спектра. Амплитуда переменности часто достигает нескольких звёздных величин за время всего в несколько суток или недель. Это характерное время переменности излучения позволяет оценить размер излучающей области лацертид: её поперечник ~10^{14} м.

Генезис объектов типа BL Lac можно, вероятно, рассматривать в рамках общей концепции происхождения активных ядер галактик. Наиболее распространённой в настоящее время является модель чёрной дыры в центре массивной галактики. Эта модель объясняет целый ряд наблюдаемых особенностей лацертид. Согласно этой модели, источник энергии ядра — аккреция газа на чёрную дыру. Газ поступает от звёзд, разрушаемых приливным воздействием центрального тела. По мере роста массы чёрной дыры растёт её гравитационный радиус. При значении массы около $5 \cdot 10^8$ $M_\odot$ гравитационный радиус становится равным приливному радиусу для звёзд типа Солнца, т. е. расстоянию, на котором такие звёзды разрушаются приливными силами. В дальнейшем звёзды поглощаются чёрной дырой, предварительно не разрушаясь. Таким образом, на поздних стадиях эволюции газовая оболочка вокруг ядра отсутствует и в излучении доминирует непрерывный спектр, создаваемый в непосредственной окрестности центрального источника. С этой точки зрения лацертиды — это далеко проэволюционировавшие массивные ядра гигантских массивных эллиптических галактик.

ЛЕБЕДЬ — северное созвездие; чрезвычайно выразительная фигура в виде креста из ярких звёзд, действительно похожая на силуэт лебедя с распростёртыми крыльями и длинной вытянутой шеей. Эта «птица» летит на юг вдоль Млечного Пути. Поскольку период видимости созвездия приходится на благоприятный для наблюдений сезон — лето и начало осени, — это созвездие знакомо многим. На вершине «креста», в хвосте фигуры лебедя находится яркая звезда Денеб (α Cyg). Вместе с Вегой (в Лире) и Альтаиром (в Орле) она образует известный астеризм — Летний Треугольник. Вавилоняне называли Лебедя «лесной птицей», арабы — «курицей», а греки считали лебедем, летящим вдоль Млечного Пути. Согласно мифу, это Зевс в образе лебедя преследует Леду. По-арабски «денеб» означает «хвост курицы»; эта бело-голубая звезда — один из ярчайших сверхгигантов со светимостью в 270 тыс. раз выше солнечной. В «голове птицы» располагается звезда β Cyg по имени Альбирео — великолепная визуальная двойная, удобная для наблюдения с маленьким телескопом; один её компонент золотисто-жёлтый, как топаз, а его компаньон голубой, как сапфир. Другая интересная звезда — 61 Лебедя, очень похожая на Солнце и 14-я среди ближайших к нам звёзд. Но она оказалась первой, до которой астрономы смогли измерить расстояние (11,4 св. года). Сделал это Ф. Бессель в 1838 г.

Вблизи Денеба на фоне бледного свечения Млечного Пути выделяется тёмная область — Северный Угольный Мешок, одно из близких межзвёздных облаков из газа и пыли. Интересен также клочковатый комплекс эмиссионных туманностей под названием Сеть, или Вуаль (NGC 6960 и NGC 6992), весьма изящный кружевной остаток взрыва сверхновой, случившегося около 40 тыс. лет назад. Очертания яркой туманности Северная Америка (NGC 7000) действительно напомина-

ют известный континент. Один из мощнейших радиоисточников «Лебедь А» связан с далёкой (около 600 млн св. лет) галактикой, пересечённой в центре тёмной полосой; не исключено, что это конгломерат из двух столкнувшихся галактик. А яркий рентгеновский источник «Лебедь Х-1» отождествлён со звездой HDE 226868 и её невидимым компаньоном, который считается одним из бесспорных кандидатов в чёрные дыры.

ЛЕВ — древнее зодиакальное созвездие, расположенное между Раком и Девой. Это созвездие было известно шумерам ещё 5000 лет назад. Мифы связывают его с Немейским чудищем, которого убил Геракл. Расположение ярких звёзд действительно напоминает лежащего льва, голова и грудь которого представляют известный астеризм Серп, похожий на зеркальное изображение вопросительного знака. «Точкой» внизу этого знака служит яркая бело-голубая звезда Регул (α Leo), что на латыни значит «царёк». У древних персов Регул слыл одной из четырёх «царских звезд»; другие три — Альдебаран (α Тельца), Антарес (α Скорпиона) и Фомальгаут (α Южной Рыбы). Иногда Регул называют также Сердце Льва (Cor Leonis). Его светимость всего в 160 раз выше солнечной, а высокий видимый блеск ($1{,}4^m$) объясняется относительной близостью к нам (78 св. лет). Среди звёзд первой величины Регул ближе других расположен к эклиптике, поэтому его нередко покрывает Луна.

В основании «головы льва» расположена золотисто-жёлтая Альгиеба (γ Leo), что значит «грива льва»; это тесная визуальная двойная 2,0 звёздной величины. В задней части фигуры находится звезда Денебола (β Leo), в переводе с арабского — «хвост льва». Она имеет блеск $2{,}1^m$ и удалена на 36 св. лет. Звезда R Leo — одна из ярчайших долгопериодических переменных, изменяющая блеск от 5^m до 10^m; её открыл Дж. Кох в 1782 г. Очень слабый красный карлик Вольф 359 (видимый блеск $13{,}5^m$) — третий среди ближайших звёзд (расстояние 7,8 св. года); его светимость в 50 тыс. раз меньше солнечной, и к тому же он имеет тёмно-красный цвет. Если бы эта звезда заняла место нашего Солнца, то в полдень на Земле было бы лишь чуть-чуть светлее, чем теперь в полнолуние. Среди далёких объектов в этом созвездии интересны спиральные галактики M65, M66, M95 и M96, а также эллиптическая галактика M105. Их видимый блеск от $8{,}4^m$ до $10{,}4^m$. В этом созвездии лежит радиант метеорного потока Леониды, образовавшегося от распада периодической кометы Темпля–Тутля и наблюдаемого в середине ноября; его метеоры очень быстрые и яркие.

ЛЕВЕРЬЕ, Урбен Жан Жозеф (Le Verrier U. J. J.) (11.3.1811, Сен-Ло, Франция, — 23.9.1877, Париж, Франция) — французский астроном. Исследовав взаимные возмущения планет, доказал (1839) устойчивость Солнечной системы. Изучив отклонения в движении Урана, вычислил массу и положение неизвестной планеты, влияющей на Уран. По указанным координатам И. Г. Галле открыл (23 сентября 1846 г.) планету Нептун. Показал (1859), что в скорости смещения перигелия Меркурия есть составляющая (38″ в столетие), которая не может быть объяснена влиянием известных тел Солнечной системы; предположил существование внутри орбиты Меркурия неизвестной планеты (Вулкан), которая могла бы вызывать такое возмущение (впоследствии эта составляющая в движении перигелия Меркурия была объяснена на основе общей теории относительности). Иностранный член-корреспондент РАН (1848).

ЛЕДА (J XIII, Leda) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Чарльз Коуэл (1974). Большая полуось орбиты 11 160 тыс. км. Орбитальный период 240,92 сут. Эксцентриситет орбиты 0,16. Средняя орбитальная скорость 3,4 км/с. Наклонение орбиты к эклиптике 27,46°. Масса $1{,}1 \cdot 10^{16}$ кг. Диаметр 20 км. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 0,007 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 12 м/с. Альбедо около 4%. Блеск 20^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1°11′23″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ЛЕДУ, Поль (Ledoux, Paul) (8.08.1914–6.10.1988) — бельгийский астроном. Теоретически определил (1941) верхний предел массы звёзд, устойчивых по отношению к колебаниям в области протекания ядерных реакций; предложил (1951) механизм нерадиальных колебаний переменных звёзд типа β Цефея.

ЛЕКСЕЛЬ, Андреас Иоганн (в России — **Андрей Иванович**) (24.12.1740, Або, ныне Турку, Финляндия, — 11.12.1784, Санкт-Петербург, Россия) — российский астроном. По национальности швед. Окончил университет в Або и защитил диссертацию (1760). В 1763 г. защитил вторую диссертацию в университете Упсалы и занял там место лектора по математике. В 1766 г. стал профессором в Морском кадетском корпусе. Желая получить место в Санкт-Петербургской академии наук, Лексель в 1768 г. представил туда два сочинения по математике, которые высоко оценил Л. Эйлер. Лексель был приглашён и осенью 1768 г. переехал в Санкт-Петербург. Адъюнкт по астрономии с 1769 г., профессор с 1771 г.

Вместе с другими европейскими учёными, съехавшимися в Россию, Лексель участвовал в наблюдении прохождения Венеры по диску Солнца 23 мая 1769 г. Он обработал эти наблюдения и в 1771–1772 гг. опубликовал вычисленное значение солнечного параллакса (8,63″, по другим источникам 8,68″; истинное значение 8,794″). В дальнейшем опубликовал несколько десятков сочинений по математике и астрономии; одна из теорем сферической тригонометрии носит его имя. В 1778 г. впервые установил короткопериодический характер орбиты яркой кометы 1770 I, открытой Ш. Мессье, но вошедшей в историю астрономии под названием кометы Лекселя. Он доказал математически, что кометы под влиянием возмущений от Юпитера могут изменять свои орбиты — с эллиптических на параболические и обратно. Лексель показал, что комета 1770 I дважды последовательно сблизилась с Юпитером и резко изменила орбиту. Современные расчёты подтвердили, что до 1767 г. комета Лекселя имела орбитальный период 9,23 года и почти круговую орбиту, после первого сближения с Юпитером перигелий орбиты кометы сократился до 0,67 а. е., а период — до 5,6 года, а после второго сближения в 1779 г. она перешла на эллиптическую орбиту с периодом более 260 лет. Комета Лекселя оказалась уникальной во многих отношениях: вторая по блеску после кометы Галлея, она ближе всех известных короткопериодических комет подошла к Земле (0,015 а. е.), была второй по степени сближения с Юпитером (0,006 а. е.) и испытала наибольшее возмущение от него. Этот рекорд был перекрыт лишь в конце XX в. кометой Шумейкеров–Леви-9 (1993e).

Лексель помогал Л. Эйлеру в работе над теорией движения Луны, став соавтором этого труда (1772). Он установил, что открытый в 1781 г. В. Гершелем новый небесный объект — не комета, как предполагал Гершель, а не известная ранее планета — Уран. Лексель высказывал мнение, что в Солнечной системе могут быть и другие планеты (в то время астероиды и Нептун ещё не были открыты).

С 1771 г. академик Санкт-Петербургской АН, почётный член АН в Стокгольме (1773) и в Упсале (1774), с 1776 г. член-корреспондент Парижской АН, иностранный член АН в Турине (1783). Именем Лекселя назван кратер на видимой стороне Луны.

ЛЕМЕТР, Жорж Эдуард (Lemaître Georges Henri Joseph Édouard) (17.07.1894, Шарлеруа, Бельгия, — 20.06.1966, Лёвен, Бельгия) — бельгийский астрофизик и математик, изучавший формирование Вселенной на основе теории относительности Эйнштейна. В 1914 г. окончил иезуитский колледж в Шарлеруа, после чего продолжил образование в Лёвенском университете по инженерной специальности. Во время Первой мировой войны был мо-



Жорж Леметр

билизован в армию, служил в артиллерии, награждён Военным Крестом. После войны продолжил обучение в Лёвенском университете, где изучал математику, физику, астрономию и теологию. В 1923 г. получил сан аббата, после чего направился в Кембриджский университет. В качестве аспиранта Леметр под руководством А. С. Эддингтона выполнил ряд работ по космологии, звёздной астрономии и вычислительной математике. Занятия астрономией он продолжил в США, в Гарвардской обсерватории, работал с Харлоу Шепли в Массачусетском технологическом институте, где получил степень доктора наук. С 1925 г., вернувшись в Бельгию, Леметр работал профессором астрофизики, а позднее – прикладной математики в Лёвенском университете.

Леметр считается автором теории расширяющейся Вселенной, разработанной им независимо от А. А. Фридмана, труды которого, однако, были опубликованы раньше работ Леметра. Ознакомившись во время пребывания в США с исследованиями Весто Слайфера и Эдвина Хаббла по красному смещению галактик, в 1927 г. Леметр опубликовал своё объяснение этого явления: наблюдаемое спектроскопически разбегание галактик он отождествил с расширением Вселенной.

Леметр первым сформулировал зависимость между расстоянием и скоростью галактик и предложил в 1927 г. первую оценку коэффициента этой зависимости, известную ныне как постоянная Хаббла. При опубликовании этой работы в журнале Британского королевского астрономического общества отказался от публикации ряда результатов, в том числе закона Хаббла, из-за недостатка наблюдательных данных. Несколько лет спустя эту величину эмпирически установил Э. Хаббл.

Леметр предложил эволюционную гипотезу, в которой рождение Вселенной уподоблялось распаду радиоактивного атома, т. е. источником всего вещества и энергии Вселенной считалось одно гигантское ядро, или «первичный атом». Эту теорию в 1949 г. Фред Хойл иронично назвал «Большим взрывом». К его удивлению, это название – «Большой взрыв» – закрепилось в космологии.

В качестве католического священника и известного учёного в 1960 г. Леметр был назначен президентом Папской академии наук в Риме и занимал этот пост до своей смерти.

ЛЕНГЛИ, Сэмюэл Пирпонт (Langley, Samuel Pierpont) (22.08.1834, Роксбери, шт. Массачусетс, США, – 27.02.1906, Эйкен, шт. Юж. Каролина, США) – американский астроном, физик и пионер авиации. Ещё мальчиком заинтересовался экспериментальной наукой, вместе с братом Джоном построил телескоп и проводил астрономические наблюдения. В 1851 г. окончил школу в Бостоне. Работал в архитектурной мастерской в Бостоне и Гарвардском колледже, а в 1864–1865 гг. вместе с братом посетил несколько европейских обсерваторий и научных центров. В 1886 г. стал преподавателем математики в Морской академии США и руководил её небольшой обсерваторией. С 1867 г. директор обсерватории в Аллегейни и профессор физики и астрономии Западного университета Пенсильвании. С 1887 г. до конца жизни третий секретарь Смитсоновского института. За 20 лет работы в обсерватории Аллегейни Ленгли внедрил в практику регулирование железнодорожного времени с помощью обсерваторских часов и провёл уникальные астрофизические исследования. Изобрёл болометр (электрический термометр) и провёл серию измерений распределения тепла в спектрах Луны и Солнца. Работая в администрации Смитсоновского института, он руководил созданием Национального зоологического парка и Смитсоновской астрофизической обсерватории. В этой обсерватории он продолжил исследования солнечного излучения, которые активно развивались и после его смерти.

В Аллегейни Ленгли начал изучать полёт тел тяжелее воздуха и продолжал заниматься этим в Смитсоновском институте. Исследование обтекания пластин, укреплённых на концах вращающегося коромысла, и изучение полёта птиц позволили ему создать паровые модели с искривлёнными несущими поверхностями, которые успешно летали и привлекли большое внимание. Артиллерийское бюро Военного управления выделило Ленгли 50 000 долларов для создания летательного аппарата, и его помощник Чарлз М. Мэнли сконструировал для него бензиновый двигатель звездообразной схемы с водяным охлаждением. Модель в четверть натурального размера с уменьшенным двигателем Мэнли успешно летала, но полноразмерный аппарат, катапультированный с баржи на реке Потомак 8 октября, а затем 8 декабря 1903 г., оба раза потерпел аварию. А 17 декабря 1903 г. Орвилл Райт совершил свой первый полёт в Китти-Хок (Сев. Каролина). Расстроенный газетной критикой и общественным непониманием, не имея средств для дальнейших экспериментов, Ленгли прекратил свои работы по аэронавтике.

В 1914 г. аэроплан такой же конструкции, которую безуспешно испытывал Ленгли в 1903 г., с небольшими изменениями и лёгким бензиновым двигателем действительно летал в Хаммондспорте (шт. Нью-Йорк) и оказался замечательно устойчивым и простым в управлении. Этот аппарат экспонируется в Национальном музее авиации и космонавтики в Вашингтоне. Исследовательский центр NASA им. Ленгли в Хамптоне (шт. Виргиния) назван в его честь.

ЛЕНГМЮРОВСКАЯ ЧАСТОТА – частота колебаний электронов в плазме под действием электростатического поля, возникающего при разделении зарядов плазмы. Названа в честь американского физика и химика, нобелевского лауреата Ирвинга Ленгмюра (1881–1957), исследовавшего процессы в плазме и строение атома. Ленгмюровская частота равна: $\omega_{0e} = (4\pi n_e e^2/m_e)^{1/2} = 5{,}64 \cdot 10^4 \sqrt{n_e}$ (рад/с), где n_e – число свободных электронов в 1 м^3 плазмы.

ЛЕНТИКУЛЫ (*лат. lenticula, мн. lenticulae*) – малые тёмные пятна на Европе (спутнике Юпитера).

ЛЕОНИДЫ – метеорный поток, обычно слабый, но дававший в некоторые годы чрезвычайно мощные метеорные дожди. Поток активен в период приблизительно с 9 по 22 ноября каждого года. Максимальная активность наблюдается около 18 ноября. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Лев, т. е. метеоры выглядят летящими со стороны этого созвездия. Для наблюдателя в средней полосе России после полуночи созвездие Лев восходит в восточной части неба. Геоцентрическая скорость частиц потока 72 км/с (максимально возможная для метеорных потоков, наблюдаемых на Земле), поэтому метеоры очень яркие и быстрые. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности имеет ярко выраженную переменность с периодом 33 года. Мощные метеорные дожди наблюдались, например, в 1799, 1832/33, 1866/67, 1901, 1934, 1966 и 1999 гг. Зенитное часовое число в 1966 г. превысило 100 тыс. метеоров. Родоначальницей потока считается периоди-

ческая комета 55P/Темпеля–Тутля, имеющая орбитальный период 33 года.

ЛЕПТОНЫ – общее название класса элементарных частиц, не обладающих сильным взаимодействием, т. е. участвующих лишь в электромагнитном, слабом и гравитационном взаимодействиях. Лептоны имеют спин $^1/_2$. Различают заряженные лептоны – электрон, мюон (μ), тау-лептон (τ), а также нейтральные лептоны – нейтрино. Заряженные лептоны участвуют как в слабом, так и в электромагнитном взаимодействиях элементарных частиц. Нейтральные лептоны участвуют в слабом взаимодействии. Заряженные лептоны обладают магнитным моментом, равным, с точностью до высших поправок по электромагнитному взаимодействию, $e\hbar/2mc$. С той же точностью магнитный момент нейтральных лептонов равен нулю. Нейтральные лептоны обладают малой, пока не установленной, массой покоя. Массы заряженных лептонов сильно различаются между собой: масса электрона m_e = 0,511 МэВ, масса мюона m_μ = 106 МэВ, масса тау-лептона m_τ = 1777 МэВ. Для каждого типа заряженных лептонов – e^-, μ^-, τ^- и для соответствующих им нейтрино существует своё сохраняющееся лептонное число.

Название «лептон» (от греч. *λεπτός* – лёгкий) было предложено Л. Розенфельдом с подачи К. Мёллера в 1948 г. и отражало тот факт, что все известные в то время лептоны были значительно легче тяжёлых частиц, входящих в класс барионов (греч. *βαρύς* – тяжёлый). Сейчас этимология термина уже не вполне согласуется с действительным положением дел, так как открытый в 1977 г. тау-лептон примерно вдвое тяжелее самых лёгких барионов (протона и нейтрона).

Каждый тип лептонов и связанных с ними нейтрино называют «поколением». Существует три поколения лептонов: первое поколение – электрон и электронное нейтрино; второе поколение – мюон и мюонное нейтрино; третье поколение – тау-лептон и тау-нейтрино.

Ранее считалось, что каждое поколение лептонов обладает своим (так называемым флейворным – от англ. *flavor*) лептонным зарядом, – иными словами, лептон может возникнуть только вместе с антилептоном из своего поколения, так, чтобы разность количества лептонов и антилептонов каждого поколения в замкнутой системе была постоянной. Эта разность называется электронным, мюонным или тау-лептонным числом, в зависимости от рассматриваемого поколения. Лептонное число лептона равно +1, антилептона – –1.

С открытием осцилляций нейтрино обнаружено, что это правило нарушается: электронное нейтрино может превратиться в мюонное или тау-нейтрино и т. д. Таким образом, флейворное лептонное число не сохраняется. Однако процессов, в которых не сохранялось бы общее лептонное число (не зависящее от поколения), пока не обнаружено. Лептонное число иногда называют лептонным зарядом, хотя с ним, в отличие от электрического заряда, не связано какое-либо калибровочное поле. Закон сохранения лептонного числа является экспериментальным фактом и пока не имеет общепринятого теоретического обоснования. В современных расширениях Стандартной модели частиц, объединяющих сильное и электрослабое взаимодействия, предсказываются процессы, не сохраняющие лептонное число. Их низкоэнергетическими проявлениями могут быть пока не открытые нейтрино-антинейтринные осцилляции и безнейтринный двойной бета-распад, изменяющие лептонное число на две единицы.

Электрон и позитрон стабильны. Мюон в вакууме имеет время жизни $2{,}197 \cdot 10^{-6}$ с относительно распада $\mu^+ \to e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ или $\mu^- \to e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$. Тау-лептон является единственным лептоном, который может распадаться на адроны, так как остальные лептоны слишком легки для этого. Основные каналы распада тау-лептона: $\tau^- \to \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$ (17,4%) или $\tau^- \to e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$ (17,8%), плюс адроны (>50%). При этом время жизни тау-лептона $2{,}9 \cdot 10^{-13}$ с.

ЛЕТУЧАЯ РЫБА – южное созвездие; лежит между Килем и Столовой Горой, занимая небогатую звёздами область между Млечным Путём и Большим Магеллановым Облаком. Вероятно, название для этой небольшой группы из звёзд 4^m предложил голландский учёный Петер Планциус (1552–1622), основываясь на наблюдениях южного неба, проделанных голландскими мореплавателями Фредериком де Хоутманом (Frederick de Houtman) и Питером Кейзером (Pieter Dirkszoon Keyser) в 1596 г. В астрономическую практику это созвездие ввёл Иоганн Байер в 1603 г., изобразив его в своём звёздном атласе «Уранометрия» под названием Piscis Volans (Рыба Летучая). По-видимому, летучие рыбы сильно поразили европейских моряков. Однако художники тех лет довольно смутно представляли себе это существо: в атласе «Уранометрия» на месте этого созвездия изображен упитанный сазан с оперёнными совиными крыльями.

У звезды γ Vol в бинокль можно различить спутник 5,7 звёздной величины. Пересечённая спиральная галактика NGC 2442 видна почти плашмя и имеет блеск 11^m.

ЛЁЙТЕН, Виллем Якоб (Luyten, Willem Jacob) (7.03.1899, Семаранг, о. Ява, – 21.11.1994, Миннеаполис, США) – американский астроном голландского происхождения. В возрасте 11 лет, наблюдая комету Галлея, увлёкся астрономией. Окончил Лейденский университет, работал в Ликской и Гарвардской обсерваториях (США), затем в Университете Миннесоты (1931–1967). Исследовал все звёзды в радиусе 10 пк вокруг Солнца, нашёл около 100 тыс. звёзд с большими собственными движениями, обнаружил большинство известных сейчас белых карликов, а также вспыхивающую звезду UV Кита.

ЛИБРАЦИЯ – видимые покачивания синхронно вращающегося спутника при его наблюдении с планеты. Наиболее известны и изучены либрации Луны. Вследствие равномерного вращения Луны вокруг оси и неравномерного движения по эллиптической орбите наблюдается её либрация по долготе с периодом в один аномалистический месяц и величиной ±7°54′. Вследствие наклона оси вращения к плоскости орбиты наблюдается либрация по широте ± 6° 50′ с периодом в драконический месяц.

Суточная, или параллактическая, либрация возникает вследствие близости Луны к Земле. Наблюдатели, находящиеся в противоположных точках земного экватора, в один и тот же момент видят несколько различные области лунной поверхности. Амплитуда этих либраций достигает ±57′.

Кроме описанных выше «оптических» либраций, существуют также «физические» (на угол около 2′), обусловленные небольшими периодическими изменениями скорости суточного вращения Луны, вызванными действием приливных сил Земли на вытянутую фигуру спутника. В итоге наличие либрации Луны по широте и долготе позволяет наблюдать с Земли 59% всей лунной поверхности.

ЛИВИТТ, Генриетта Суон (Leavitt, Henrietta Swan) (4.7.1868, Ланкастер, шт. Массачусетс, США, – 12.12.1921, Кембридж, шт. Массачусетс, США) – американский астроном, исследователь переменных звёзд. Образование получила в Оберлин-колледже, а затем в Обществе университетского образования женщин, позже названном Рэдклиффским колледжем и вместе с мужским Гарвардским колледжем составившем нынешний Гарвардский университет в Кембридже, шт. Массачусетс. На старшем курсе мисс Ливитт увлеклась астрономией; окончив в 1892 г. колледж, она ещё дополнительно прослушала курс по астрономии. В 1895 г. мисс Ливитт поступила на работу в обсерваторию Гарвардского колледжа.

За свою карьеру Ливитт открыла множество астероидов, 4 новых звезды и более 2400 переменных звёзд (по большей части в Магеллановых Облаках, галактиках-спутниках Млечного Пути), что составило почти половину известных в то

время переменных звёзд. В основном это были светила, регулярно меняющие свой блеск, – цефеиды. Изучая их, Ливитт сделала свой важнейший вклад в астрономию: в 1908 г. она обнаружила зависимость между периодом изменения блеска и светимостью переменных звёзд-цефеид, давшую возможность определять расстояния до таких звёзд и сыгравшую важную роль в установлении шкалы галактических и внегалактических расстояний. Знание зависимости период–светимость для цефеид помогло астрономам измерить расстояния – как в нашей Галактике, так и от неё до ближайших галактик. В итоге именно эта зависимость позволила Эдвину Хабблу в 1929 г. сделать важнейшее открытие в астрономии XX в. – обнаружить расширение Вселенной.

Совместно с Э. Пикерингом Генриетта Ливитт разработала стандарт фотографических измерений блеска звёзд, известный как Северный полярный ряд. В 1913 г. он был принят Международным комитетом фотографических величин под названием «Гарвардский стандарт». Для разработки этого стандарта Ливитт использовала 299 фотопластинок, полученных на 13 телескопах, и с помощью логарифмических уравнений определяла блеск звёзд вплоть до 17-й звёздной величины и даже слабее. На протяжении всей своей жизни мисс Ливитт не оставляла эту работу, а постоянно уточняла и расширяла её. Она проработала в обсерватории Гарвардского колледжа до конца своей жизни.

ЛИКСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (Lick observatory) – оптическая астрономическая обсерватория, работающая под управлением Калифорнийского университета в Санта-Круз (США). Расположена на горе Маунт Гамильтон (Калифорния) на высоте 1290 м. Функционирует с 1880-х гг. Построена на деньги, завещанные американским предпринимателем и покровителем науки Джеймсом Ликом (1796–1876). На обсерватории установлены исторический 36-дюймовый (91 см) рефрактор «Джеймс Лик», 120-дюймовый (3 м) рефлектор «Шейн» (назван в честь американского астронома, директора Ликской обсерватории Дональда Шейна, 1895–1983), Там функционируют также 2,4-метровый рефлектор для автоматического поиска планет, 1-метровый рефлектор «Анна Никель», а также исторический 0,9-метровый Кросслеевский рефлектор. Один из самых интересных инструментов – 0,76-метровый рефлектор КАТ (Katzman Automatic Imaging Telescope). Это полностью автоматизированный телескоп, предназначенный для поиска сверхновых, новых и других неожиданно появляющихся объектов. Он получает на ПЗС-приёмнике до 100 изображений в час и за ночь исследует около 1000 галактик. С 1998 г. он ежегодно открывает от 40 до 95 сверхновых, несколько новых и комет.

ЛИКСКИЙ РЕФРАКТОР – телескоп-рефрактор, имеющий объектив диаметром 36 дюймов (91 см). Сейчас он третий в мире рефрактор по размеру объектива, после 40-дюймового (1,02 м) Йеркского рефрактора и 1-метрового Шведского солнечного телескопа. Строительство «Великого Ликского рефрактора» было завершено в 1888 г. Рефрактор был назван именем Джеймса Лика (1796–1876), пожертвовавшего средства на его создание. Телескоп установлен в Ликской обсерватории (Калифорния). Его объектив двухлинзовый ахроматический работы Алвана Кларка. Одна его флинтовая линза весит 170 кг. Труба телескопа при длине 17,4 м и диаметре 1,22 м весит около 12 т. Башня телескопа имеет подъёмный пол диаметром 18 м, способный перемещаться на 5 м, что создаёт удобства для наблюдателя у окуляра при изменении высоты объекта.

ЛИЛИАНСКИЕ ДНИ (*LD*) – система непрерывной нумерации суток, альтернативная системе юлианских дней (*JD*), хотя и подобная ей. Основное отличие в том, что начало отсчёта лилианских дней ближе к нашей эпохе. Лилианские дни были введены и названы в честь Алоизия Лилио (Aloysius Lilius, 1520–1576), советника папы римского Григория XIII, автора григорианской реформы календаря. За начало отсчёта (*LD* = 1) Лилиус предложил взять 15 октября 1582 г. – первый день, с которого, в соответствии с указом папы Григория XIII, должно было начаться повсеместное использование григорианского календаря. Лилианские дни связаны с юлианскими следующим соотношением: *LD* = *JD* – 2 299 160. Система лилианских дней не получила широкого распространения.

ЛИМБ (лат. *limbus* – кайма) – 1) плоское кольцо с нанесёнными на его поверхности штрихами, делящими окружность на равные части – градусы, минуты и т. п. Служит для отсчёта углов в угломерных инструментах; 2) видимый край диска Солнца, Луны или планеты.

ЛИНГУЛЫ (лат. *lingula*, мн. *lingilae*) – обширные плато с «языками» на Марсе.

ЛИНДБЛАД, Бертиль (Lindblad, Bertil) (26.11.1895, Эребру, Швеция, – 26.06.1965, Стокгольм) – шведский астроном. Астрономией увлекался с юности; в год окончания гимназии провёл серьёзные наблюдения солнечного затмения (август 1914 г., на севере Швеции), для чего специально приобрёл телескоп. В 1918 г. окончил университет в Упсале. В 1920–1921 гг. стажировался в обсерваториях Маунт-Вилсон, Гарвардской и Ликской (США). В 1921–1927 гг. работал в Упсальской обсерватории. С 1927 г. профессор астрономии Шведской королевской АН и директор Стокгольмской обсерватории (этот пост занимал до 1965 г.). Благодаря его усилиям в 1927–1931 гг. обсерватория была перенесена за город и оснащена новыми инструментами. С 1928 г. член Шведской королевской АН и её президент в 1938–1939 гг. и 1960–1961 гг. Также член многих зарубежных академий наук и научных обществ, президент Международного астрономического союза (1948–1952), президент Международного совета научных союзов (1952–1955).

Основные работы посвящены исследованию строения и динамики галактик и звёздных скоплений. В 1925 г. для объяснения асимметрии в распределении пространственных скоростей звёзд в нашей Галактике (эффект «двух потоков») Линдблад впервые сформулировал концепцию вращения Галактики. По его представлениям, все звёзды в Галактике принадлежат к различным взаимопроникающим подсистемам, которые вращаются с разными скоростями и поэтому характеризуются разной степенью сплюснутости вдоль оси вращения. Исходя из этого, Линдблад оценил период вращения и массу Галактики. В 1927 г. вращение Галактики надёжно подтвердил Я. Х. Оорт на основе статистического изучения лучевых скоростей и собственных движений звёзд.

Ряд работ Линдблада посвящён изучению спиральной структуры и вращения галактик. Рассматривая движение звёзд в галактиках, он нашёл, что яркие звёзды концентрируются в спиральных рукавах и что спирали лидируют во вращении галактик (позже установлено, что у большинства галактик они отстают, «волочатся»). Линдблад обнаружил зависимость величины поглощения света в ультрафиолетовой области спектра у звёзд поздних спектральных классов от их светимости и правильно отождествил источник этого поглощения с молекулой циана; в 1922 г. на основе этого эффекта развил метод определения светимости слабых холодных звёзд по спектрам с низкой дисперсией. Фактически он разработал собственную систему классификации спектров и использовал её для определения абсолютных звёздных величин и расстояний далёких звёзд.

Награждён медалью им. П. Ж. С. Жансена Парижской АН (1938), Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1948), медалью им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1953).

ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – электромагнитное излучение, имеющее постоянную плоскость колебаний электрического вектора.

ЛИНЕЙНЫЙ ОТКЛИК – реакция детектора, прямо пропорциональная значению измеряемой величины. В случае линейного отклика график зависимости отсчётов детектора от истинных значений измеряемой величины в пределах некоторого диапазона является прямой линией. Если зависимость иная, то это нелинейный отклик.

ЛИНЕЙЧАТЫЙ СПЕКТР – спектр, состоящий из отдельных спектральных линий, типичный для свободных атомов. Астрономы часто называют линейчатым и спектр, содержащий континуум с наложенными на него мощными линиями излучения (эмиссионный спектр) или поглощения.

ЛИНЗА – прозрачное тело, имеющее такую форму, чтобы, используя явление преломления света на поверхности двух сред, заданным образом изменять ход световых лучей. Обычно линзы изготавливают из однородного стекла, кварца или прозрачной пластмассы. Форма большинства линз обладает осевой симметрией, хотя встречаются цилиндрические и более сложные линзы. Как минимум одна из поверхностей линзы не является плоской, поэтому параллельные лучи, падающие на линзу на различных расстояниях от оптической оси, преломляются под разными углами.

Линзы бывают собирающими (положительные) и рассеивающими (отрицательные). Пучок параллельных лучей собирается в фокусе положительной линзы на расстоянии от неё, равном фокусному расстоянию. Обычно плоские поверхности линзы сферические, но в ряде случаев, например при изготовлении коррекционной пластины для камеры Шмидта, применяются более сложные асферические поверхности. Основным недостатком простой одиночной линзы являются аберрации, среди которых особенно заметна хроматическая аберрация; её устраняют путём комбинации двух или более линз, изготовленных из разных сортов стекла.

Точность изготовления поверхностей линзы может быть вдвое ниже, чем у зеркала, но у линзы, в отличие от зеркала, приходится обрабатывать две поверхности вместо одной. К тому же стеклянная заготовка для линзы должна быть более высокого качества – однородной, без внутренних дефектов, так как свет проходит сквозь неё.

ЛИНЗА БАРЛОУ – отрицательная линза перед окуляром для увеличения эффективного фокусного расстояния телескопа.

ЛИНЗА ПОЛЯ – первая линза окуляра, обращённая к объективу и предназначенная для того, чтобы полностью собирать прошедший через объектив свет от наблюдаемого источника. См. также *Глазная линза.*

ЛИНЗА ФАБРИ – линза, проецирующая на светоприёмник (например, на фотоэлектронный умножитель, ФЭУ) изображение объектива телескопа, которое представляет собой кружок, равномерно освещённый объектом наблюдения. Это изображение не смещается из-за атмосферного дрожания изображения или ошибок ведения телескопа. К тому же фиксация кружка исключает влияние неравномерной чувствительности по фотокатоду ФЭУ. Поэтому линза Фабри снижает ошибки, вносимые в измеряемый сигнал упомянутыми факторами. Линза Фабри – обязательный компонент фотоэлектрических фотометров, использующих ФЭУ.

ЛИНЗА ФРЕНЕЛЯ – линза, имеющая посредственное оптическое качество, но обладающая малой толщиной и весом по сравнению с обычной линзой с аналогичными характеристиками. Поверхность линзы Френеля состоит из ряда узких концентричных колец, каждое из которых имеет форму, соответствующую фрагменту обычной линзы, но с уменьшенной толщиной. Профиль сечения линзы Френеля, таким образом, имеет вид лесенки. Линзы Френеля часто используются как конденсорные элементы в проекционных устройствах, например в кодоскопах (оверхедах), а также в морских маяках.

ЛИНЗОВЫЙ ОБЪЕКТИВ – объектив оптического прибора, содержащий только прозрачные оптические элементы – линзы. Таковы, например, объективы биноклей, телескопов-рефракторов, большинства зрительных труб и фотокамер (за редким исключением: зеркально-линзовые объективы системы Максутова).

ЛИНИИ (лат. *linea*, мн. *lineae*) – тёмные или светлые удлинённые детали поверхности; могут быть кривыми или прямыми. Встречаются на Венере, Европе и малых спутниках Сатурна.

ЛИНИИ БАЛЬМЕРА – спектральные линии атома водорода в оптической области спектра. Линии Бальмера возникают при переходах с первого возбуждённого энергетического уровня атома водорода на высшие уровни (линии поглощения) и обратно (линии излучения). Линии Бальмера обозначаются буквой H с добавлением греческих букв в алфавитном порядке, начиная с длинноволновой части: Hα (длина волны 656,3 нм), Hβ (486,1 нм), Hγ (434,0 нм) и т. д. Интервал между последующими линиями уменьшается с уменьшением длины волны, при этом интенсивность линий также убывает вплоть до границы серии Бальмера на 364,6 нм. Серии водородных линий есть также в ультрафиолетовой области спектра (переходы из основного состояния атома водорода на возбуждённые уровни и обратно – серия Лаймана) и в инфракрасной области (серия Пашена – переходы на второй возбуждённый уровень, серия Брэкета – переходы на третий возбуждённый уровень и т. д.).

ЛИНИИ ФРАУНГОФЕРА – наиболее заметные линии (а также комплексы линий – полосы) поглощения в визуальной области солнечного спектра, обнаруженные и обозначенные в 1814 г. Йозефом фон Фраунгофером (1787–1826). В таблице приведён перечень линий в солнечном спектре с обозначениями Фраунгофера.

Обозначение	Длина волны, нм	Источник линии
A	759,4	Молекулярный кислород (земной)
B	686,7	Молекулярный кислород (земной)
C	656,3	Водород (Hα)
D1	589,6	Натрий
D2	589,0	Натрий
E1	527,0	Железо
Eb	518,3–516,7	Триплет магния
F	486,1	Водород (Hβ)
G′	434,0	Водород (Hγ)*
G	430,8	Железо и молекула CH
H	396,8	Кальций
K	393,2	Кальций
L	382,0	Железо*
M	373,5	Железо*
N	358,1	Железо*

* – добавлены уже после Фраунгофера.

ЛИНИИ H и K – спектральные линии однократно ионизованного кальция, Ca II. Длина волны линии H 396,85 нм, а линии K 393,37 нм. Эти линии поглощения наиболее заметны в спектре Солнца и подобных ему звёзд. Они служат хорошим индикатором магнитной активности хромосферы.

ЛИНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ, или эмиссионная линия, – ярко выраженный избыток потока энергии («пик») в узком диапазоне спектра. Устаревающее название – линия испускания.

ЛИНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ДАТЫ (международная) – линия на поверхности Земли, проходящая приблизительно по меридиану с долготой 180° (между Чукоткой и Аляской) и служащая для облегчения отсчёта календарных дат при трансокеанских и кругосветных плаваниях и перелётах. Пе-

ресекая линию в западном направлении, следует прибавлять сутки в своём календаре, а пересекая в восточном – отнимать.

ЛИНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ – тёмная линия, наблюдаемая в непрерывном спектре излучающего объекта. Фактически это ярко выраженный недостаток потока энергии («депрессия») в узком диапазоне спектра. Линии поглощения возникают из-за поглощения фотонов с определённой длиной волны ионами, атомами или молекулами.

ЛИНИЯ УЗЛОВ – прямая, соединяющая узлы орбиты небесного тела; по этой прямой пересекаются плоскости орбиты и эклиптики (или экватора, если имеется в виду ИСЗ).

ЛИНУКС (Linux) – операционная система для персональных компьютеров, позволяющая использовать мощные, свободно распространяемые пакеты обработки изображений, созданные специально для применения в астрономии.

ЛИО, Бернар (Lyot, Bernard) (27.02.1897, Париж, Франция, – 2.04.1952, Каир, Египет) – французский астроном, изобретатель внезатменного коронографа. В 1917 г. окончил Высшую электротехническую школу. В 1917–1928 гг. работал в Политехнической школе под руководством известных физиков Ш. Фабри и А. Перо, с 1920 г. в Медонской обсерватории (под Парижем). С 1939 г. член Парижской АН.

Основные научные работы посвящены изучению планет и Солнца. В 1921–1929 гг. первым выполнил большие ряды поляриметрических измерений излучения планет, основной целью которых было получение физических характеристик поверхностных слоёв и атмосфер планет путём сравнения линейной поляризации отражённого и рассеянного ими света Солнца с поляризацией, создаваемой земными образцами. Уже тогда показал, что породы на поверхности Луны, Марса и Меркурия по своим поляризационным свойствам близки к земным вулканическим породам, а поляризация излучения Венеры, Юпитера и Сатурна возникает в их атмосферах, причём у Венеры она свидетельствует о наличии капель жидкости в атмосфере. Нашёл, что внутреннее кольцо Сатурна поляризует свет так же, как скальные земные породы. Обнаружил переменность поляризации излучения Сатурна. Все наблюдения выполнил с помощью созданного им высокочувствительного полярископа. В 1932 г. создал фотографический поляриметр, с помощью которого исследовал поляризацию света, отражённого яркими астероидами.

Выполнил много детальных наблюдений поверхностей планет. Сделал первые зарисовки больших спутников Юпитера и Сатурна, наблюдал пятна на Титане, изучил распределение яркости в кольцах Сатурна. Сконструировал микрометр двойного изображения для точных позиционных измерений планет. Разработал оригинальный метод фотографирования планет, позволяющий исключить влияние зернистости эмульсии и повысить контраст (он заключается в наложении друг на друга многих негативных изображений).

В 1929–1931 гг. создал коронограф – прибор для наблюдений солнечной короны вне затмений, что существенно способствовало изучению Солнца. С помощью коронографа Лио исследовал поляризацию короны, её спектр в широком диапазоне длин волн, открыл пять новых эмиссионных линий. Использовав в коронографе интерференционно-поляризационные фильтры, получил монохроматические изображения короны и диска Солнца в лучах различных линий. В 1939 г. он впервые осуществил киносъёмку движущегося солнечного протуберанца. Награждён Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1939), медалью им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1946). Его имя занесено на карты Луны и Марса.

ЛИППЕРСГЕЙ, Ханс (Hans Lippershey или Johann Lippershey или Lipperhey) (1570 г., Везель, Германия, – сентябрь 1619, Мидделбург, Нидерланды) – нидерландский оптик. Создал (1608) одну из первых зрительных труб – прообраз телескопа.

ЛИРА – маленькое, но изумительное северное созвездие между Геркулесом и Лебедем. В древнем Вавилоне это созвездие называли «бородач-ягнятник» (хищная птица) или «атакующая антилопа». Арабы называли его «падающий орёл». Античная традиция связывает это созвездие с мифами об Орфее, лиру для которого изготовил Гермес из панциря черепахи. В рисунке созвездия иногда объединяется несколько мифов: так, в «Уранометрии» Байера лира изображена на груди орла.

Главная звезда, Вега (α Lyr), ярчайшая из звёзд северной небесной полусферы ($0{,}03^m$) и пятая по яркости на всём небе. Имя звезды происходит от арабского «ал-Ваки» – падающий орёл. Вместе с двумя менее яркими звёздами Вега образует маленький равносторонний треугольник, который сам лежит в северо-западном углу небольшого параллелограмма, изображающего лиру. Вместе с яркими звёздами Денеб (в Лебеде) и Альтаир (в Орле) Вега образует известный астеризм – Летний Треугольник. Вега удалена от нас на 25 св. лет, имеет светимость в 50 раз выше солнечной и через 12 тыс. лет станет нашей полярной звездой. Рядом с Вегой находится ε Лиры – система $4{,}5^m$, состоящая из двух тесных двойных звёзд, разделённых углом в 3'. Между звёздами β и γ расположена кольцевая планетарная туманность M57; её блеск 9^m.

Шелиак (β Lyr), что по-арабски значит «черепаха», – загадочная затменная двойная, изменяющая свой блеск от $3{,}4^m$ до $4{,}5^m$ с периодом около 13 сут. Эта звёздная система окружена газовым кольцом или оболочкой из вещества, постоянно теряемого самими звёздами. Рядом с Вегой находится ε Lyr – «двойная двойная», т. е. визуальная двойная система, каждый из компонентов которой также является тесной двойной звездой. Недавно был выявлен и пятый компаньон, обращающийся вокруг этой системы из двух двойных звёзд. Между звёздами β и γ Лиры, образующими южную сторону параллелограмма, расположена круглая планетарная туманность Кольцо (M57). Это расширяющаяся газовая оболочка, сброшенная и разогретая центральной звездой, температура которой около 100 тыс. К.

ЛИРИДЫ – метеорный поток ежегодно активный в период приблизительно с 19 по 25 апреля, поэтому иногда его называют Апрельскими Лиридами. Максимальная активность наблюдается около 22 апреля. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Лира (у границы с созвездием Геркулес), т. е. метеоры выглядят летящими со стороны этого созвездия. Для наблюдателя в средней полосе России после полуночи созвездие Лира в этот период времени располагается в восточной части неба. Геоцентрическая скорость частиц потока 48 км/с. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности составляет около 10. Хотя обычно этот метеорный поток слаб, иногда наблюдаются красивые ливни. В 1803, 1922 и 1982 гг. этот поток демонстрировал метеорные дожди с часовым числом около 1800. Родоначальницей потока считается комета Тэтчера (1861 I). Исторические упоминания о метеорном потоке Лириды прослеживаются в прошлое на 2500 лет.

ЛИСИТЕЯ (J X, Lysithea) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – С. Б. Никольсон (1938). Большая полуось орбиты 11 720 тыс. км. Орбитальный период 259,20 сут. Эксцентриситет орбиты 0,11. Средняя орбитальная скорость 3,3 км/с. Наклонение орбиты к эклиптике 28,3°. Масса $6{,}3 \cdot 10^{16}$ кг. Диаметр 36 км. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 0,013 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 22 м/с. Альбедо около 4%. Блеск $18{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°12'39" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ЛИСИЧКА — экваториальное созвездие. Введено Я. Гевелием в 1690 г. под именем Vulpecula cum Ansere, маленькая лисичка с гусем (в зубах). Находится к югу от созвездия Лебедь. Ярких звёзд не имеет, хотя лежит в Млечном Пути. Интересный объект — планетарная туманность Гантель (M27). Её легко найти даже в бинокль: она чуть ярче 8^m и лежит на 3° к северу от γ Sge (яркая звезда в «наконечнике Стрелы»). В границах Лисички в 1967 г. был обнаружен первый радиопульсар — быстро вращающаяся нейтронная звезда, излучение которой поначалу приняли за сигнал внеземной цивилизации.

ЛИТИЕВЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды с необычно высоким содержанием лития в атмосфере. В спектре звезды это проявляется в виде сильной линии поглощения нейтрального лития (Li I) на длине волны 6708 Å. Большинство литиевых звёзд являются углеродными звёздами, но избыток лития обнаружен также в некоторых нормальных гигантах поздних спектральных классов и в звёздах типа Т Тельца (T Tau). Эти объекты озадачили астрономов, так как вскоре после формирования звезды литий в них должен разрушаться: при высокой температуре он «сгорает» в процессе термоядерного синтеза и обычно не восстанавливается. Например, в атмосфере Солнца лития примерно в 100 раз меньше, чем в межзвёздной среде. Избыток лития не должен наблюдаться в немолодых звёздах, таких как красные гиганты. Однако в некоторых из них лития больше, чем у Солнца, а в экстремальных случаях в составе гигантов лития столько же, сколько в межзвёздной среде.

Одним из объяснений этого явления может быть недавнее падение на звезду большой планеты или коричневого карлика. «Проглотив» планету, звезда примерно на 100 тыс. лет обеспечивает себе свежий запас лития, что и проявляется в её спектре как избыток лития. После обнаружения планет, обращающихся вокруг звёзд, эта идея стала более правдоподобной, и в большинстве случаев она хорошо работает. Но когда речь идёт об объектах с экстремальным избытком лития, таких как субгигант гало BD+23°3912, эта идея сталкивается с трудностями. Один из способов образовать литий в красных гигантах — это перенос ^{7}Be из ядра в оболочку, где он, захватив электрон, превращается в изотоп ^{7}Li. А единственный процесс, способный создать изотоп ^{6}Li, — это расщепление атомного ядра космическими лучами. Но оба эти механизма едва ли могут объяснить большинство случаев, где наблюдается избыток лития. Видимо, работает некая комбинация факторов или же существует механизм производства лития вне звезды, который пока нам неизвестен.

ЛИЧНОЕ УРАВНЕНИЕ — поправка, учитывающая систематическое отклонение результатов измерений, сделанных данным наблюдателем. Например, число Вольфа (W), служащее индикатором активности Солнца, подсчитывают по количеству солнечных пятен, используя формулу $W = k(10g + s)$, где g — количество групп пятен, s — количество отдельных пятен. Коэффициент k служит для введения поправки за личное уравнение. Он учитывает индивидуальные навыки наблюдателя и возможности его оборудования. Коэффициент k определяют, сравнивая личные оценки значения W и его официальные значения, полученные в те же моменты времени опытными наблюдателями на стандартном оборудовании. Для надёжного определения k требуется период в несколько месяцев.

ЛОВЕЛЛ, Персиваль (Lowell, Percival) (13.03.1855, Бостон, шт. Массачусетс, США, — 12.11.1916, Флагстафф, шт. Аризона, США) — американский астроном. В 1876 г. окончил Гарвардский университет и занялся бизнесом. Однако в 1894 г. полностью отдался астрономии, основав во Флагстаффе (шт. Аризона) частную обсерваторию для изучения планет (Ловелловская обсерватория). Он особенно интересовался наблюдениями Марса и написал об этом несколько книг, например, «Марс как пристанище жизни» (1908, рус. пер. 1912), в которых утверждал, что наблюдаемые на Марсе в телескоп загадочные прямые линии, «каналы», являются полосами растительности вдоль искусственных водных артерий. Ловелл стал крупным специалистом по Марсу и считал, что многие факты свидетельствуют о жизни на этой планете. Он также усердно наблюдал Меркурий и Венеру, но важнейшим его достижением стала организация поисков планеты за Нептуном. Ловелл и У. Г. Пикеринг независимо друг от друга предвычислили положение этой планеты, и в 1930 г. она была обнаружена К. Томбо на Ловелловской обсерватории и названа Плутоном.

ЛОВЕЛЛОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — оптическая обсерватория во Флагстаффе, Аризона, высота 2210 м. Основана в 1894 г. Персивалем Ловеллом (1855–1916) и до сих пор финансируется его семьёй. Старейший телескоп на Ловелловской обсерватории — исторический 24-дюймовый (61 см) рефрактор работы А. Кларка. С его помощью сам П. Ловелл рисовал марсианские каналы. Сейчас этот телескоп используется в образовательных целях, обслуживая 70 тыс. посетителей в год. Второй исторический инструмент — 13-дюймовый (33 см) астрограф, с помощью которого К. Томбо открыл Плутон. Основные исследовательские инструменты находятся на новой площадке Андерсон Меза в 20 км от Флагстаффа, на высоте 2163 м. Там установлены 1,8-метровый кассегреновский рефлектор, 42-дюймовый рефлектор системы Ричи–Кретьена, 31-дюймовый рефлектор и 25-дюймовая камера Шмидта. В местечке Хэппи Джек (Аризона) на высоте 2370 м заканчивается строительство нового 4,3-метрового телескопа системы Ричи–Кретьена, сооружение которого финансируется телеканалом «Discovery». Он будет использоваться для научных целей, но при этом предполагается возможность вести с него параллельные прямые трансляции для телезрителей.

ЛОГИ (S XLVI, Loge) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2006 г. Большая полуось орбиты 23,142 млн км. Орбитальный период 1314,364 сут. Эксцентриситет орбиты 0,139. Наклонение орбиты к эклиптике 166,5°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск $24{,}6^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°10′05″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ЛОЖНАЯ ЗАРЯ — зодиакальный свет, увеличивающий яркость неба вблизи горизонта в направлении, где скоро взойдёт Солнце.

ЛОЖНЫЕ СОЛНЦА (паргелии, sundogs) — один из видов гало: светлые пятна с радужным переходом цветов обычно с обеих сторон (вдоль горизонта) от солнечного диска, на растоянии 22° от него. Возникает вследствие преломления солнечного света в шестигранных цилиндрических кристалликах льда, парящих в атмосфере и поэтому вертикально ориентированных.

ЛОКЬЕР, Джозеф Норман (Lockyer, sir Joseph Norman) (17.05.1836, Рагби, Англия, — 16.08.1920, Салком Регис, Англия) — английский астроном. Профессор Королевского колледжа, затем директор Солнечно-физической обсерватории в Южном Кенсингтоне. Занимался спектроскопией Солнца; независимо от П. Ж. Жансена открыл во время солнечного затмения протуберанцы и линии гелия в спектре Солнца до того, как этот элемент был обнаружен на Земле. Занимался также спектральной классификацией звёзд и выдвинул гипотезу о том, что свечение звёзд поддерживается падением на них метеоритов. Среди его трудов — «Работы по физике Солнца» (1873), «Роль Солнца в природе» (1897) и «Неорганическая эволюция» (1900).

ЛУНА — естественный спутник Земли. Среднее расстояние между центрами Луны и Земли 384 400 км. Луна не имеет атмосферы; её поверхность покрыта ре-

голитом — раздробленным метеоритами материалом коренных пород. Масса Луны $7{,}353 \cdot 10^{22}$ кг (в 81,3 раза меньше, чем у Земли). Средний радиус Луны 1737 км (в 3,67 раза меньше, чем у Земли). Средняя плотность 3,34 г/см^3. Сила тяжести в 6 раз меньше земной. Средняя температура поверхности 107 °С днём и −153 °С ночью. Период обращения по орбите и период вращения вокруг оси совпадают и равны 27,32 сут, поэтому Луна всегда обращена к Земле одной стороной, которую называют видимой. Обратная сторона Луны никогда не видна с Земли.

Максимальный перепад высот на Луне наблюдается в пределах материковых областей и достигает 17 км (для сравнения: на Земле перепад высот твёрдой поверхности составляет 20 км). Наивысшая точка имеет высоту 9 км над средним уровнем поверхности и находится на обратной стороне, в горах Лейбница. Самая глубокая депрессия глубиной 8 км — также на обратной стороне, в районе Южный полюс — Эйткен.

Советский космический аппарат (КА) «Луна-2» первым достиг поверхности Луны (14.9.1959), а «Луна-3» впервые сфотографировал (7.10.1959) и передал на Землю снимки обратной стороны Луны. Первую мягкую посадку на Луну осуществил КА «Луна-9» (3.2.1966). Первая пилотируемая экспедиция «Аполлон-11» (NASA, США) под командой Н. Армстронга достигла поверхности Луны (20.7.1969).

ЛУНАЦИЯ — то же, что синодический месяц, т. е. полный цикл смены фаз Луны (около 29,5 сут).

ЛУНДМАРК, Кнут Эмиль (Lundmark, Knut Emil) (14.06.1889–23.04.1958) — шведский астроном. Определил (1919) расстояние до галактики М31 в Андромеде. Его результат — 200 кпк, что почти вчетверо меньше истинного. Нашёл (1924), что Солнце движется в плоскости Галактики под прямым углом к направлению на её центр; высказал предположение о вращении Галактики.

ЛУННОЕ ЗАТМЕНИЕ — прохождение Луны через тень Земли, приводящее к значительному (но не полному) ослаблению яркости лунного диска. Лунные затмения наблюдаются в данном месте на Земле приблизительно раз в два-три года. В отличие от солнечных затмений, лунные затмения видны сразу на всём не освещённом Солнцем полушарии Земли, поэтому создаётся впечатление, что лунные затмения происходят гораздо чаще солнечных. Луна достаточно редко становится совершенно тёмной при полной фазе затмения, поскольку солнечный свет рассеивается внутрь тени атмосферой Земли. По этой причине Луна в момент затмения приобретает бордовый цвет.

ЛУЧЕВАЯ СКОРОСТЬ — проекция вектора скорости объекта на луч зрения наблюдателя; её считают положительной, если объект удаляется от наблюдателя, и отрицательной — если приближается. Например, измеряя смещение линий в спектрах небесных тел, определяют скорость их приближения или удаления (эффект Доплера), т. е. измеряют компонент скорости, направленный по лучу зрения. Термин «лучевая скорость», как правило, используют астрономы; физики обычно называют её «радиальной скоростью».

ЛУЧИСТЫЙ ПЕРЕНОС — перенос энергии электромагнитного излучения внутри космических тел и между ними, обусловленный процессами его испускания, распространения, рассеяния и поглощения. С лучистым переносом связано, например, строение звёзд и их атмосфер.

ЛЮББОК, сэр Джон Уильям (Sir John William Lubbock, 3rd Baronet) (26.03.1803–21.06.1865) — английский банкир, математик и астроном, предложивший в 1829 г. метод определения кометных орбит. Он сделал более однородными вычисления отклонений в движении Луны и планет, введя время как независимую переменную.

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ — занятие астрономическими исследованиями как хобби. В отличие от широко распространённого «потребительского» интереса к науке — чтения научно-популярных книг и журналов, просмотра познавательных телепередач и кинофильмов, — любительское занятие наукой, в частности — астрономией, предполагает целенаправленный поиск в определённой области исследований, дополняющий или дублирующий работу профессиональных учёных.

Любительские научные исследования вообще характерны для поисковых областей знания, таких как археология, палеонтология, история, топонимика, энтомология. В области физико-математических наук в нашу эпоху граница научного поиска ушла так далеко от возможностей учёного-любителя, что сколько-нибудь плодотворное занятие физикой, химией или математикой в качестве хобби представляется практически невозможным. И только в астрономии усилия профессионалов и любителей до сих пор вполне органично объединяются в общем процессе познания. Причина этого именно в том, что астрономические исследования в значительной своей части до сих пор имеют (и всегда будут иметь) поисковый, наблюдательный характер. Многие астрономические явления уникальны, поэтому грамотно поставленные любительские наблюдения, пусть даже со скромными аппаратными средствами, представляют для науки реальную ценность.

Любители астрономии и астрономы-любители

Астрономия — одна из древнейших наук. Сознательными наблюдениями за небесными светилами люди стали заниматься очень давно параллельно со своими основными занятиями (скотоводство, морская навигация, культовое служение, педагогическая практика и т. п.), поэтому всех ранних исследователей неба формально можно было бы причислить к любителям астрономии. В какой-то мере и великие умы позднего Возрождения, такие как Коперник и Тихо Браге, также были любителями астрономии.

Более определённый смысл это понятие обрело с появлением в XVII в. государственных астрономических учреждений и работающих в них профессиональных астрономов. В ту эпоху рождалась современная наука с её характерными чертами: государственной поддержкой, подготовкой дипломированных специалистов, необходимостью проведения общественно-полезных работ (для астрономии это служба времени, картографирование, служба Солнца) и, главное, с методологией науки, предполагающей точное описание условий опытов и наблюдений, жёсткое взаимное рецензирование работ и опору на публикации только в авторитетных научных журналах, не допускающих на свои страницы результатов низкопробных исследований. Именно эти качества отделили профессиональную науку от любительской. Хотя движущая сила и той и другой заключается в природной любознательности учёных, профессионалы обязаны регулярно выдавать качественные результаты исследований, а любители могут работать на любом доступном для них уровне и лишь в том объёме, который доставляет им удовольствие.

Следует учесть, что и в наши дни понятие «любительская астрономия» определено не вполне чётко. В самом общем смысле — это занятие астрономическими исследованиями в качестве хобби, в свободное от основной работы или учёбы время. Но уровень этих занятий может иметь различную глубину: от простого любования ночным небом и созерцания доступных объектов (Луна, планеты, Солнце) до систематического поиска комет и астероидов, изучения переменных звёзд и солнечной активности, конструирования новых приборов и участия в работе профессиональных научных коллективов. В связи с этим нередко тех, кто увлечён созерцанием неба и чтением астрономической литературы, называют любителями астрономии, а тех, кто в качестве хобби занимается систематическими исследованиями определённых небесных объектов, — астрономами-любителями. О количестве тех и других можно судить по тиражам научно-популярных

журналов и книг, по составу некоторых научных обществ. К примеру, в США в 2002 г. было около 100 тыс. активных любителей астрономии, в странах Западной Европы — десятки тысяч, в России — несколько тысяч.

Основные направления исследований

Традиционно научные задачи астрономов-любителей требуют не очень сложного оборудования, однако для них нужны внимание, аккуратность и хорошее знание звёздного неба. Это поиск комет, изучение метеорных потоков, поиск метеоритов, наблюдение за серебристыми облаками, изучение переменных звёзд, систематическая зарисовка поверхности планет, выявление изменений на поверхности Луны.

Чтобы стимулировать поиск уникальных объектов, таких как кометы, метеориты, вспышки новых и сверхновых звёзд, официально приняты меры поощрения, особенно ценные для астрономов-любителей. Например, новым кометам присваивают имена первооткрывателей; авторы открытия астероидов получают право предлагать для них имена. Опытных любителей астрономии в качестве поощрения некоторые обсерватории приглашают на курсы лекций, дают им возможность работать на крупных инструментах и пользоваться профессиональным оборудованием и базами данных. А если обратиться к карте Луны, то и на ней можно найти немало имён выдающихся любителей астрономии.

В конце XX в. ситуация с любительской астрономией существенно изменилась. С одной стороны, на некоторых обсерваториях начали работать автоматические телескопы для поиска комет и астероидов, составившие серьёзную конкуренцию любителям. С другой — появление персональных компьютеров, сети Интернет и недорогих электронных приёмников света (ПЗС-камер) открыло перед любителями новые возможности. Например, любители получили возможность через Интернет и компакт-диски пользоваться профессиональными каталогами и базами данных крупнейших наземных и космических обсерваторий. При помощи готовых программ любители теперь могут вычислять эфемериды астрономических явлений именно для своего места наблюдения; это позволяет им, в частности, наблюдать покрытия звёзд Луной и астероидами. Более того, теперь астрономы-любители могут делать серьёзные открытия даже вне зависимости от наличия у них телескопа или хорошей погоды: некоторые энтузиасты обнаружили уже по несколько новых комет на фотографиях неба, полученных через Интернет с борта обсерватории SOHO.

Для стимулирования любительской астрономии некоторые меценаты учреждают специальные премии. Так, Смитсоновская обсерватория (США) награждает астрономов-любителей премией Эдгара Уилсона за открытия новых комет; размер премии — несколько тысяч долларов США. Лучшие «ловцы астероидов» получают Шумейкеровские гранты Планетного общества США, которые им предстоит потратить на поиски и изучение околоземных астероидов и комет. Размер грантов — от 900 до 10 тыс. долларов.

Выдающиеся астрономы-любители

В XVII–XVIII вв. немногочисленный штат государственных обсерваторий в основном был занят прикладными исследованиями, направленными на совершенствование службы времени и методов определения географической долготы. Поэтому поиском комет и астероидов, изучением переменных звёзд и явлений на поверхности Солнца, Луны и планет в основном занимались астрономы-любители. В XIX в. профессиональные астрономы стали уделять больше внимания звёздно-астрономическим и астрофизическим исследованиям, но и в этих областях любители науки нередко были в первых рядах.

На рубеже XVIII и XIX вв. работал величайший из астрономов-любителей — музыкант, дирижер и композитор Вильям Гершель, верной помощницей и продолжателем дела которого была его сестра Каролина. С точки зрения любительской астрономии главная заслуга В. Гершеля состоит не в открытии планеты Уран или составлении каталогов тысяч туманностей и звёздных скоплений, а в демонстрации возможности кустарного изготовления крупных телескопов-рефлекторов. Именно это на несколько столетий вперёд определило основное направление любительского телескопостроения.

Менее известен другой любитель астрономии — англичанин Уильям Парсонс (1800–1867), третий лорд Росс, продолживший усилия Гершеля по развитию технологии крупных рефлекторов. Его крупнейший телескоп диаметром 1,8 м, установленный в семейном поместье Ирландии, позволил ему разрешить на звёзды многие туманности и впервые совершенно определённо установить спиральную форму некоторых из них. Фактически В. Гершель и У. Парсонс открыли эру галактической (звёздной) и внегалактической астрономии.

В XIX в. было налажено производство высококачественных рефракторов, что привлекло многих профессиональных и самодеятельных астрономов к наблюдению планет и поиску новых объектов Солнечной системы. Стало очень популярным составление карт лунной поверхности. Великолепных результатов в этом достигли банкир Вильгельм Бер (1797–1850) и астроном И. Мёдлер (1794–1874), работавшие совместно. Проделав микрометрические измерения сотен деталей в качестве реперных точек и измерив тени более тысячи гор для определения их высот, они составили в 1836–1837 гг. изумительную карту Луны с подробным описанием рельефа.

Немецкий фармацевт Генрих Швабе (1789–1875) с 1826 г. регулярно наблюдал поверхность Солнца и в 1843 г. открыл периодичность количества солнечных пятен. К тому же он первым детально исследовал Большое Красное пятно на Юпитере (1831). За свой вклад в науку он был награждён Золотой медалью английского Королевского астрономического общества и в 1868 г. избран в члены Королевского общества — редкая привилегия для любителя науки.

Высочайший уровень любительской астрономии XIX в. продемонстрировал Уильям Хёггинс (1824–1910) который в собственной обсерватории развил методы астрономической фотографии и спектроскопии; фактически он стал первым английским астрофизиком.

Американский врач, профессор естествознания Генри Дрэпер (1837–1882) построил частную обсерваторию с 71-см рефлектором, зеркало для которого он шлифовал сам. На фотопластинках с мокрыми коллоидными эмульсиями Дрэпер одним из первых получил высококачественные фотографии Луны, Солнца и солнечного спектра (для этой цели он разработал точный механизм часового ведения телескопа). Он первым в 1872 г. получил спектр звезды — Веги. С 1879 г. он работал с сухими фотоэмульсиями и получил спектры ярких звёзд, планет, комет и туманностей. После ранней смерти исследователя его вдова Анна Палмер-Дрэпер учредила денежный фонд, позволивший астрономам Гарвардской обсерватории создать фундаментальный каталог спектров звёзд — знаменитый Дрэперовский каталог, — и разработать Гарвардскую спектральную классификацию звёзд, ставшую основой астрофизики.

В XX в. возможности астрономов-любителей уже не могли конкурировать с оборудованием профессиональных обсерваторий, поэтому любители сосредоточились на поисковых работах, в основном связанных с кометами. Уникальный для XX в. пример авангардной роли любительской астрономии даёт работа Грота Рёбера, который в конце 1930-х гг. единственный во всём мире проводил радиоастрономические исследования, своими силами и на собственные средства создавая весьма совершенные радиотелескопы. В середине XX в., в связи с развитием космонавтики, радиоастрономия совершила колоссальный рывок, и её уровень стал совершенно недоступен для любителей. Однако к концу XX в. любительская радиоастрономия возродилась на основе

новых технологий: возникло даже Общество радиоастрономов-любителей.

В области оптического поиска и исследования новых объектов (кометы, переменные звёзды и т. п.) астрономы-любители до сих пор успешно дополняют профессионалов, используя свои главные преимущества — широкоугольные оптические приборы (бинокуляры, кометоискатели), прекрасное знание звёздного неба и невероятное упорство в проведении наблюдений. Такие известные «ловцы комет», как Икейя, Бредфилд, Олкок, проводят визуальные наблюдения практически каждую ночь в течение нескольких десятилетий. Например, англичанин Джордж Олкок (1912–2000), отслужив в армии и всю жизнь проработав школьным учителем младших классов, с юношеских лет проводил астрономические и метеорологические наблюдения, открыв за это время визуально, при помощи бинокуляра, 5 комет и 6 вспышек новых звёзд. За научные заслуги он стал членом Британских Королевских Астрономического и Географического обществ, был удостоен множества наград, в том числе медалей Тихоокеанского астрономического общества и Американской ассоциации наблюдателей переменных звёзд; его имя присвоено малой планете. Как показал опыт Гершеля и Олкока, облачное небо Англии — вовсе не преграда для упорных наблюдателей.

Используя простейшее оборудование, любители порой добиваются выдающихся результатов. Так, австралиец Пол Камильери с помощью обыкновенного фотоаппарата (фокусное расстояние объектива 135 мм, чувствительность плёнки 400 ед.) только в одном 1991 г. открыл четыре вспышки новых звёзд.

Организации любителей астрономии

Во всём мире существует огромное количество кружков, клубов, обществ и союзов астрономов-любителей. Они объединяют энтузиастов либо по территориальному признаку, либо по тематике исследований. Некоторые клубы имеют довольно мощные собственные обсерватории. По сравнению с индивидуальными любителями члены астрономических объединений обладают значительно бо́льшими возможностями при строительстве или покупке крупного телескопа и аппаратуры к нему, включая современные ПЗС-камеры. С опытом такой работы знакомит, например, Центр любительской астрофизики (Center for Backyard Astrophysics: cba.phys.columbia.edu). Наиболее известные среди любительских организаций:

- Астрономическая лига (Astronomical League) объединяет более 240 любительских астрономических обществ и клубов США (www.astroleague.org);
- Американская ассоциация любителей астрономии (The American Association of Amateur Astronomers);
- Международная организация любительских наблюдений Солнца (www.inter-sol.org);
- Общество радиоастрономов-любителей (The Society of Amateur Radio Astronomers);
- Московский астрономический клуб (astroclub.ru).

Наиболее плодотворными и авторитетными являются смешанные организации, объединяющие как любителей, так и профессионалов. К их числу относятся:

- Тихоокеанское астрономическое общество (Astronomical Society of the Pacific) — объединение любителей и профессиональных астрономов, базирующееся на Западе США (www.aspsky.org);
- Американская ассоциация наблюдателей переменных звёзд — The American Association of Variable Star Observers (www.aavso.org);
- Американское метеорное общество — American Meteor Society (www.amsmeteors.org);
- Ассоциация наблюдателей Луны и планет — The Association of Lunar and Planetary Observers;
- Международный центр наблюдений покрытий Луной — International Lunar Occultation Centre (lunar-occultations.com).

В бывшем СССР Всесоюзное астрономо-геодезическое общество (ВАГО) активно работало с 1932 по 1994 гг. в тесном контакте с Академией наук СССР, объединяя 8000 действительных членов, около 2000 членов юношеских секций и 225 членов-коллективов. После распада СССР структура ВАГО также распалось на ряд местных организаций и клубов.

В мире существует несколько центров для накопления данных о наблюдении переменных звёзд и для получения этих данных не только профессионалами, но и любителями астрономии:

- Американская ассоциация наблюдателей переменных звёзд (AAVSO). Адрес для отправки наблюдений: observations@aavso.org;
- Японская сеть исследователей переменных звёзд (VSNET). Сайт: http://oorurl.kusastro.kyoto-u.ac.jp/mailman/listinfo/.

Чрезвычайно полезные каталоги и базы данных для наблюдений можно найти на сайтах Центра астрономических данных в Страсбуре (cdsweb.u-strasbg.fr/Cats.html) и Центра астрономических данных NASA (adc.gsfc.nasa.gov/adc/adc_amateurs.html).

Замечательные новые возможности уже даёт и значительно умножит в ближайшее время идея виртуального телескопа. Сейчас так называют базу данных Европейской южной обсерватории (проект Astrovirtel), в которой собираются снимки, полученные на нескольких крупных телескопах при наблюдениях самых разных объектов. Важно, что Astrovirtel доступен не только профессионалам, но и всем желающим, хотя для работы с ним требуется квалификация. И это лишь первый шаг к более грандиозному проекту Астрономической виртуальной обсерватории, которая объединит в цифровом виде все изображения неба, полученные за всю историю науки астрономами всех стран.

Инструменты и пособия для любителей астрономии

Для первого знакомства со звёздным небом самым подходящим оптическим инструментом является бинокль, но для опытных астрономов-любителей главным инструментом служит телескоп. Оптические фирмы предлагают широкий выбор любительских телескопов и принадлежностей к ним: от простейших, доступных любому школьнику, до вполне профессиональных, но очень дорогих и доступных лишь крупным коллективам любителей. Возможности телескопа возрастают с диаметром его объектива, но вместе с ним растёт и цена. Поэтому многие любители предпочитают строить телескопы самостоятельно, сами изготавливая все части или заказывая наиболее важные из них (объектив, окуляры) у оптических фирм. Телескопы астрономов-любителей часто имеют весьма оригинальную конструкцию и стимулируют профессионалов к разработке аналогичных инструментов.

Важным дополнением к телескопу служит камера — фотографическая или электронная. В последние годы разработаны высокочувствительные фотоплёнки и недорогие ПЗС-камеры, позволяющие любителям получать превосходные изображения небесных объектов. Электронные фотометры позволяют любителям исследовать переменные звёзды на профессиональном уровне.

Для планирования наблюдений и обработки полученных изображений любители астрономии создали множество полезных компьютерных программ, которыми они обмениваются, обычно безвозмездно. Некоторые фирмы специально для любителей астрономии выпускают коммерческие программы: виртуальные планетарии, анимированные лекции, галереи изображений и каталоги небесных объектов. Наиболее мощные программы, такие как RedShift и Starry Night, обладают колоссальными возможностями демонстрации звёздного неба, туманностей и галактик, астероидов и комет, планет и их спутников (включая детали их поверхности), солнечных и лунных затмений, сумеречных явлений и т. д. При этом наблюдатель может располагаться в произвольной точке Земли или космического пространства и выбирать практически произвольный момент времени наблюдения. Эти программы широко используются и профессиональными астрономами.

В большинстве развитых стран публикуются научно-популярные журналы и серии книг специально для любителей

астрономии. Всемирно известны журналы «Sky & Telescope», «Astronomy», «Astronomy Now», «The Astronomer», а также «Mercury» и «SkyNews» (на английском языке), «Star Observer» (нем.), «l'Astronomie» (франц.), «l'Astronomia» (итал.), «Meteor» (венгер.) и др. В России с 1965 г. издаётся журнал Академии наук «Земля и Вселенная», а с 1995 по 2004 г. издавался журнал для любителей астрономии «Звездочёт». С 2003 г. начал выходить украинско-русский журнал «Вселенная, пространство, время».

Необходимой принадлежностью любого наблюдателя неба — профессионала и любителя — служат звёздные карты и атласы, астрономические ежегодники и справочники. Специально для любителей астрономии в России с 1895 г. издаётся весьма подробный «Астрономический календарь», а для начинающих любителей — более простой «Школьный астрономический календарь».

ЛЮКИ КИРКВУДА — узкие области в пределах пояса астероидов, где обнаруживается значительно меньше малых планет, чем в соседних с ними областях. Впервые существование этих «провалов» в распределении средних расстояний астероидов от Солнца подметил в 1857 г. американский астроном Дэниел Кирквуд (1814–1895), определив, что орбитальное движение частиц в «люках» происходит в резонансе с движением Юпитера. Особенно заметны люки Кирквуда, в которых отношение орбитального периода к периоду Юпитера составляет 1:2, 1:3, 2:5, 3:7. В то же время в области резонанса 2:3 наблюдается избыток астероидов (группа Гильды), а в резонансе 1:1 с Юпитером (т. е. по его орбите) движутся две многочисленные группы астероидов (*см. Греки и троянцы*). Природа люков Кирквуда до сих пор не вполне ясна.

ЛЮФТ — задержка реакции, возникающая в работе механической системы при изменении направления её действия. Люфт существует из-за наличия между шестернями и другими подвижными механическими частями зазоров, допускаемых при сборке механизма с целью предотвратить его быстрый износ. Люфт легко заметен в приводе телескопа по склонению, когда при изменении направления корректирующего движения наблюдается временная задержка момента начала движения относительно момента пуска мотора.

M

МААНЕН, Адриан ван (Adriaan van Maanen) (31.03.1884, Снек, Нидерланды, — 26.01.1946, Пасадена, шт. Калифорния, США) — американский астроном голландского происхождения. Определил параллаксы более 500 звёзд; открыл много близких звёзд низкой светимости, в том числе одного из первых белых карликов (звезда ван Маанена). Измерял собственные движения звёзд и туманностей.

МАБ (U XXVI, Mab) — естественный спутник Урана. Его открыли Марк Шоуолтер и Джек Лизауэр в 2003 г. с помощью телескопа «Хаббл». Большая полуось орбиты 97 736 км. Орбитальный период 0,923 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0025. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,13°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размер около 10 км. Видимый блеск 26^m и максимальное угловое расстояние от планеты 7″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

МАГЕЛЛАНОВЫ ОБЛАКА — две сравнительно небольшие галактики, одни из ближайших спутников нашей Галактики, которые она удерживает своим притяжением. Магеллановы Облака расположены относительно близко друг к другу и, по-видимому, образуют (или в недалеком прошлом составляли) гравитационно связанную двойную систему. На небе южного полушария Магеллановы Облака хорошо видны невооружённым глазом и выглядят как изолированные участки Млечного Пути. Впервые их описал Антонио Пигафетта, участвовавший в кругосветном плавании Магеллана 1519–1522 гг. (хотя их присутствие на небе отмечалось и раньше). Более крупное и яркое из них — Большое Магелланово Облако (БМО), второе — Малое Магелланово Облако (ММО). По морфологической классификации оба они являются неправильными галактиками. Их важнейшие характеристики даны в таблице.

На небе БМО располагается в созвездиях Золотая Рыба (Dorado) и Столовая Гора (Mensa); их граница пересекает галактику почти точно посередине. ММО лежит в созвездии Тукан (Tucana). Относительно малое расстояние до Магеллановых Облаков дало возможность изучить эти галактики весьма детально. С помощью крупнейших телескопов там можно разрешить звёзды со светимостью, близкой к солнечной. С другой стороны, вследствие значительного превышения расстояния до Магеллановых Облаков над их поперечником, различие видимых звёздных величин входящих в них объектов равно различию их абсолютных звёздных величин, т. е. светимостей (для БМО погрешность не превосходит $0{,}1^m$). Так как Магеллановы Облака расположены на довольно высоких галактических широтах, поглощение света межзвёздной средой нашей Галактики и примесь её звёзд мало искажают картину Магеллановых Облаков. К тому же плоскость БМО почти перпендикулярна лучу зрения, так

Характеристики Магеллановых Облаков

Характеристики	БМО	ММО
Координаты центра (эпоха J2000,0), α	$05^h23^m5^s$	$00^h52^m45^s$
δ	$-69°45'22''$	$-72°49'43''$
Галактическая широта	$-33°$	$-45°$
Видимые угловые размеры	$10{,}8° \times 9{,}2°$	$5{,}3° \times 3{,}1°$
Соответствующий линейный размер, кпк	$9{,}1 \times 7{,}8$	$5{,}6 \times 3{,}3$
Расстояние, кпк	48,5	61 ± 3
Видимая звёздная величина, m_V	$0{,}9^m$	$2{,}7^m$
Абсолютная звёздная величина, M_V	$-17{,}9^m$	$-16{,}3^m$
Наклонение к лучу зрения	27°	$\geqslant 60°$
Средняя лучевая скорость, км/с	+275	+158
Общая масса, $M_\odot$	$6 \cdot 10^9$	$1{,}5 \cdot 10^9$
Масса межзвёздного водорода HI, $M_\odot$	$5{,}4 \cdot 10^8$	$4{,}8 \cdot 10^8$
Морфологический тип	Irr/SB(s)m	SB(s)m pec

что видимое соседство входящих в него объектов означает, как правило, и пространственную их близость. Всё это помогает изучению взаимосвязи звёзд различного типа, скоплений и диффузного вещества. В частности, звёзды высокой светимости видны там не далее 5–10′ от места своего рождения.

Магеллановы Облака называют «мастерской астрономических методов» (Х. Шепли); в частности, при их изучении была открыта зависимость период–светимость для цефеид. Объекты Магеллановых Облаков обладают, наряду со сходством, и рядом поразительных отличий от аналогичных членов Галактики, что указывает на связь структурных особенностей галактик с характеристиками их населения. В Магеллановых Облаках много звёздных скоплений всевозможных возрастов и масс; каталог скоплений БМО включает 1600 объектов, а полное их число составляет примерно 5000. Около сотни из них выглядят как шаровые звёздные скопления Галактики и весьма близки к ним по светимости и степени концентрации звёзд. Однако шаровые скопления Галактики все очень стары (10–13 млрд лет), тогда как в Магеллановых Облаках наряду со столь же старыми скоплениями имеется ряд шаровых скоплений (23 в БМО) с возрастами $\sim 10^7$–10^8 лет. Возраст скоплений Магеллановых Облаков однозначно связан с их химическим составом (молодые скопления содержат относительно больше тяжёлых элементов), тогда как у скоплений галактического диска такая корреляция отсутствует.

В БМО известно также 120 обширных группировок молодых звёзд высокой светимости (OB-ассоциаций), связанных, как

правило, с областями ионизованного водорода (зонами HII). В ММО таких группировок на порядок меньше, молодые звёзды сосредоточены там в основном теле и в «крыле» ММО, вытянутом (вероятно, приливным эффектом) в сторону БМО, тогда как в самом БМО они разбросаны по всему Облаку, а в основном теле преобладают звёзды с возрастом 10^8–10^{10} лет. Радиоастрономические наблюдения в линии 21 см нейтрального водорода (HI) показали, что в БМО имеются 52 изолированных комплекса HI со средней массой порядка $10^6 M_\odot$ и размерами 300–900 пк, а в ММО плотность HI почти равномерно нарастает к центру. Доля HI по отношению к полной массе в БМО в несколько раз больше, чем в Галактике, а в ММО больше на порядок. Даже в наиболее молодых объектах БМО содержание тяжёлых элементов несколько меньше, чем в Галактике, а в ММО оно ниже в 2–4 раза.

Все эти особенности можно объяснить тем, что в Магеллановых Облаках не было первоначальной бурной вспышки звёздообразования, приведшего в Галактике к исчерпанию основных запасов газа и сравнительно быстрому обогащению его остатков тяжёлыми элементами на протяжении первых миллиардов (или даже сотен миллионов) лет существования Галактики. Присутствие старых шаровых скоплений и переменных звёзд типа RR Лиры доказывает, однако, что звёздообразование началось в Магеллановых Облаках и в Галактике примерно в одно время. Проф. Ю. Н. Ефремов (ГАИШ МГУ) считает, что наличие большого числа молодых шаровых скоплений в Магеллановых Облаках (в Галактике их почти нет) означает, что их образованию в современном диске Галактики, возможно, препятствует спиральная волна плотности, которая может инициировать звёздообразование и в газовых облаках, не достигших высокой степени сжатия.

В каждом из Магеллановых Облаков известно порядка 10^3 цефеид, причём максимум в их распределении по периодам сдвинут в ММО к малым периодам (по сравнению с цефеидами в Галактике), что также можно объяснить меньшим содержанием в звёздах ММО тяжёлых элементов. Распределение цефеид по периодам неодинаково в разных участках Облаков, что в соответствии с зависимостью период–возраст объясняется различием возраста массивных звёзд в этих областях. Поперечник областей, в которых цефеиды и скопления имеют близкие возрасты, составляет 300–900 пк. Объекты в этих звёздных комплексах, очевидно, генетически связаны друг с другом: они возникли из одного газового комплекса.

Межзвёздное поглощение света в БМО невелико. Пылевых туманностей там найдено немного (около 70), и лишь в некоторых участках внутри и вблизи гигантской зоны HII Тарантул (30 Золотой Рыбы, 30 Dor) поглощение достигает 2^m. Отношение массы пыли к массе газа в БМО на порядок меньше, чем в Галактике, и низкое содержание пыли должно отражаться на особенностях звёздообразования в Магеллановых Облаках. Оболочки остатков вспышек сверхновых в БМО (известно несколько десятков) заметно больше по размерам при той же поверхностной яркости, что и в Галактике, диаметры их, как и кольцевых зон HII, достигают 200 пк. Имеется 9 сверхгигантских оболочек HII поперечником около 1 кпк.

Зоны HII, сверхгиганты и планетарные туманности (последних открыто 137 в БМО и 47 в ММО) позволяют определить центр вращения БМО. Он находится в 1 кпк от оптического центра этой галактики. Расхождение объясняется, по-видимому, тем, что последний определяется по ярким объектам, масса которых не является доминирующей. Быстрое вращение и небольшая дисперсия скоростей (порядка 10 км/с для молодых объектов) свидетельствуют о высокой степени сплюснутости БМО (некоторые астрономы считают БМО спиральной галактикой с массивной перемычкой и слабо выраженными спиральными ветвями). Старые шаровые скопления и, по-видимому, звёзды типа RR Лиры также сосредоточены в диске, а не в короне БМО.

Своеобразие кинематики ММО и очень большую поверхностную плотность цефеид в нём можно объяснить тем, что ММО ориентировано к нам торцом своего основного тела, тогда как БМО видно с направления, почти перпендикулярного плоскости его диска.

Замечательной особенностью БМО является присутствующая в нём звёздная сверхассоциация, в центре которой расположена гигантская зона HII (30 Dor) поперечником около 250 пк и массой $10^5 M_\odot$. В центре зоны находится компактное скопление звёзд очень высокой светимости общей массой 10^4–$10^5 M_\odot$. Это наиболее молодое из известных шаровых скоплений; оно содержит самые массивные из молодых звёзд. Центральный объект скопления на 2^m ярче остальных звёзд. Это компактная группа горячих звёзд, возбуждающая область HII. По ряду характеристик скопление 30 Dor похоже на умеренно активные ядра галактик, следовательно, подобная активность в какой-то мере может быть связана с интенсивным образованием звёзд большой массы. В этой зоне находится несколько остатков сверхновых, в том числе плерионов — остатков типа Крабовидной туманности. В БМО открыто около 100 рентгеновских источников переменной интенсивности; большинство из них отождествляется с остатками сверхновых. Источник LMC X-3 является, наряду с Cyg X-1, наиболее достоверным кандидатом в чёрные дыры.

Оба Магеллановых Облака погружены в общую водородную оболочку. Некоторые звёздные скопления находятся между Облаками, а прямо через них проходит полоса облаков HI — так называемый Магелланов Поток, в плоскости которого лежат и некоторые другие карликовые галактики — спутники нашей Галактики. Возможно, что газовая перемычка соединяет Магеллановы Облака с нашей Галактикой; некоторые звёзды типа RR Лиры и скопления также находятся на полпути между Солнцем и Облаками. Приливному воздействию со стороны Магеллановых Облаков приписывают искривление периферических областей диска нашей Галактики, которая со своей стороны также оказывает мощное воздействие на структуру Облаков.

МАГНИТАР, или магнетар (англ. *magnetar*) — нейтронная звезда, обладающая исключительно сильным магнитным полем, около 10^{14}–10^{15} Гс, что примерно в миллион миллиардов раз сильнее магнитного поля Земли и в 100–1000 раз сильнее поля обычных нейтронных звёзд-радиопульсаров. Вероятно, у магнитаров самые сильные магнитные поля во Вселенной. Быстро вращаясь, они действуют как огромные электрогенераторы. Если пилот космического корабля окажется вблизи магнитара, между его головой и ногами возникнет напряжение в 100 трлн вольт!

Магнитары являются единственными объектами во Вселенной, основной запас энергии которых сосредоточен в магнитном поле. Они проявляют себя как источники ярких вспышек рентгеновского и гамма-излучения. Считается, что эти объекты могут быть как повторными источниками мягкого гамма-излучения (soft gamma repeater, SGR), так и аномальными рентгеновскими пульсарами (anomalous X-ray pulsar, AXP). К концу 2011 г. обнаружено две дюжины магнитаров. Продолжительность активной фазы магнитара оценивается в 10^4 лет.

Существование магнитаров теоретически предсказали в конце 1980-х гг. американский астроном Роберт Дункан (Robert Duncan) и канадец Кристофер Томпсон (Christopher Thompson), которые пришли к выводу, что в принципе нейтронные звёзды могут формироваться с магнитным полем, которое намного сильнее полей уже известных пульсаров. По их расчётам, такие поля должны оказывать огромное давление на поверхность звезды, что, вероятно, приводит к звёздотрясениям и вызывает интенсивный выброс высокоэнергичного излучения. В 1992 г. они использовали эту теорию для объяснения очень мощной гамма-вспышки, наблюдавшейся 5 марта 1979 г. и в дальнейшем отождествлённой с остатком молодой сверхновой, N49 в Большом Магеллановом Облаке. Этот объект позднее стал

первым среди обнаруженных повторных источников мягких гамма-всплесков. Первое надёжное свидетельство существования магнитаров получено в 1998 г. в виде мощной вспышки гамма- и рентгеновского излучения от источника SGR 1900+14 в созвездии Орёл. Считается, что вспышка происходит, когда мощное магнитное поле прорывает тонкую твёрдую кору нейтронной звезды.

В 2002 г. Брайен Керн (Brian Kern) и Крис Мартин (Chris Martin) из Калифорнийского технологического института пришли к выводу, что с помощью теории магнитаров можно объяснить поведение объекта 4U 0142+61 в созвездии Кассиопея. В обычном пульсаре оптические пульсации являются вторичным продуктом рентгеновских пульсаций, поэтому они довольно слабые. Но в случае 4U 0142+61 четверть всей мощности пульсаций излучается в форме видимого света и только 3% — в форме рентгеновских лучей. Такое поведение характерно именно для магнитаров.

Поскольку магнитары — относительно близкие объекты, поток гамма-излучения у Земли во время их вспышек может быть весьма велик. Но у каждого гамма-детектора есть определённый динамический диапазон: очень слабых вспышек он не замечает, а от слишком сильных его зашкаливает. Именно такая сверхсильная вспышка наблюдалась 27 декабря 2004 г. от источника SGR 1806-20, по-видимому, связанного с магнитаром. Её зафиксировали многие спутники, имеющие соответствующую аппаратуру, но измерить параметры наиболее яркой её фазы не смогли, поскольку приборы «ослепли» от слишком сильного потока гамма-лучей. В это время российский спутник «Коронас-Ф» с гамма-спектрометром на борту оказался в гамма-тени Земли, и вспышка его не ослепила, но через несколько секунд он зафиксировал ослабленное эхо этой вспышки: лучи отразились от Луны! Их потока оказалось достаточно для измерений. Такое использование Луны в качестве зеркального ослабителя потока оказалось неожиданным для самих гамма-астрономов.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ — силовое магнитное поле, источник которого располагается в недрах Земли. В первом приближении его можно представить диполем, как поле простого полосового магнита или соленоида, ось которого наклонена на угол около 10° к оси вращения Земли. При этом различают два диполя: геоцентрический и эксцентрический. Геоцентрический диполь, ось которого проходит через центр планеты, неплохо представляет её магнитное поле. Его полюсы, геомагнитные полюсы Земли, симметрично отстоят от географических полюсов. С геоцентрическим диполем связана геомагнитная координатная система (по соглашению её нулевой меридиан проходит через южный географический полюс).

Ещё точнее представляет магнитное поле Земли эксцентрический диполь. По данным на 2000 г. (модель IGRF-2000), этот диполь смещён от центра Земли примерно на 540 км в направлении северо-западной части Тихого океана, к точке с координатами 21,8° с. ш. и 143,2° в. д. (у северной оконечности Марианских островов). Координаты полюсов этого эксцентрического диполя: 83°03′ с. ш. и 93°30′ з. д. в Северном полушарии и 75°34′ ю. ш. и 118° 66′ в. д. — в Южном.

Напряжённость магнитного поля на поверхности Земли зависит от места наблюдения и от времени. При отсутствии возмущений (от Солнца) на северном магнитном полюсе она редко превышает 0,6 эрстеда, на южном — 0,7 Э, а на магнитном экваторе — 0,4 Э. В среднем магнитное поле у поверхности Земли имеет индукцию около 0,4 Гс = $4 \cdot 10^{-5}$ Тл. Правда, в отдельных местах (пример — Курская магнитная аномалия) индукция достигает 2 Гс. Если представить конфигурацию поля диполем, то его магнитный момент составит около $8 \cdot 10^{15}$ А·м^2 = $8 \cdot 10^{15}$ Тл·м^3 = $8 \cdot 10^{25}$ Гс·см^3.

МАГНИТНОЕ СКЛОНЕНИЕ — различие между направлением на север, показанным магнитным компасом, и истинным направлением на север в данной точке земной поверхности в данную эпоху. Эти два направления различаются по нескольким причинам. Во-первых, географические и магнитные полюсы не совпадают: северный магнитный полюс находится на севере Канады, а южный — у берегов Антарктиды. Во-вторых, магнитные полюсы постоянно перемещаются, причём на рубеже XX и XXI вв. это перемещение стало весьма быстрым. В-третьих, магнитные меридианы имеют гораздо более сложную форму, чем географические меридианы. Причина в том, что магнитное поле Земли заметно отличается от геоцентрического дипольного, имеет сильные локальные аномалии и переменность во времени. Поэтому магнитное склонение зависит от даты и от положения наблюдателя на Земле. Основное значение магнитного склонения обычно приводится на крупномасштабных географических картах. Но надо иметь в виду, что от эпохи создания карты оно могло измениться.

МАГНИТНЫЕ БУРИ — сильные возмущения магнитного поля Земли. Могут длиться несколько суток. Вызываются воздействием усиленных потоков солнечной плазмы (солнечного ветра) на магнитосферу Земли.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЮСЫ — особые точки на поверхности планеты, связанные с конфигурацией её магнитного поля. Истинные магнитные полюсы Земли — это точки на поверхности планеты, в которых вектор индукции магнитного поля направлен вертикально, т. е. магнитное наклонение в этих точках равно 90°. В текущую эпоху магнитные полюсы Земли находятся невдалеке от её географических полюсов. Северный магнитный полюс лежит в точке с координатами 82,7° с. ш. и 114,4° з. д., в Северной Канаде, на расстоянии 815 км от географического северного полюса (данные 2005 г.). Южный магнитный полюс лежит в точке 64°40′ ю. ш. и 138°07′ в. д., рядом с французской полярной станцией «Дюмон-д'Юрвиль», на расстоянии 2817 км от географического южного полюса (данные 2000 г.). Положение этих полюсов со временем меняется. В нынешнюю эпоху в Северном полушарии находится южный (отрицательный) магнитный полюс, а в Южном полушарии — северный (положительный), т. е. силовые линии поля выходят из поверхности в районе Антарктиды и входят в Северной Канаде. Однако общепринято магнитные полюсы Земли называть в соответствии с полушарием, в котором каждый из полюсов находится.

Нужно иметь в виду, что в районе некоторых очень сильных магнитных аномалий (Курская, Восточно-Сибирская и др.) наблюдаются локальные магнитные полюсы.

Геомагнитные полюсы Земли — это точки пересечения с земной поверхностью оси геоцентрического диполя. По данным на 2005 г. (модель IGRF-2005), геоцентрический диполь имел магнитный момент $7{,}8 \cdot 10^{15}$ Тл·м^3, а северный геомагнитный полюс лежал в точке с координатами 79,7° с. ш. и 71,8° з. д. (пролив Смит между Гренландией и Северной Америкой). Южный геомагнитный полюс лежал в симметричной точке с координатами 79,7° ю. ш. и 108,2° в. д. (недалеко от российской антарктической станции «Восток»).

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ВОЛНА (МГД-волна) — квазипериодическое возмущение в плазме, например солнечного ветра, в межпланетном магнитном поле с частотой, меньшей гироскопической частоты ионов.

МАГНИТОГРАММА СОЛНЦА — изображение Солнца, показывающее напряжённость и полярность магнитных полей на его поверхности.

МАГНИТОГРАФ — прибор для измерения напряжённости и полярности магнитных полей, главным образом солнечных. Принцип его работы основан на эффекте Зеемана, который проявляется в расщеплении спектральных линий атомов, находящихся во внешнем магнитном поле, и появлении поляризации в каждом из компонентов расщеплённой линии. Маг-

нитографы используют для получения двумерных карт магнитных полей Солнца — магнитограмм.

МАГНИТОМЕТР — прибор для прямого измерения напряжённости и направления магнитного поля. Простейший магнитометр, применяемый для измерения магнитного поля Земли, — обычная магнитная стрелка, имеющая возможность вращаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Бо́льшую чувствительность обеспечивают индукционные магнитометры, используемые и на космических аппаратах для измерения магнитных полей планет. Основа индукционного магнитометра — два соединённых электрических трансформатора. В отсутствие магнитного поля токи трансформаторов уравновешиваются; при появлении внешнего магнитного поля равновесие нарушается и появляется индуцированный ток, который можно измерить и использовать для вычисления напряжённости поля. Для определения направления магнитного поля используют три взаимно перпендикулярных индукционных магнитометра.

Устройства, работа которых основана на эффекте Зеемана, позволяют измерять магнитные поля Солнца и звёзд. Величина зеемановского расщепления линий невелика, отдельные компоненты расщеплённой линии редко наблюдаются раздельно (за исключением солнечных пятен); как правило, можно регистрировать только уширение спектральной линии. Однако расщеплённые компоненты спектральной линии поляризованы, и их можно видеть по отдельности, используя поляризатор.

При наблюдениях Солнца минимальные величины регистрируемых магнитных полей составляют 10^{-5} Тл. Предельные значения при наблюдениях звёзд составляют около 0,02 Тл. Слабые межзвёздные магнитные поля с плотностью до 10^{-9} Тл измеряют с использованием зеемановского расщепления радиолинии 21 см водорода и других спектральных линий в радиодиапазоне.

МАГНИТОСФЕРА — область пространства, окружающая планету или звезду, в которой её магнитное поле доминирует над магнитными полями других тел. Размер и форму магнитосферы планеты определяет взаимодействие её магнитного поля с потоком солнечного ветра. В двойных системах звёзды с сильным магнитным полем (например, нейтронные звёзды) также имеют магнитосферы, окружённые потоками звёздного ветра от соседней звезды.

МАГНИТОСФЕРА ЗЕМЛИ — область околоземного пространства, занятая геомагнитным полем.

МАГНИТОТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — то же, что *Синхротронное излучение*.

МАЗЕР — квантовомеханический усилитель микроволнового излучения (MASER — microwave amplification by stimulated emission of radiation, усиление микроволн путём вынуждённого излучения). Принцип действия состоит в том, что слабое излучение направляется в резонатор, заполненный возбуждёнными атомами или молекулами, способными излучать на той же частоте. Благодаря эффекту вынужденного излучения происходит рост амплитуды исходного сигнала.

МАЙДАНАКСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — оптическая обсерватория на горе Майданак на юге Узбекистана. Крупнейший инструмент обсерватории — телескоп АЗТ-22, 1,5-метровый рефлектор системы Ричи—Кретьена.

МАКСУТОВ, Дмитрий Дмитриевич (11(23).04.1896, Одесса, Россия, — 12.08.1964, Ленинград, СССР) — советский инженер-оптик, специалист в области астрономических приборов. В 1914 г. окончил Военно-инженерное училище в Петербурге. В 1930–1952 гг. работал в Государственном оптическом институте в Ленинграде, где организовал и возглавил лабораторию астрономической оптики, ставшую вскоре центром астрономического приборостроения в СССР. С 1946 г. — член-корреспондент АН СССР. С 1952 г. работал в Пулковской обсерватории.

Основные работы посвящены теневым и другим оптическим методам исследования и технологии изготовления крупных оптических приборов, теории и практике изготовления асферических поверхностей. В 1924 г. первым предложил компенсационный метод исследования зеркал, который был успешно применён при изготовлении зеркала диаметром 2,6 м для рефлектора ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории. В 1941 г. изобрёл новую катадиоптрическую систему (т. е. объединяющую преломляющие и отражающие элементы). Он разработал менисковые системы оптических приборов, состоящие из линзовых и зеркальных оптических элементов. Максутов создал новый тип телескопа, основанный на менисковой оптической системе, который сочетает в себе многие преимущества как рефрактора, так и параболического рефлектора и, отличаясь простотой конструкции, даёт широкоугольное изображение хорошего качества. Создал оптику для ряда уникальных астрономических инструментов. В Пулковской обсерватории руководил проектированием и расчётом системы первичного фокуса 6-метрового альт-азимутального телескопа, установленного впоследствии в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР;



Д. Д. Максутов у школьного менискового телескопа

возглавлял работы по расчёту планетного менискового телескопа диаметром 70 см и др. Крупнейшие в мире максутовские телескопы (диаметр мениска 70 см) установлены в Абастуманской астрофизической обсерватории и в обсерватории Серро-Робле (Чили). Автор книг «Астрономическая оптика» (1946), «Изготовление и исследование астрономической оптики» (1948) и др. Проводил большую педагогическую работу. Награждён Государственной премией СССР (1941, 1946). Его имя занесено на карту Луны.

МАКУЛЫ (лат. *macula*, мн. *maculae*) — тёмные пятна нерегулярной формы на поверхности планеты или спутника. Обнаружены на Титане и спутниках Нептуна.

МАЛАЯ МЕДВЕДИЦА — самое северное созвездие, известное также как Малый Ковш, последняя звезда в «ручке» которого, Полярная, располагается примерно в 1° от северного полюса мира. На Руси Полярную звезду раньше называли Прикол. В 2102 г. в результате прецессии земной оси Полярная приблизится к полюсу на минимальное расстояние примерно 0,5° и затем будет удаляться от него. Блеск Полярной равен $2{,}0^m$, а расстояние от нас 470 св. лет. Долгие годы Полярная звезда была известна астрономам как классическая цефеида, изменявшая свой блеск на $0{,}3^m$ с периодом около 4 сут. Однако в 1990-е гг. колебания её блеска неожиданно прекратились. В древности арабы называли Полярную звезду «козленком», а звезду β называли Кохаб, что значит «северная звезда»: действительно, с 1500 г. до н. э. по 300 г. она была ближайшей к полюсу; её блеск $2{,}1^m$.

МАЛАЯ ПОЛУОСЬ — половина наименьшего диаметра эллипса.

МАЛЫЕ ПЛАНЕТЫ — то же, что астероиды. Термин «малые планеты» устарел. После 2006 г. Международный астрономический союз не рекомендует его употреблять.

МАЛЫЙ КОНЬ — маленькое экваториальное созвездие. Этот «жеребёнок» был введён Гиппархом и включён в каталог Клавдия Птолемея в его «Альмагесте» под названием Голова Коня. Эта группа невзрачных звёзд 4–5-й величины располагается между юго-западным углом Пегаса и Дельфином.

МАЛЫЙ ЛЕВ — экваториальное созвездие; расположено прямо над созвездием Лев. Ярких звёзд не содержит. Название ему дал Ян Гевелий в 1690 г. В нем лежит радиант слабого метеорного потока, действующего в районе 24 октября. В 2007 г. в этом созвездии был обнаружен необычный внегалактический «объект Ханни». Голландский школьный учитель Ханни ван Аркель (Hanny van Arkel), принимавший участие в общественной интернет-программе Galaxy Zoo (классификация галактик на изображениях Слоановского цифрового обзора неба SDSS и архивных снимках космического телескопа «Хаббл») заметил рядом со спиральной галактикой IC 2497 странное клочковатое облако зелёного цвета, получившее название «Hanny's Voorwerp» (голл.) или «Hanny's Object» (англ.). Расстояние до него оказалось таким же, как до самой галактики (650 млн св. лет), и своим размером облако не уступает галактике. Его зелёный цвет связан с излучением ионизованных атомов кислорода. На краю облака, обращённом к галактике, видны две области активного звёздообразования. Природа облака не ясна. Есть подозрение, что в недалеком прошлом оно было нагрето квазаром, проявившим активность в ядре галактики IC 2497.

МАЛЫЙ ПЁС — экваториальное созвездие; располагается к востоку от Ориона и к югу от Близнецов. На древних картах Большой и Малый Псы сопровождают охотника Ориона. Ярчайшая звезда ($0{,}4^m$) — Процион, что по-гречески означает «тот, который до собаки»: Процион восходит перед Сириусом (в Большом Псе). Процион, Сириус и Бетельгейзе (в Орионе) образуют на небе почти равносторонний треугольник. Процион — одна из ближайших к нам звёзд (11,4 св. года), физически мало отличающаяся от Солнца. Подобно Сириусу, Процион — визуальная двойная звезда. В 1844 г. по колебаниям собственного движения Проциона немецкий астроном Фридрих Бессель (1784–1846) заподозрили наличие у него спутника, а 14 ноября 1896 г. Дж. Шеберле, наблюдая в 36-дюймовый рефрактор Ликской обсерватории (Калифорния), обнаружил рядом с Проционом звездочку 13^m. Как и в случае с Сириусом, спутник Проциона оказался белым карликом, обращающимся по орбите с периодом 40,65 года и имеющим в 15 тыс. раз меньшую яркость, чем главный компонент системы. Основная трудность его обнаружения, как и спутника Сириуса, состояла в ослепляющем действии более яркого компаньона.

МАРГАРИТА (U XXIII, Margaret) — естественный спутник Урана. Его открыли Скотт Шеппард и Дэвид Джюитт 29 августа 2003 г. Большая полуось орбиты 14345 тыс. км. Орбитальный период 1687,01 сут. Эксцентриситет орбиты 0,6608. Наклонение орбиты к эклиптике 57°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении орбитального обращения планеты. Диаметр около 20 км. Масса около $5{,}5 \cdot 10^{15}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Альбедо около 4%. Видимый блеск 25^m и максимальное угловое расстояние от планеты 30,1′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 65 K.

МАРИЙ, Симон (Мауг или Marius, Simon) (10.01.1573, Гунценхаузен, близ Нюрнберга, Германия, — 26.12.1624, Ансбах, Германия) — немецкий астроном, ученик Тихо Браге. Симон Марий одним из первых начал изучать небо в телескоп. Первый в Европе наблюдал Туманность Андромеды и дал её описание (1612). Независимо от Галилея открыл спутники Юпитера, составил первые таблицы их движения и дал им имена — Ио, Европа, Ганимед, Каллисто. Свои наблюдения спутников Юпитера он опубликовал в 1614 г. в книге: Simone Mario «Mundus Jovialis anno MDCIX detectus ope perspicilli Belgici: hoc est, quatuor Jovialium planetarum, cum theoria, tum tabulae, propriis observationibus maxime fundatae, ex quibus situs illorum ad Jovem ad quodvis tempus datum promptissime & facilime supputari potest» («Мир Юпитера, обнаруженный в 1609 г. посредством фламандской подзорной трубы: для четырёх юпитерианских планет здесь приведены как теория, так и таблицы, целиком обоснованные собственными наблюдениями, по которым их [планет] расположение возле Юпитера в любое время можно легко и быстро вычислить»).

МАРКАРЯН, Бенжамин Егишевич (29.11.1913, пос. Шулавери, ныне Шаумяни, Грузия, — 29.09.1985, Ереван, Армения, СССР) — армянский астроном, академик АН АрмССР (1971). Окончил Ереванский университет (1938) и аспирантуру Ленинградского университета (1941). С 1944 г. работал в Бюраканской астрофизической обсерватории, в 1952–1957 гг. — зам. директора, с 1957 г. — зав. отделом галактик. В 1943–1957 гг. преподавал в Ереванском университете. Совместно с В. А. Амбарцумяном открыл (1947) молодые, неустойчивые звёздные системы — ассоциации. Открыл (с 1965) много внегалактических объектов высокой активности с ультрафиолетовым избытком излучения (галактики Маркаряна). Президент Комиссии № 28 «Галактики» Международного астрономического союза (1976–1979). Заслуженный деятель науки Армянской ССР. Лауреат Сталинской премии (1950).

МАРС — планета Солнечной системы, четвёртая от Солнца, удалённая от него на 227,9 млн км = 1,52 а. е. Эксцентриситет орбиты 0,093. Орбитальный период 686,97 сут = 668,599 сол (т. е. марсианских солнечных суток). В перигелии Марс приближается к Солнцу на 206,7 млн км = 1,38 а. е., в афелии удаляется на 249,2 млн км = 1,67 а. е. Синодический период Марса составляет около 780 сут. С таким периодом (в среднем) происходят противостояния Марса, когда он сближается с Землёй. Наиболее тесные сближения — великие противостояния — происходят в те периоды, когда Марс в момент противостояния находится в районе перигелия своей орбиты; это случается один раз в 15 или 17 лет (см. *Великое противостояние Марса*). На земном небосводе блеск Марса изменяется от $+1{,}6^m$ до $-3{,}0^m$. Его наибольший видимый угловой диаметр 25″, а наименьший 3,5″.

Масса Марса $6{,}419 \cdot 10^{23}$ кг (11% от массы Земли). Экваториальный радиус Марса 3396 км (53% от радиуса Земли); полярный радиус 3376 км; сжатие 0,006. Средняя плотность планеты 3,93 г/см^3 (71% от плотности Земли). Ускорение свободного падения у поверхности Марса 3,71 м/с^2 (в 2,66 раза меньше, чем на Земле). Вторая космическая скорость у поверхности Марса 5,03 км/с.

Период вращения Марса (звёздные сутки) 1,025957 сут = $24{,}6229^h$ = $24^h\,37^m\,22{,}4^s$. Продолжительность солнечных суток: 1 сол = $24^h\,39^m\,35{,}244^s$. Экватор наклонён к плоскости орбиты на 25,2° (почти как у Земли), поэтому на Марсе происходит смена сезонов года, аналогичная земной. На поверхности наблюдается множество устойчивых деталей: яркие области оранжево-красноватого цвета (материки, площадью около 2/3 диска); полярные шапки — белые пятна, образующиеся вокруг полюсов осенью и исчезающие в начале лета; тёмные области («моря»), занимающие 1/3 диска; бассейны и кратеры — следы метеоритной бомбардировки; множество гор вулканического происхождения (высотой до 25–28 км); множество проявлений эрозии, области с хаотическим рельефом, каналы и т. д. (с. 11 цветной вкладки). Грунт раздроблен и усыпан множеством каменных блоков. По составу породы похожи на земные, но с преобладанием окислов железа.

Атмосфера Марса (CO_2 95%, N_2 2,7%, Ar 1,6%) весьма разреженная – давление у поверхности 0,006 бар. Температура у поверхности от −90 до +20 °С, средняя температура −63 °С. Полярные шапки состоят из CO_2 и H_2O. Эквивалентная толщина слоя атмосферной осаждённой воды не более 10–20 мкм (на Земле – около 1 см). Остальная вода скована в недрах вечной мерзлотой. Скорость ветра в атмосфере обычно не превышает нескольких метров в секунду, но иногда возрастает до 40–50 м/с, вызывая глобальные пылевые бури – специфически марсианское явление, продолжающееся порой несколько месяцев.

Магнитное поле Марса в тысячу раз слабее земного. Имеется ионосфера с главным максимумом на высоте около 150 км и электронной концентрацией 10^5–10^4 частиц в 1 $см^3$. Марс имеет два маленьких естественных спутника – Фобос и Деймос.

МАСКА – диск или другой непрозрачный экран малого размера, помещённый в фокусе окуляра для экранирования яркого объекта. Применение маски, закрывающей яркий объект, позволяет рассмотреть более тусклые объекты, находящиеся в непосредственной близости от него. Маска применяется, например, в солнечном внезатменном коронографе, а также в звёздном коронографе.

МАСКОНЫ (англ. *mascon* от *mass concentration* – концентрация массы) – геологические образования, входящие в состав литосферы Луны на относительно небольшой глубине от поверхности и вызывающие положительные гравитационные аномалии, т. е. избыток гравитационного ускорения по сравнению с простой гладкой моделью гравитационного поля Луны. Масконы были обнаружены и локализованы по возмущениям, впервые наблюдавшимся в 1960-е гг. в движении искусственных спутников Луны: в некоторых местах орбиты движение спутников отклонялось от расчётного – реальная траектория проходила ближе к поверхности, спутник проседал. Эта особенность гравитационного поля Луны проявилась уже при наблюдении за движением её первого искусственного спутника «Луна-10». Неучёт наличия масконов, возможно, привёл к потере некоторых посадочных аппаратов (обычно называют попытку посадить грунтозаборный аппарат «Луна-15» в 1969 г.). С другой стороны, учёт наличия масконов дал возможность очень точно осуществить в 1969 г. посадку экспедиции «Аполлон-12» в 163 м от ранее севшего на Луну зонда «Сервейор-3».

Чаще всего масконы расположены под лунными морями, имеющими округлую форму. Их происхождение связывают с ударами крупных космических тел в эпоху интенсивной метеоритной бомбардировки – около 4 млрд лет назад. В результате этих ударов в лунной коре создавались гигантские, многокилометровой глубины выемки. Далее вступали в действие геологические процессы. Находящаяся ниже более плотная, чем кора, расплавленная мантия выдавливала вверх дно образовавшейся от удара геологической депрессии – выемки, образуя под ней линзу – выпуклость, состоящую из вещества поднявшейся мантии. Некоторая часть вещества мантии прорывалась в виде лавы на поверхность и заполняла оставшуюся часть этой депрессии. Таким образом, в некоторых местах лунной коры образовались районы, где её плотность оказалась большей, чем в других областях. Не исключено, что масконы существуют на Марсе и Меркурии.

МАССИВНАЯ ЧЁРНАЯ ДЫРА – чёрная дыра с массой примерно от 10^3 до 10^5 масс Солнца.

МАССЫ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ (основные факты). Масса макроскопического небесного тела – одна из важнейших его характеристик, поскольку определяющую роль в физическом состоянии и эволюции крупных небесных тел – планет, звёзд, галактик – играет гравитация. В основе измерения масс большинства небесных тел лежат законы механики и закон всемирного тяготения Ньютона, позволяющие связать ускорение пробного тела с массой измеряемого объекта: $g=GM/R^2$, где g – ускорение свободного падения, G – ньютонова постоянная тяготения, M – масса сферического тела, R – расстояние от его центра. (Релятивистские законы иногда используются для оценки массы компактных объектов, например белых карликов, по гравитационному красному смещению линий в их спектрах.) Для определения абсолютного значения массы (в килограммах) с помощью закона тяготения требуется независимое лабораторное измерение значения G. Поскольку точность измерения G пока не превышает 4 значащих цифр, определение абсолютной массы небесных тел ограничено этой же точностью (0,01%), хотя ускорение свободного падения на поверхности небесного тела или на орбите его спутника может быть измерено значительно точнее. До сих пор значение g измерено лишь на Земле и на Луне, но орбитальное движение спутников (естественных и искусственных) изучено у всех планет и некоторых астероидов Солнечной системы.

Для измерения относительных масс (например, в единицах массы Солнца или Земли) используется третий закон Кеплера, уточнённый Ньютоном. Знание абсолютного значения массы системы Земля–Луна и относительных масс больших планет позволяет найти относительную массу Солнца с высокой степенью точности. Это позволяет принять массу Солнца за единицу измерения масс других звёзд, непосредственное определение которых возможно только в некоторых случаях для двойных звёзд. Массы остальных звёзд находят по наблюдаемым и теоретическим соотношениям масса–светимость. Массы галактик находят по скоростям их вращения, определяемым по эффекту Доплера.

МАССЫ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ (методы определения и характерные значения). В основе определения масс небесных тел лежит закон всемирного тяготения, выражаемый формулой:

$$F=GM_1M_2/r^2,$$

где F – сила взаимного притяжения масс M_1 и M_2, пропорциональная их произведению и обратно пропорциональная квадрату расстояния r между их центрами. В астрономии часто (но не всегда) можно пренебречь размерами самих небесных тел по сравнению с разделяющими их расстояниями, отличием их формы от точной сферы и уподоблять небесные тела материальным точкам, в которых сосредоточена вся их масса. Коэффициент пропорциональности $G=6{,}674\cdot10^{-8}$ $см^3г^{-1}с^{-2}=6{,}674\cdot10^{-11}$ $м^3г^{-1}с^{-2}=6{,}674\cdot10^{-11}$ $Н(м/кг)^2$ называется (ньютоновой) гравитационной постоянной или просто постоянной тяготения. Её находят из физического эксперимента с крутильными весами, позволяющими определить силу гравитационного взаимодействия тел известной массы.

В случае свободного падения тел сила F, действующая на тело, равна произведению массы тела M на ускорение свободного падения g. Ускорение g может быть определено, например, по периоду T колебаний вертикального маятника: $T=2\pi(l/g)^{1/2}$, где l – длина маятника. На широте 45° на уровне моря $g=9{,}806$ $м/с^2$. Подстановка выражения для сил земного притяжения $F=Mg$ в закон всемирного тяготения приводит к зависимости

$$g=GM_\oplus/R_\oplus^2,$$

где $M_\oplus$ – масса Земли, а $R_\oplus$ – радиус земного шара. Таким путём была определена масса Земли $M_\oplus\approx6{,}0\cdot10^{27}$ г. Измерение массы Земли служит первым звеном в цепи определений масс других небесных тел (Солнца, Луны, планет, а затем и звёзд). Массы этих тел находят, опираясь либо на 3-й закон Кеплера, либо на «правило рычага»: расстояния каких-либо масс от общего центра масс обратно пропорциональны самим массам. Это правило позволяет определить массу Луны.

Из измерений точных координат планет и Солнца найдено, что Земля и Луна с периодом в один месяц движутся вокруг барицентра – центра масс системы Зем-

ля–Луна. Расстояние центра Земли от барицентра равно $0{,}730\,R_\oplus$ (он расположен внутри земного шара). Среднее расстояние центра Луны от центра Земли составляет $60{,}08\,R_\oplus$. Отсюда отношение расстояний центров Луны и Земли от барицентра равно $^1/_{81{,}3}$. Поскольку это отношение обратно отношению масс Земли и Луны, масса Луны $M_\text{Л} = M_\oplus/81{,}3 \approx 7{,}35\cdot10^{22}$ кг.

Массу Солнца можно определить, применив 3-й закон Кеплера к движению Земли (вместе с Луной) вокруг Солнца и движению Луны вокруг Земли:

$$a_\oplus^3/[T_\oplus^2(M_\odot + M_\oplus)] = a_\text{Л}^3/[T_\text{Л}^2(M_\oplus + M_\text{Л})],$$

где a – большие полуоси орбит, T – периоды обращения (сидерические, т. е. звёздные). Пренебрегая $M_\oplus$ по сравнению с $M_\odot$, получим отношение $M_\odot/(M_\oplus + M_\text{Л})$, равное 329 390. Отсюда $M_\odot \approx 2\cdot10^{30}$ кг, или около $3{,}3\cdot10^5\,M_\oplus$.

Аналогичным путём определяют массы планет, имеющих спутники. Массы планет, не имеющих спутников, определяют по возмущениям, которые они оказывают на движение соседних с ними планет. Теория возмущённого движения планет позволила заподозрить существование тогда неизвестной планеты Нептун, найти её массу и предсказать положение на небе.

Массу звезды (помимо Солнца) можно определить с высокой надёжностью только в том случае, если она является компонентом визуально-двойной звезды, расстояние до которой известно. В этом случае 3-й закон Кеплера даёт сумму масс компонентов (в единицах $M_\odot$):

$$M_1 + M_2 = (a''/p'')^3\,P^{-2},$$

где a'' – большая полуось (в секундах дуги) истинной орбиты спутника вокруг главной (обычно более яркой) звезды, которую в этом случае считают неподвижной, P – период обращения в годах, p'' – параллакс системы (в секундах дуги). Величина a''/p'' даёт большую полуось орбиты в а. е. Если можно измерить угловые расстояния ρ компонентов от общего центра масс, то их отношение даст величину, обратную отношению масс: $\rho_1/\rho_2 = M_2/M_1$. Найденная сумма масс и их отношение позволяют получить массу каждой звезды в отдельности. Если компоненты двойной имеют примерно одинаковый блеск и сходные спектры, то полусумма масс $(M_1 + M_2)/2$ даёт верную оценку массы каждого компонента и без дополнительного определения их отношения.

Для других типов двойных звёзд (затменных двойных и спектральных двойных) имеется ряд возможностей приблизительно определить массы звёзд или оценить их нижний предел. Совокупность данных о массах компонентов двойных звёзд позволила обнаружить важную статистическую зависимость между их массами и светимостями (см. *Зависимость масса–светимость*). Она даёт возможность оценивать массы одиночных звёзд по их светимостям, иначе говоря, по их абсолютным звёздным величинам (M), которые определяются по формуле:

$$M = m + 5 + 5\lg p - A(r),$$

где m – видимая звёздная величина, p – параллакс и $A(r)$ – величина межзвёздного поглощения света в данном направлении до расстояния $r \approx 1/p$.

Если параллакс звезды не измерен, то приближённое значение абсолютной звёздной величины можно определить по её спектру. Для этого необходимо, чтобы спектрограмма позволяла не только узнать спектральный класс звезды, но и оценить относительные интенсивности некоторых пар спектральных линий, чувствительных к «эффекту абсолютной величины». Иначе говоря, сначала необходимо определить класс светимости звезды – принадлежность к одной из последовательностей на диаграмме спектр–светимость (диаграмма Герцшпрунга–Рассела), а по классу светимости – её абсолютную величину. По полученной таким образом абсолютной величине можно найти массу звезды, воспользовавшись зависимостью масса–светимость (этой зависимости не подчиняются лишь белые карлики, коричневые карлики и нейтронные звёзды).

Ещё один метод оценки массы звезды связан с измерением гравитационного красного смещения спектральных линий в её поле тяготения. В сферически-симметричном поле тяготения оно эквивалентно доплеровскому красному смещению $\Delta v_r = 0{,}635\,M/R$, где M – масса звезды в единицах массы Солнца, R – радиус звезды в единицах радиуса Солнца, а Δv_r выражено в км/с. Это соотношение установлено по тем белым карликам, которые входят в состав двойных систем. Для них известны радиусы, массы и истинные лучевые скорости v_r, являющиеся проекциями орбитальной скорости.

Невидимые (тёмные) спутники обнаруживаются около некоторых звёзд, как правило, по наблюдённым колебаниям лучевой скорости (v_r) звезды, связанным с её движением около общего центра масс. Этот метод особенно эффективен для обнаружения экзопланет. Измерив амплитуду и период колебания v_r и определив по зависимость масса–светимость массу звезды, нетрудно оценить и массу невидимого спутника. К сожалению, эффект Доплера чувствителен лишь к лучевой скорости звезды, т. е. к проекции полного вектора её скорости на луч зрения наблюдателя (прямая, соединяющая наблюдателя со звездой). Поэтому скорость движения звезды, а значит, и масса планеты определяются с точностью до множителя $\cos\alpha$, где α – угол между плоскостью орбиты планеты и лучом зрения наблюдателя. Вместо точного значения массы планеты (M_p) доплеровский метод даёт лишь нижнюю границу её массы ($M_p \cos\alpha$). Обычно угол α неизвестен. Лишь в тех случаях, когда наблюдаются прохождения планеты по диску звезды, можно быть уверенным, что α близок к нулю. Но у доплеровского метода есть два важных преимущества: он работает на любых расстояниях (если получен спектр), и его точность не зависит от расстояния.

Наблюдения показали, что массы звёзд заключены в пределах примерно от 0,1 до 150 $M_\odot$. Наибольшее количество звёзд имеет массы от 0,3 до 3 $M_\odot$. Средняя масса звёзд в ближайших окрестностях Солнца $\approx 0{,}5\,M_\odot$, т. е. $\approx 10^{30}$ кг. Различие в массах звёзд оказывается много меньшим, чем их различие в светимостях (последнее может достигать десятков миллионов). Сильно различаются и радиусы звёзд. Это приводит к разительному различию их средних плотностей: от $5\cdot10^{-5}$ до $3\cdot10^5$ г/см^3 (средняя плотность Солнца 1,4 г/см^3).

Расчёты показывают, что при массе менее примерно $0{,}1\,M_\odot$ температура в недрах космического тела не достигает тех значений, при которых активно протекают термоядерные реакции, способные длительное время поддерживать свечение тела. Однако и такие объекты обнаружены; их называют коричневыми (или бурыми) карликами. Некоторое время они светятся за счёт гравитационного сжатия, но затем быстро остывают. Их массы заключены в диапазоне примерно от 0,01 до $0{,}1\,M_\odot$. Ещё менее массивные объекты называют планетами; в их недрах термоядерные реакции вообще не протекают.

Массу рассеянного звёздного скопления можно определить, сложив массы всех его членов, светимости которых определяют по их видимому блеску и расстоянию до скопления, а массы – по зависимости масса–светимость. Массу шарового звёздного скопления далеко не всегда можно оценить путём подсчёта звёзд, так как в центральной области большинства таких скоплений изображения отдельных звёзд на фотографиях, полученных с оптимальной экспозицией, сливаются в одно светящееся пятно. Есть методы оценки общей массы всего скопления, основанные на статистических принципах. Так, например, применение теоремы о вириале позволяет оценить массу скопления $M_\text{ск}$ (в $M_\odot$) по радиусу скопления r (пк) и средне квадратичному отклонению $\Delta v_\text{ср}^2$ лучевой скорости отдельных звёзд (в км/с) от среднего её значения (т. е. от лучевой скорости скопления как целого): $M_\text{ск} \approx 800\,\Delta v_\text{ср}^2\,r$.

Метод определения массы Галактики M_Γ исходит из факта вращения Галактики. Устойчивость вращения позволяет предположить, что центростремительное ускорение для каждой звезды, в част-

ности для Солнца, определяется притяжением вещества Галактики в пределах солнечной орбиты. Считая, что Солнце движется практически по круговой орбите, а распределение плотности в Галактике близко в сферически симметричному, легко найти скорость движения Солнца: $V_0 = (GM_0/R_0)^{1/2}$, где M_0 – масса Галактики внутри орбиты Солнца, R_0 – расстояние Солнца от центра Галактики. Тогда масса $M_0 = V_0^2 R_0/G$. Астрономические измерения показывают, что $V_0 \approx 220$ км/с и $R_0 \approx 8$ кпк. Отсюда $M_0 \approx 9 \cdot 10^{10}\ M_\odot$. Определить массу внешних по отношению к галактической траектории Солнца частей Галактики помогает измерение скоростей движения далёких от её центра звёзд и облаков межзвёздного газа. Оказывается, что вплоть до расстояния около 18 кпк от центра Галактики скорости их движения по круговым орбитам остаются приблизительно такими же, как у Солнца. Следовательно, масса Галактики в этих пределах составляет около $2 \cdot 10^{11}\ M_\odot$. На более далёких расстояниях звёзд и газа уже почти нет, однако масса Галактики продолжает возрастать вплоть до $R \approx 100$ кпк. На это указывает движение небольших галактик-спутников, обращающихся вокруг нашей Галактики. Их скорости составляют около 200 км/с, откуда следует, что полная масса Галактики близка к $10^{12} M_\odot$. В какой именно форме заключена невидимая масса на периферии Галактики, пока не ясно. Условно носитель этой «скрытой» массы называют «тёмной материей».

Масса внешней спиральной галактики может быть определена по результатам изучения её вращения, например из анализа кривой лучевых скоростей, измеренных в различных точках большой оси видимого эллипса галактики. В каждой точке галактики центростремительная сила пропорциональна массе более близких к центру галактики областей и зависит от закона изменения плотности галактики с удалением от её центра. Спектроскопические наблюдения в оптическом диапазоне позволили построить кривые вращения спиральных галактик до расстояний 20–25 кпк от центра (а у ряда галактик высокой светимости до 40 кпк и более). Вплоть до этих расстояний круговая скорость у большинства крупных галактик не уменьшается с увеличением R, т. е. масса галактики продолжает расти с расстоянием. Таким образом, в других галактиках тоже имеется скрытая масса, которая в 10 и более раз может превосходить массу светящегося вещества. Предположительно носителем скрытой массы могут служить элементарные частицы неизвестного пока типа.

Для медленно вращающихся галактик, какими являются, например, эллиптические галактики, трудно получить кривые лучевых скоростей, но зато можно по расширению спектральных линий оценить среднюю скорость звёзд в системе и, сопоставив её с истинными размерами галактики, определить её массу. Чем больше скорость звёзд, тем больше должна быть масса галактики (при одинаковых размерах). Зависимость между массой, размерами галактики и средней скоростью звёзд вытекает из условия стационарности системы.

Ещё один способ оценки массы галактик – компонентов двойных систем аналогичен методу оценки масс компонентов спектральных двойных звёзд (ошибка не превышает 20%). Используют также установленную статистическую зависимость между массой и интегральной светимостью галактик различного типа (своего рода зависимость «масса–светимость» для галактик). Светимость определяется по видимой интегральной звёздной величине и расстоянию, которое оценивается по красному смещению линий в спектре. Средняя масса галактик, входящих в скопление галактик, оценивается по числу галактик скопления и его общей массе, которую статистически определяют по дисперсии лучевых скоростей галактик, подобно тому как оценивается общая масса звёздного скопления на основе теоремы о вириале.

Известные ныне массы галактик заключены в пределах от $\sim 10^5\ M_\odot$ (т. н. карликовые галактики) до $10^{13}\ M_\odot$ (гигантские эллиптические галактики; например, галактика M87 имеет массу $6 \cdot 10^{12}\ M_\odot$ в пределах радиуса 50 кпк), т. е. отношение масс галактик доходит до 10^8.

Точность определения масс астрономических объектов зависит от точности определения всех величин, входящих в соответствующие формулы. Массы Земли, Луны, планет и Солнца определены с погрешностью ±0,01%. Погрешность определения их масс зависит лишь от точности лабораторного измерения гравитационной постоянной G, поскольку все остальные величины, входящие в формулы, т. е. расстояния и периоды, измерены значительно точнее. Но за пределом Солнечной системы ситуация иная: там точность определения массы зависит от точности измерения расстояния до космического объекта, в случае двойных звёзд – от расстояния между ними, от линейных размеров тел и т. д. Массы звёзд определены с погрешностью от 20 до 60%. Неуверенность определения масс галактик можно характеризовать коэффициентом от 2 до 4 (т. е. истинная масса может быть в несколько раз больше или меньше измеренной), если надёжно определено расстояние до них.

МАУНДЕР, Эдуард Уолтер (Maunder, Edward Walter) (12.04.1851, Лондон – 21.03.1928) – английский астроном. С 1873 г. работал в Гринвичской обсерватории. Проводил фотографические наблюдения Солнца, изучал пятна, вращение Солнца и его связь с геомагнитными возмущениями. Собрал доказательства о существовании периода очень низкой активности Солнца между 1645 и 1715 гг. (так называемый «маундеровский минимум»). Вместе со своей женой Энни Маундер изучал эффект систематического перемещения области формирования солнечных пятен со средних широт Солнца к его низким широтам в течение каждого 11-летнего цикла активности Солнца. Миграцию мест рождения пятен по широте заметил ещё Х. Шейнер (1575–1650), описал Р. К. Кэррингтон (1826–1875), детально проследили Р. Вольф (1816–1893) и Г. Шпёрер (1822–1895), а сама закономерность изменения широты солнечных пятен с фазой солнечного цикла известна как «закон Шпёрера». В 1904 г. Маундер опубликовал важную диаграмму («бабочка Маундера»), выявляющую миграцию солнечных пятен по широте в течение солнечного цикла. Маундер также спектроскопически исследовал планеты, кометы, новые звёзды, туманности. Организовал Британскую астрономическую ассоциацию, возглавлял в ней секцию Марса; считал, что марсианские каналы образованы случайными, не связанными между собой мелкими деталями на поверхности.

МАУНДЕРОВСКИЙ МИНИМУМ – период очень низкой активности Солнца между 1645 и 1715 гг., когда на диске Солнца почти не было пятен. Это явление впервые описал английский астроном Э. У. Маундер. Хотя солнечные пятна были открыты в 1610 г. и систематически наблюдались даже в самые первые, примитивные телескопы, в период маундеровского минимума было лишь несколько сообщений об их появлении, и каждый раз опытные наблюдатели воспринимали это как редчайшее событие. Бывали периоды в несколько лет, когда не появлялось ни одного пятна. После 1715 г. их количество вновь возросло. Любопытно, что в это же время наблюдались сильные холода: период с 1550 г. до 1850 г. известен как Малый ледниковый период в Европе. Правда, пока нет доказательств его физической связи с маундеровским минимумом солнечной активности.

МАЧО-ОБЪЕКТЫ – сленговый термин, использующий аббревиатуру английского выражения «Massive Compact Halo Objects» (MACHO), т. е. «массивные компактные объекты гало». Так называют астрономические объекты, практически невидимые в оптическом и иных диапазонах электромагнитного излучения и проявляющие себя почти исключительно своим гравитационным притяжением. Гипотеза о существовании большого количества таких объектов в нашей Галактике (в

основном на её периферии – в гало) и в других крупных галактиках выдвигалась для объяснения парадокса «скрытой массы». Он состоит в том, что движение легко наблюдаемых звёзд и газа позволяет вычислить полную массу Галактики, которая оказывается значительно – в несколько раз – больше суммарной массы всех этих наблюдаемых звёзд и газа и требует наличия некой «тёмной материи».

Одно время на роль этой тёмной материи предлагались небесные тела известной природы, излучающие мало света. К ним, в частности, относятся планеты-гиганты (размером с Юпитер и больше), коричневые карлики (звёзды с весьма непродолжительной стадией термоядерного горения), красные карлики (слабосветящиеся звезды), нейтронные звёзды (звёздные ядра, пережившие катастрофическое сжатие – коллапс, и состоящие из нуклонной материи) и чёрные дыры. Все они состоят из обычного барионного вещества и не требуют расширения существующих физических теорий. Однако астрономические наблюдения (см. *Микролинзирование*) показывают, что, хотя все эти «мачо-объекты» существуют в природе, но в явно недостаточном количестве, чтобы их наличием можно было полностью объяснить парадокс скрытой массы. Например, в гало Галактики лишь около 20% тёмной материи может быть в форме мачо-объектов с массами от 15 до 90% массы Солнца. Поэтому большинство теоретиков считает, что основу скрытой массы галактик составляют элементарные частицы нового типа, слабо взаимодействующие с нормальным веществом – почти лишь только через гравитацию. Тем не менее поиск этих частиц ведётся в подземных и космических лабораториях.

МАШИНА ВРЕМЕНИ – гипотетическое устройство, с помощью которого можно путешествовать в будущее или в прошлое. До недавних пор эта идея присутствовала только в произведениях фантастов, однако в последние годы специалисты по общей теории относительности начали обсуждать возможность создания машины времени с использованием сложной топологии пространства-времени.

МЕГАКЛИТЕ (J XIX, Megaclite) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2000). Большая полуось орбиты 24 687 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 792 сут. Эксцентриситет орбиты 0,31. Наклонение орбиты к эклиптике 153°. Диаметр 5 км. Альбедо около 4%. Блеск 21,7^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°56′26″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

МЕГАПАРСЕК – единица измерения расстояния, равная одному миллиону парсеков, или 3,26 млн св. лет.

МЕЖГАЛАКТИЧЕСКАЯ (МЕЖЗВЁЗДНАЯ, МЕЖПЛАНЕТНАЯ) СРЕДА – вещество, космическое излучение, электрические, магнитные и гравитационные поля в межгалактическом (межзвёздном, межпланетном) пространстве.

МЕЖГАЛАКТИЧЕСКАЯ СРЕДА включает разреженный ионизованный газ, космические лучи, нейтрино, кванты электромагнитного излучения (главным образом реликтового излучения) и другие виды материи (например, тёмную материю неизвестной природы), заполняющую пространство между галактиками. От средней плотности межгалактической среды зависит характер эволюции (расширения) Вселенной, однако точное значение этой плотности ещё не определено (оно меньше $2 \cdot 10^{-30}$ г/см^3). В скоплениях галактик плотность межгалактической среды повышена, а температура межгалактического газа там составляет ~10^8 К.

МЕЖГАЛАКТИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО – космическое пространство между галактиками и скоплениями галактик. Границы между внутригалактическим и межгалактическим пространством определяются весьма условно, поскольку плотность вещества в галактиках (звёзд и межзвёздного газа) постепенно сходит на нет и обычно не имеет чёткого обрыва. Кроме того, крупные галактики обычно окружены небольшими спутниками, орбиты которых могут занимать обширную область, сравнимую с расстояниями до соседних крупных галактик. Поэтому граница межгалактического пространства в каждом конкретном исследовании определяется исходя из тех критериев, которые имеют значение для данного исследования.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НЕБЕСНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЁТА – современная стандартная система небесных координат, похожая на систему экваториальных координат, но, в отличие от неё, не связанная с положением оси вращения Земли. Экваториальная система координат верой и правдой служила астрономам более трёхсот лет, но недавно от неё пришлось отказаться. К сожалению, основные направления экваториальной системы не остаются неизменными: ось вращения Земли и плоскость земной орбиты медленно меняют ориентацию. Поэтому экваториальные координаты звёзд медленно изменяются, даже если сами звёзды неподвижны. Но ведь звёзды движутся, и как раз одна из главных целей, ради которой устанавливают систему координат, – это измерение движений звёзд. Если же сама система координат подвижна, причём не всегда предсказуемым образом, то измерять в ней малые движения звёзд становится очень сложно. Поэтому астрономы всегда стремились построить «идеальную» систему координат, связанную с такими небесными телами, которые можно считать неподвижными.

Такие тела нашлись. Это квазары, самые удалённые небесные объекты. Их видимые перемещения на небесной сфере пренебрежимо малы. Даже если квазар движется перпендикулярно лучу зрения со скоростью света (!), то, находясь от нас на расстоянии в миллиард световых лет, он перемещается по небу на $2 \cdot 10^{-4}$ секунды дуги в год. Такое движение пока нельзя обнаружить. Есть и ещё одна выгода: квазары излучают радиоволны, и их можно наблюдать методами радиоастрономии. Точность измерения углов радиоинтерферометрами в настоящее время значительно выше точности оптических измерений.

Современная «стандартная система координат» уже не связана с вращением Земли вокруг оси и её движением вокруг Солнца. Но астрономы постарались, чтобы стандартная и экваториальная системы были близки хотя бы в нашу эпоху, поэтому они в точности совпадали в начале 2000 г. Официальное название новой системы – International Celestial Reference System (международная небесная система отсчёта), сокращённо ICRS. Под этим названием подразумеваются правила построения системы. Конкретный набор квазаров с их координатами называют международным небесным базисом, International Celestial Reference Frame, ICRF. Это реализация ICRS. По мере накопления более точных наблюдений реализация может быть обновлена. Заметим: впервые за почти трёхтысячелетнюю историю основная систем небесных координат оказалась не связана с Землёй. Это знаменует новый и очень важный этап в развитии астрометрии.

На координаты звёзд в системе ICRS не влияет движение земной оси (прецессия и нутация), а также изменение ориентации земной орбиты под действием притяжения планет (так называемая планетная прецессия, вносящая вклад в перемещение точки весеннего равноденствия). В системе ICRS изменение координат звёзд связано лишь с их собственным движением в пространстве и с аберрацией.

Теперь для определения координат звёзд в конкретный момент наблюдения не потребуется вводить всевозможные поправки: за прецессию, за нутацию... Это очень удобно при наблюдениях, например, с космическим телескопом. Но, проводя наблюдения с земной поверхности, нужно будет помнить, что телескоп установлен на подвижной Земле, которая обращается вокруг Солнца и вокруг

оси, причём сама эта ось меняет ориентацию. Так что для определения видимых мест небесных светил в конкретный момент времени земному наблюдателю, чтобы навести на звезду телескоп, все равно придётся вводить большинство традиционных поправок (прецессия, нутация, вращение Земли, годичная и суточная аберрации...). Но в целом астрономы существенно выигрывают при переходе от экваториальной системы к системе ICRS.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ СОЮЗ — международная организация, объединяющая профессиональных астрономов от уровня кандидата наук (PhD) и выше и координирующая мировую астрономическую деятельность. Международный астрономический союз (МАС, International Astronomical Union, IAU) был основан в 1919 г., в настоящее время его штаб-квартира расположена в Париже. В составе МАС чуть более 10 тыс. индивидуальных членов из 87 стран, причём 64 страны являются его национальными членами. Каждые три года МАС проводит Генеральную ассамблею, как правило, в странах с высокой астрономической активностью. Сессия Генеральной ассамблеи МАС собирает вместе многих специалистов из разных стран, поэтому ей обычно сопутствуют параллельные специализированные конференции, симпозиумы и коллоквиумы по широкому кругу астрономических проблем. В то же время МАС оказывает помощь в проведении многочисленных конференций и симпозиумов во всех странах в периоды между ассамблеями. МАС имеет постоянные комиссии по всем разделам астрономии, и активные исследователи, как правило, входят в комиссии соответствующего профиля. В компетенцию МАС входит присвоение названий вновь открываемым объектам (планетам, кометам, астероидам, новым звездам), а также деталям на поверхностях планет и их спутников. МАС координирует работу Центрального бюро астрономических телеграмм и Центра малых планет. МАС оказывает поддержку многим странам в области астрономического образования. Одним из крупнейших международных событий, организованных МАС за последние годы, стал Международный год астрономии 2009.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД АСТРОНОМИИ 2009 (International Year of Astronomy, IYA 2009) — международное просветительское мероприятие, организованное с целью популяризации астрономии. Формальным поводом для его проведения стал 400-летний юбилей создания Галилеем в 1609 г. первого телескопа. Кроме того, в 2009 г. состоялись запуски крупных космических и наземных обсерваторий, а также важные эксперименты по исследованию планет (например, поиск воды на Луне, увенчавшийся успехом). Кроме того, 22 июля 2009 г. произошло солнечное затмение, очень удобное для наблюдения и самое продолжительное в этом столетии. Поэтому Международный астрономический союз (МАС) в 2006 г. проявил инициативу, поддержанную ЮНЕСКО (Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры), и 19 декабря 2007 г. 62-я Генеральная ассамблея ООН объявила 2009 год Международным годом астрономии (МГА-2009).

Официальное участие в мероприятиях МГА приняли 143 страны. Задолго до начала МГА начали работать национальные комитеты по его проведению; в России такой комитет возглавил академик РАН А. А. Боярчук. Церемония открытия МГА прошла 15–16 января 2009 г. в парижской штаб-квартире ЮНЕСКО. Среди событий этого года было несколько тысяч локальных и региональных, подробно описанных на официальном сайте и национальных сайтах МГА. Было подготовлено 28 глобальных проектов, к осуществлению которых приглашались все астрономические учреждения мира. Из числа этих проектов особо выделили 12 «краеугольных».

100 часов астрономии. Цель — позволить публике в апреле 2009 г. посмотреть в телескоп на самые впечатляющие космические объекты; в основном это Солнце, Луна и планеты.

Галилеоскоп. Создание и распространение простого, но качественного телескопа, дешёвого и доступного для широкой публики. Такой телескоп действительно был создан и поступил в продажу.

Космический дневник. Фактически это блоги астрономов. Более 60 блогеров — профессиональных учёных из разных стран и организаций, включая ESO, NASA, ESA, JAXA, — регулярно писали (и продолжают писать после окончания МГА) о своей жизни, работе, семье, хобби и проблемах, с которыми они сталкиваются. В «космических дневниках» встречаются и небольшие популярные статьи, эссе, отчёты о работе. Но в большей степени они посвящены не собственно астрономии как науке, а тому, что значит быть астрономом, описанию повседневной жизни учёного. Проект оказался весьма популярным: за год эти блоги посетило более четверти миллиона человек. Итогом проекта станет книга, в которой будут собраны популярные рассказы учёных о тех областях астрономии, которым они служат.

Она астроном. Программа направлена на решение проблемы неравенства полов в астрономии. Астрономия как профессия и как хобби относится к числу наук, привлекательных для женщин. В среднем в мире около четверти профессиональных астрономов — женщины. Есть страны, где среди астрономов более половины составляют женщины, но в некоторых странах в этой профессии женщин вообще нет. Так что проблема существует. Для её решения организуются конференции, публикуются книги и статьи о выдающихся женщинах-астрономах.

Сбор данных о качестве ночного неба. Силами энтузиастов осуществлялась глобальная оценка степени запылённости и светового «загрязнения» ночного неба и, как итог, выявление мест, наиболее благоприятных для наблюдений, — своеобразных «астрономических заповедников». Одной из задач, стоявших перед МГА, была широкая информация о световом загрязнении, т. е. о неоправданно сильной засветке ночного неба, в особенности над городами. Избыточное ночное освещение не только приводит к напрасному расходу электроэнергии и мешает работать астрономам, но и лишает всех людей радости созерцания Вселенной. В рамках проекта «Тёмное небо» подошли к данному вопросу практически: энтузиасты по всему миру провели подсчёты звёзд в определённых участках неба, осуществив в сумме более 20 тыс. измерений, сравнили результаты и выяснили, где самое тёмное и чистое небо — откуда лучше всего видна Вселенная. Как и ожидалось, из больших городов она порой вовсе не видна.

Астрономия и всемирное наследие. Идентификация памятников науки и их защита. Крупнейшим мероприятием этой программы стала конференция ЮНЕСКО «Астрономия и всемирное наследие: через время и континенты», прошедшая 22–24 августа 2009 г. в Казани. Одной из основных её целей было обсуждение возможной роли астрономических и археоастрономических памятников России в исследовании мирового исторического наследия.

Программа подготовки преподавателей. Среди астрономов мало исследователей, не занятых преподаванием или популяризацией науки. Поэтому важен непрерывный обмен материалами и широкое распространение лучших из них. В этой программе участвовало 75 стран, причём 17 развивающихся стран получили гранты для стимулирования астрономического образования и популяризации астрономии. Эта работа включает проведение учебных семинаров для учителей; поиск, сохранение и предоставление общественности записей об астрономических знаниях коренных народов; производство и выпуск материалов для школьного астрономического образования на местных языках и т. п.

Осознание Вселенной. Привлечение внимания детей, живущих в неблагоприятных условиях, к красоте и величию Вселенной. Важнейшая задача этой программы — раннее развитие любознательности у детей, испытывающих информационный голод, живущих в среде с ограничен-

ными интересами. Полезная программа для развивающихся стран.

С Земли во Вселенную. Выставки эффектных астрономических фотографий и инсталляций, развернутые для широкой публики в людных и, как правило, нетрадиционных местах: общественных садах и парках, музеях, торговых центрах и даже станциях метро. Так, в Швеции была представлена самая большая в мире модель Солнечной системы – с «Солнцем» в центральной части Стокгольма и «планетами», распределёнными по всей территории страны. Ряд станций Парижского метро были украшены астрономическими изображениями, что позволило любоваться ими миллионам пассажиров. Менее масштабные астрономические выставки были организованы во многих городах мира: на бульварах и площадях, в холлах гостиниц и муниципальных знаний. Функционировала такая выставка и в Москве, в холле выставочного центра «Крокус Экспо». А в рамках проекта «Мир ночью» публике были представлены коллекции великолепных фотографий, запечатлевших земные ландшафты со звёздным небом на заднем плане.

Глобальное развитие астрономии. В рамках этого проекта астрономы стремились продвинуть науку о Вселенной во все сферы, где она может быть востребована: в профессиональную (университеты, научные исследования), публичную (общение в сетях, СМИ, любители астрономии) и образовательную (на уровне средней школы). Задача – развивать астрономию там, где её ещё нет.

Ночи Галилея. Это повторение проекта «100 часов астрономии», но уже в октябре. Оба они в общей сложности собрали более 3 млн человек, большинство из которых впервые в жизни получили возможность посмотреть в телескоп. Эти проекты хорошо дополнила программа «Вокруг света с 80 телескопами»: 24-часовая интернет-трансляция из наземных и космических астрономических обсерваторий мира. Она дала возможность как минимум 200 тыс. человек получить представление о научно-исследовательской деятельности обсерваторий. В России самый длинный «астромарафон» организовал Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ), на весь сентябрь открывший свои двери для желающих посмотреть в телескопы и послушать рассказы о Вселенной. Институт посетило около 10 тыс. человек. Эти и другие мероприятия МГА-2009 для посетителей были бесплатными.

Дверь во Вселенную – крупнейший интернет-проект в рамках МГА-2009. Это агрегатор ресурсов, т. е. всемирный портал, содержащий важнейшую текущую астрономическую информацию для достаточно искушённой публики, для журналистов и любителей астрономии, а также для поддерживающих широту своего кругозора профессиональных астрономов.

Церемония закрытия МГА-2009 прошла в Университете г. Падуя (Италия) 9–10 января 2010 г. Проведение Международного года астрономии потребовало от специалистов многих стран немалого напряжения сил и длительного отрыва от своей научной работы. В мероприятиях МГА участвовало большинство профессиональных астрономов и армия любителей. На 99% это была общественная работа, бесплатная для её участников. В основном всё делалось «на голом энтузиазме».

По признанию специалистов, «Международный год астрономии 2009» стал крупнейшим в истории культурно-просветительским мероприятием. Чтобы приобретённый опыт не пропал, астрономы решили продолжить свою просветительскую работу и осуществить в 2010–2020 гг. программу «Астрономия для развивающегося мира», захватив ею 100-летие МАС, учреждённого в 1919 г. Ежегодный бюджет этой программы – около 1 млн евро. Следовательно, основным двигателем программы остаётся энтузиазм.

МЕЖЗВЁЗДНАЯ ПЫЛЬ – твёрдые микроскопические частицы, входящие в состав межзвёздной среды и в основном ответственные за межзвёздное поглощение света. Размер частиц межзвёздной пыли от 0,01 до 0,2 мкм (т. е. она значительно мельче обычной бытовой пыли). Вероятно, космические пылинки имеют тугоплавкое ядро (графитовое, силикатное или металлическое), окружённое органическим веществом или ледяной оболочкой.

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СВЯЗЬ – связь с внеземными цивилизациями, которые, возможно, существуют на планетах вблизи других звёзд. Их поиск предпринимается учёными Канады, России, США и других стран. Этот поиск основан на попытках зарегистрировать радиосигналы или оптические сигналы цивилизаций, возможно, существующих в нашей Галактике или в соседних звёздных системах.

В Галактике около 200 млрд звёзд, среди которых около 10% – это звёзды солнечного типа. Судя по результатам поиска экзопланет, не менее 20% из них имеют планетные системы, причём в среднем в каждой третьей системе есть планета с условиями, в принципе пригодными для развития жизни. Лабораторные биохимические эксперименты показывают, что при благоприятных условиях простые вещества быстро переходят в органическую форму, что может приводить к зарождению жизни. Биологическая эволюция и борьба за существование в условиях ограниченных пищевых и энергетических ресурсов почти наверняка приводят к возникновению разумных существ и технической цивилизации. Такие рассуждения приводят к нас к приблизительной оценке: каждые 15–20 лет в Галактике должна появляться одна новая техническая цивилизация.

Значительно сложнее оценить, как долго такая цивилизация будет оставаться на том уровне развития, который позволит нам зарегистрировать её. Сейчас мы способны регистрировать на межзвёздных расстояниях сигналы телевизионных станций и мощных радаров. Но очевидно, что каждая цивилизация излучает такие сигналы лишь на коротком отрезке своей истории. Развитие техники быстро делает ненужными столь расточительные способы связи. Не прошло и 100 лет после открытия радиоволн, а наша земная цивилизация начала переход от радиосвязи к значительно более экономичной кабельной, лазерной и оптоволоконной связи. А если мы предотвратим возможность войны, то и мощные радары скоро исчезнут. Таким образом, земная цивилизация была «радиогромкой» менее века. Конечно, наша цивилизация – не пример для остальных. Но всё же можно предположить, что в истории любой цивилизации период её высокой активности в радиодиапазоне, когда её можно заметить на межзвёздных расстояниях, длится от 100 до 1000 лет.

Из сделанных выше оценок следует, что в Галактике сейчас могут существовать десятки цивилизаций, с которыми в принципе можно установить радиоконтакт. При этом среднее расстояние между ними составляет десятки тысяч световых лет. Нельзя даже мечтать о том, чтобы человек мог посетить их с помощью космических аппаратов. Ведь для этого пришлось бы разгонять аппараты почти до скорости света. Хотя законами физики это не запрещено, даже с помощью термоядерных двигателей такие полёты потребовали бы невероятных затрат. Значительно проще, быстрее и дешевле установить с «братьями по разуму» электромагнитную связь: радио- или оптическую. Например, с помощью современных радаров, используемых для радиолокации космических аппаратов и планет, можно почти без затрат послать известие другой цивилизации, удалённой от нас на многие тысячи световых лет.

Экономические оценки показывают, что выгоднее всего устанавливать межзвёздную связь на волне длиной около 10 см. У более коротких волн каждый электромагнитный квант, переносящий единицу информации, имеет бóльшую энергию, а значит, дороже стоит. А на более длинных волнах естественное излучение межзвёздной среды Галактики создаёт такие сильные помехи, что для их преодоления необходимо значительно увеличивать мощность передаваемого сигнала.

По этой причине почти все прошлые и нынешние программы по поиску внеземных цивилизаций предпринимались с помощью радиотелескопов. В первой из них, осуществлённой в 1960 г. Национальной радиоастрономической обсерваторией Грин-Бэнк (шт. Западная Виргиния, США), пытались принять радиосигналы от ближайших к Солнцу звёзд. К концу 1970-х гг. в Грин-Бэнк было обследовано около 700 звёзд Галактики. Подобные поиски проводились также в радиообсерваториях Алгонкин (Канада), Огайского университета (США), а также вблизи Москвы и Нижнего Новгорода. Поиск сигналов от ближайших галактик предпринимался с помощью крупнейшего в мире радиотелескопа в Аресибо на о. Пуэрто-Рико. В 1992 г. была начата программа поиска внеземных сигналов, расчитанная на 10 лет. Поиск вёлся на двух уровнях: радиоантенна диаметром 34 м в пустыне Мохаве (Калифорния) проводила систематический обзор всего неба, полоса за полосой, наблюдая одновременно множество звёзд, а гигантская антенна диаметром 305 м в Аресибо пыталась зафиксировать сигналы от индивидуальных звёзд.

Если в 1960-е и 1970-е гг. поиски проводились лишь на одной длине волны (21 см либо 18 см), то теперь приём сигнала ведётся одновременно в десятках миллионов и даже нескольких миллиардах узких частотных диапазонов, что значительно увеличивает эффективность поиска. И все же при нынешней радиоастрономической технике есть шанс зафиксировать сигналы только очень близких или очень энергетически мощных цивилизаций.

Для увеличения эффективности поиска нужны значительно более крупные радиотелескопы, чувствительные приёмники и мощные компьютеры. Такая система — проект «Циклоп» — разработана в NASA и могла бы быть реализована уже сейчас, но её стоимость очень высока.

Предпринимались также попытки поиска сигналов в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра, но и они пока не принесли успеха.

В процессе поиска межзвёздных сигналов решаются не только радиотехнические проблемы, но и сложнейшие информационные и лингвистические задачи: например, как отличить искусственный сигнал от естественного, как выделить в нём полезную информацию и расшифровать её смысл, как составить сообщение для иных разумных существ, которые не знают о нас ничего. При этом используются методы кибернетики, криптографии и психологии.

Осуществлялась и посылка межзвёздных сообщений различного типа. Первыми из них стали таблички на борту межпланетных станций «Пионер-10 и -11», стартовавших соответственно в 1972 и 1973 гг. и покинувших Солнечную систему. На этих табличках показано положение Земли в Солнечной системе и в Галактике, а также внешний вид человека. На схеме Солнечной системы показана траектория полёта аппарата: от Земли мимо Юпитера — к звёздам. Фигуры людей показаны на фоне силуэта «Пионера», для масштаба. Звездообразная фигура показывает положение Солнечной системы в Галактике относительно 14 радиопульсаров; точный период каждого пульсара записан в двоичном коде вдоль луча, указывающего направление к нему от Солнца. Единицами измерения длины и времени служат характеристики линии излучения атома водорода (его схема помещена в верхней части таблички): длина этой линии 21 см, а частота 1420 МГц. В условиях космического пространства эти таблички сохранятся сотни миллионов, а возможно, и миллиарды лет и станут самым долгоживущим произведением человеческих рук.

Следующим стало радиосообщение, посланное из обсерватории в Аресибо в ноябре 1974 г. в сторону шарового звёздного скопления Мессье 13. В нём содержатся данные о внешности и биохимии человека, о населении Земли и строении Солнечной системы, об уровне нашей техники. Это радиопослание фактически было простым двумерным изображением («почтовой открыткой»), содержащей всего 1679 бит информации. Адресату требовалось понять, что послание следует расположить в виде 23 столбцов по 73 бита в каждом и по-разному раскрасить сигналы и паузы. Химическими формулами были описаны компоненты молекулы ДНК: фосфатная группа, сахар дезоксирибоза и органические основания — тимин, аденин, гуанин и цитозин. Рост человека и диаметр антенны радиотелескопа указаны в единицах длины волны, на которой велась передача: 12,6 см.

Третье послание (в двух экземплярах) было отправлено в 1977 г. на борту межпланетных зондов «Вояджер-1 и -2», также покинувших Солнечную систему. Это металлический диск диаметром 30 см, на котором сделана запись по принципу грамофонной пластинки. На нём записаны природные звуки — шум моря и леса, крики животных, — а также приветствия людей на разных языках и фрагменты известных музыкальных произведений. Кроме этого, методом телевизионной развёртки на нём записаны 118 неподвижных изображений с видами Земли и планет, людей и животных, множество научных данных.

Позже в направлении различных звёзд (в том числе и к звёздам с планетами) неоднократно отправлялись радиопослания, но принять сигналы внеземного разума пока не удалось.

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА — разреженное вещество, заполняющее пространство между звёздами в галактике. По традиции межзвёздной средой называют только обычное (барионное) вещество, хотя в некоторых областях галактик — особенно на их периферии — пространство между звёздами в основном заполнено невидимой тёмной материей. Но поскольку о её составе пока ничего не известно, её пока не включают в понятие «межзвёздная среда».

Основные компоненты межзвёздной среды — газ, пыль и космические лучи (т. е. быстро движущиеся протоны, электроны и ядра лёгких элементов). Это вещество пронизано магнитным полем и электромагнитным излучением. В межзвёздной среде преобладает газ, составляющий обычно не менее 95% её массы. Остальное вещество сосредоточено в пылинках — мелких твёрдых частицах. Масса космических лучей ничтожна, но их влияние на остальные компоненты межзвёздной среды весьма ощутимо, поскольку энергия каждой частицы очень велика.

Типичная плотность газа — от 0,01 до 1000 атомов в кубическом сантиметре, а прочих компонентов — значительно ниже. Состав газа — водород (около 73% по массе), гелий (около 25%) и прочие элементы (в сумме около 2%). Поскольку температура межзвёздной среды составляет от 5–10 К в плотных облаках до 1 млн К в остатках сверхновых звёзд, газ может быть в ионизованном, атомарном или молекулярном состоянии. В межзвёздной среде обнаружены сотни типов молекул: H_2, CO, CS, OH, H_2CO, CH_3OH, SO_2, $HC_{11}N$ и др. (*см. Молекулы в межзвёздной среде*).Твёрдые частицы межзвёздной пыли имеют размер 0,01–0,5 мкм и, возможно, представляют собой графитовые и силикатные ядра, покрытые оболочками из органических молекул и льдов.

Хотя характерная плотность межзвёздного вещества очень мала — порядка 1 атома в кубическом сантиметре, вследствие огромного объёма галактики полная масса этого разреженного вещества в ней достигает миллиардов масс Солнца. Доля межзвёздной среды составляет менее 1% массы у эллиптических галактик, около 5% у спиральных и более 10% у неправильных галактик. Химический состав межзвёздной среды близок к составу молодых звёзд (это естественно, поскольку звезды недавно сформировались из неё): на 1000 атомов водорода приходится около 100 атомов гелия и 2–3 атома более тяжёлых элементов. При этом значительная часть тяжёлых элементов входит в состав межзвёздной пыли.

Происхождение межзвёздной среды носит сложный характер: частично это догалактический газ, не вошедший в состав звёзд, частично — газ, попавший в галактику извне (например, вместе с упавшей на неё другой галактикой), и частично — газ, потерянный звёздами самой га-

лактики в форме звёздного ветра, планетарных туманностей, оболочек новых и сверхновых звёзд. В нашей Галактике именно звёзды служат основным источником межзвёздной среды. В свою очередь, межзвёздная среда постоянно расходуется на формирование звёзд и планетных систем.

МЕЖЗВЁЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА — ослабление оптического излучения, распространяющегося сквозь межзвёздную среду. Более точным термином для эффекта уменьшения интенсивности света при его прохождении через среду является «межзвёздная экстинкция света», поскольку понятие «экстинкция» объединяет эффекты истинного поглощения и рассеяния света средой. Поглощение и рассеяние света в основном обязаны межзвёздной пыли, поэтому свет далёких объектов максимально ослаблен в направлениях на плотные газово-пылевые межзвёздные облака, сконцентрированные в диске Галактики. В окрестности Солнца в плоскости Галактики поглощение в визуальном диапазоне (фильтр *V*) составляет в среднем 2^m на 1 кпк расстояния. Это означает, что блеск звезды, удалённой от нас на 1 кпк, в среднем ослаблен межзвёздным поглощением в $2{,}512^2 = 6{,}3$ раза. При этом в межоблачной среде поглощение сравнительно невелико: в окрестности Солнца вблизи плоскости Галактики оно составляет около $0{,}3^m$ на 1 кпк. Но в облаках оно значительно выше. Если звезда находится в центре Галактики, на расстоянии около 8 кпк от Солнца, то её блеск ослаблен межзвёздным поглощением на 16^m ($=8$ кпк$\times 2^m$/кпк), т. е. в $2{,}512^{16} = 2{,}5$ млн раз. Именно поэтому мы не видим в оптических лучах центральную область нашей Галактики.

Межзвёздное поглощение света носит селективный характер, т. е. его величина зависит от длины волны (цвета) излучения: чем меньше длина волны, тем сильнее поглощение. Поэтому голубые лучи поглощаются сильнее красных, и звёзды, наблюдаемые сквозь облака межзвёздной пыли, выглядят краснее, чем на самом деле. Это явление называют межзвёздным покраснением света.

МЕЖЗВЁЗДНОЕ ПОКРАСНЕНИЕ — изменение цвета звёзд и других галактических и внегалактических объектов, связанное с селективным характером межзвёздного поглощения света. Излучение с малой длиной волны поглощается значительно сильнее, чем с большой, поэтому в свете, дошедшем до наблюдателя, преобладает излучение красного цвета. Межзвёздное покраснение никак не связано с красным смещением спектральных линий, вызванным движением объекта вдоль луча зрения (эффект Доплера). Межзвёздное покраснение изменяет общее распределение энергии в спектре, не затрагивая положения спектральных линий.

МЕЖЗВЁЗДНОЕ ПРОСТРАНСТВО — космическое пространство между звёздами в нашей Галактике и других галактиках. Чёткой границы между околозвёздным и межзвёздным пространством нет. Достаточно определённой её можно считать лишь для ионизованного замагниченного газа, который, с одной стороны, испускается с поверхности звезды («звёздный ветер»), а с другой — заполняет межзвёздное пространство и в виде внешнего потока набегает на движущуюся звезду («межзвёздный ветер»). Там, где два этих потока сталкиваются, уплотняются ударными волнами и их давление взаимно уравновешивается, и проходит указанная граница. У Солнца она называется гелиопаузой и со стороны набегающего межзвёздного потока удалена от Солнца примерно на 100 а. е., а в кильватерном направлении — значительно дальше. Область, ограниченную гелиопаузой и заполненную солнечным ветром, называют гелиосферой.

Подобные области окружают большинство звёзд, а пространство между ними обычно называют межзвёздным. Однако для электрически нейтральных частиц гелиопауза не является непреодолимой. Например, атомы межзвёздного гелия, не поддающиеся ионизации солнечным излучением, свободно залетают в центральную область Солнечной системы. С другой стороны, своим гравитационным полем Солнце контролирует значительно бóльшую область, чем гелиосфера. Двигаясь по околосолнечным орбитам, многие ядра комет удаляются на расстояние порядка 10^5 а. е., заполняя собой так называемое Облако Оорта. Вероятно, подобные «облака» окружают и другие звёзды, заполняя собой в совокупности заметную долю межзвёздного пространства.

МЕЖЗВЁЗДНЫЙ ВЕТЕР — поток нейтральных атомов, проникающих в Солнечную систему из межзвёздного пространства. Распределение этих атомов в Солнечной системе с 1960-х гг. изучают путём регистрации ультрафиолетового фонового излучения, возникающего при резонансном рассеянии солнечного света на частицах межзвёздного ветра. Зарегистрировано излучение, рассеянное на атомах водорода (линия Lα, $\lambda = 121{,}6$ нм) и гелия ($\lambda = 58{,}4$ нм). Вдали от Солнца, на расстояниях, больших ≈ 5 а. е., концентрация и распределение атомов межзвёздного ветра по скоростям однозначно определяются параметрами межзвёздной среды в непосредственной близости от Солнечной системы. Ближе к Солнцу на распределение межзвёздного ветра сильно влияют притяжение Солнца, ионизация атомов солнечным жёстким УФ-излучением и перезарядка с протонами солнечного ветра. На движение атомов водорода существенное влияние оказывает также давление излучения Солнца в линии Lα.

Интерпретация наблюдений излучения, рассеянного на атомах межзвёздного ветра, приводит к следующим значениям основных параметров нейтрального газа в околосолнечном межзвёздном пространстве: концентрация атомов водорода 0,06–0,08 см$^{-3}$, атомов гелия 0,018 см$^{-3}$, температура около 12 тыс. К, причём Солнце движется относительно межзвёздной среды со скоростью около 25 км/с в направлении $\alpha \approx 16^h\,50^m$, $\delta \approx 16°$.

В 2000 г. с помощью внеэклиптического зонда «Улисс», изучавшего полярные области Солнца, удалось непосредственно обнаружить атомы нейтрального гелия, влетающие в Солнечную систему из межзвёздной среды. При этом были определены параметры межзвёздного ветра (плотность атомарного гелия, скорость и направление движения Солнца относительно локальной межзвёздной среды). Результаты прямых измерений атомов гелия отлично совпали с оптическими измерениями.

Сравнение скорости движения Солнца относительно межзвёздного газа со скоростью движения относительно ближайших звёзд показывает, что в окрестностях Солнечной системы межзвёздный газ обгоняет звёзды в движении вокруг центра Галактики.

МЕЖЗВЁЗДНЫЙ ГАЗ — чрезвычайно разреженный газ, заполняющий пространство между звёздами; основной компонент межзвёздной среды. По количеству атомов он состоит на 90% из водорода и на 10% из гелия с небольшой примесью более тяжёлых элементов. В зависимости от температуры и плотности межзвёздный газ в разных областях пространства пребывает в молекулярном, атомарном или ионизованном состояниях. Вокруг горячих звёзд или недавно взорвавшихся сверхновых он нагрет до тысяч кельвинов и находится в полностью ионизованном состоянии (плазма). Вдали от горячих звёзд газ частично ионизован рассеянным ультрафиолетовым излучением и энергичными частицами космических лучей. Большая его часть заключена в облаках нейтрального (атомарного) и молекулярного водорода, движущихся вблизи плоскости Галактики по почти круговым орбитам вокруг галактического центра.

Подчеркнём, что под «межзвёздной средой» имеется в виду лишь обычное барионное вещество. Загадочная тёмная материя, проявляющая себя лишь через гравитацию, пока фигурирует как отдельная сущность неизвестной физической природы.

В составе межзвёздной среды около 99% массы приходится на межзвёздный газ. Однако в целом в состав нашей Га-

лактики межзвёздный газ, как и вся межзвёздная среда, вносят незначительную долю. Полная масса Галактики в пределах 100 кпк от центра с учётом тёмной материи составляет около $10^{12}\,M_\odot$ (масс Солнца); полная масса звёзд, в которых заключено почти всё обычное вещество, составляет около $10^{11}\,M_\odot$, а полная масса межзвёздного газа около $4\cdot10^9\,M_\odot$. Отсюда видно, что межзвёздный газ составляет около 4% обычного вещества Галактики и лишь около 0,4% её полной массы.

Однако вклад межзвёздного газа в пространственную плотность вещества очень сильно меняется от места к месту. Так, вблизи галактической плоскости, где в основном и сосредоточен межзвёздный газ, средняя пространственная плотность наблюдаемых звёзд (ρ_*) и межзвёздного газа (ρ_g) практически одинаковая: $\rho_*\approx\rho_g\approx0{,}05\,M_\odot/\text{пк}^3=3{,}4\cdot10^{-24}$ г/см$^3=2$ Н/см^3. Иными словами, на каждый кубический сантиметр пространства в среднем приходится 2 атома водорода звёздного и столько же — межзвёздного вещества. Более того: значительная часть газа объединена в облака, имеющие среднюю плотность порядка 500 Н/см^3, что в сотни раз больше средней плотности звёзд в тех же областях пространства.

Межзвёздный газ весьма равномерно перемешан с межзвёздной пылью, которая часто своим поглощением или рассеянием света делает газово-пылевые структуры наблюдаемыми (в виде тёмных туманностей). Диапазон изменения основных параметров межзвёздного газа очень широк. Температура межзвёздного газа колеблется от 4–6 до 10^6 К (а в межзвёздных ударных волнах ионная температура газа иногда превышает 10^9 К), концентрация изменяется от 10^{-4}–10^{-3} до 10^8–10^{12} частиц в 1 см^3. Для излучения межзвёздного газа характерен широкий диапазон: от длинных радиоволн до жёсткого гамма-излучения.

Существуют области, где межзвёздный газ находится преимущественно в молекулярном состоянии (молекулярные облака) — это наиболее плотные и холодные его части. Есть области, где межзвёздный газ состоит главным образом из нейтральных атомов водорода (области HI, читается «аш один») — это менее плотные и в среднем более тёплые области. Существуют области ионизованного водорода (зоны HII, читается «аш два»), которыми являются светлые эмиссионные туманности вокруг горячих звёзд и области разреженного горячего газа (корональный газ).

Как и вещество звёзд, межзвёздный газ в основном состоит из водорода и гелия с небольшой добавкой других элементов. В среднем атомы водорода составляют в нём около 90% числа всех атомов (70% по массе). На атомы гелия приходится около 10% числа атомов (28% по массе). Остальные 2% массы составляют все последующие химические элементы, которые астрономы называют «тяжёлыми элементами». Из них наиболее обильны O, C, N, Ne, S, Ar, Fe. Все они вместе составляют приблизительно $^1/_{1000}$ от числа атомов межзвёздного газа. Однако роль их в процессах, протекающих в этом газе, очень велика. По сравнению с составом Солнца в межзвёздном газе наблюдается дефицит ряда тяжёлых элементов, особенно Al, Ca, Ti, Fe, Ni, обилие которых в десятки и сотни раз меньше, чем на Солнце. В разных участках межзвёздной среды уровень дефицита неодинаков. Возникновение дефицита связано с тем, что значительная часть указанных элементов входит в состав пылинок и почти отсутствует в газообразной фазе.

Межзвёздный газ присутствует в галактиках всех типов, но в разном количестве и имеет характерное для каждого типа галактик пространственное распределение и движение. В эллиптических галактиках (E-галактиках) газа обычно очень мало, $\leqslant0{,}1\%$ от массы галактики в пределах её видимого тела, в спиральных (S-галактиках) ≈1–10%, а в большинстве неправильных (Ir-галактиках) — более 10%. Здесь приведены массы атомарного водорода. Если учитывать молекулярный водород, то цифры должны быть увеличены примерно вдвое. Как уже было сказано, в Галактике полная масса межзвёздного газа $\approx4\cdot10^9\,M_\odot$, из которых на атомарный газ приходится $2\cdot10^9\,M_\odot$; масса ионизованного газа невелика. От полной массы Галактики в пределах её видимого тела ($R<16$ кпк) масса межзвёздного газа составляет около 2%.

В E-галактиках межзвёздный газ встречается в заметном количестве лишь в гигантских объектах этого типа, преимущественно в их центрах. В галактиках других типов также есть газ в центрах, но основная его масса сосредоточена в галактических дисках. В среднем толщина диска межзвёздного газа в Ir-галактиках больше, чем в S-галактиках. В крупных S-галактиках газ обычно прослеживается, по крайней мере, до расстояний 20–30 кпк от их центра, где в оптическом диапазоне галактика практически не видна. В S- и Ir-галактиках газ вращается вокруг галактического центра вместе со звёздами диска. В E-галактиках газ движется преимущественно радиально.

Межзвёздный газ в Галактике

Наиболее детально структура межзвёздного газа исследована в нашей Галактике. Распределение газа в диске Галактики, как и в других спиральных галактиках, характеризуется наличием максимума концентрации газа на расстоянии нескольких килопарсеков от галактического центра. В Галактике максимум расположен на расстоянии ≈5 кпк от центра, в других S-галактиках — на расстоянии ≈5–8 кпк. В области максимума характерная толщина газового слоя Галактики ≈200–300 пк. Она уменьшается с приближением к центру и резко увеличивается на периферии, достигая нескольких кпк на расстоянии 15–20 кпк от центра. Внешние части газового диска Галактики изогнуты.

В диске основная часть газа сосредоточена в спиральных ветвях. В пространстве между ними плотность газа много меньше средней. В ветвях газ распределён также крайне неравномерно. Значительная часть его собрана в обширные газово-пылевые комплексы — клочковатые образования размером во многие десятки и сотни парсеков, состоящие в основном из молекулярного водорода. С газово-пылевыми комплексами связаны области звёздообразования, а следовательно, и молодые массивные яркие звёзды. В спиральных ветвях (рукавах) находятся также межзвёздные облака атомарного водорода и молекулярные облака. Около половины массы газа содержится в гигантских молекулярных облаках со средней массой $\sim10^5\,M_\odot$ и диаметром около 40 пк. Большинство из них расположено в кольце галактического диска между 3 и 7 кпк от центра Галактики. Количество их достигает 6000. Наряду с этими структурами около половины объёма рукавов составляют широкие коридоры очень разреженного горячего сильно ионизованного газа с температурой около 10^6 К и концентрацией частиц $\sim10^{-2}$–10^{-3} см$^{-3}$. Один из таких коридоров расположен вблизи Солнечной системы. Разреженный горячий газ находится также в остатках вспышек сверхновых звёзд и в так называемых межзвёздных пузырях, окружающих группы молодых массивных звёзд.

Вне галактического диска межзвёздного газа очень мало. В основной части гало Галактики газ, по-видимому, горячий ($\sim10^5$ К) и очень разреженный ($\approx3\cdot10^{-4}$ см$^{-3}$ на высоте 5 кпк над плоскостью симметрии диска). Наиболее заметны самые плотные газовые образования гало — планетарные туманности. По-видимому, небольшое количество газа имеется в некоторых, наиболее плотных, шаровых звёздных скоплениях. Кроме того, на высоких галактических широтах обнаружены высокоширотные и высокоскоростные облака водорода.

Методы наблюдения межзвёздного газа

Сильная разреженность межзвёздного газа и широкий диапазон температур, при которых он может находиться, определяют разнообразие методов его исследования. Наиболее доступны для наблюдения газовые и газово-пылевые светлые туманности. По оптическим и в меньшей степени ИК-спектрам излучения эмиссионных туманностей удалось установить плотность, температуру, состав и состо-

яние ионизации вещества зон HII. Богатую информацию о газе в эмиссионных туманностях получают по рекомбинационным радиолиниям водорода, гелия и др. элементов, а также по непрерывному радиоизлучению.

Состояние межзвёздного газа вне туманностей исследуют по межзвёздным оптическим и УФ-линиям поглощения в спектрах звёзд. По ним удалось установить, что этот газ состоит из отдельных облаков, а вещество в них находится преимущественно в нейтральном атомарном состоянии. По линиям поглощения в оптическом диапазоне были открыты (1938) первые молекулы в межзвёздной среде. Линии поглощения большинства атомов, ионов и молекул лежат в УФ-области спектра. Внеатмосферные наблюдения позволили изучить распространённость элементов и ионизационное состояние газа и обнаружить в нём дефицит ряда тяжёлых элементов. По линиям поглощения ионов NV (1238 и 1242 Å) и OVI (1032 и 1038 Å) были обнаружены коридоры горячего газа. По радиолинии водорода 21 см изучают крупномасштабную и тонкую структуру областей HI в Галактике и других галактиках, плотность и температуру межзвёздных облаков, их строение, движение, а также вращение вокруг центров галактик.

Исследовать распределение H_2 труднее. Для этого чаще всего пользуются косвенным методом: исследуют пространственное распределение молекулы CO, концентрация которой пропорциональна концентрации молекул H_2 (молекул H_2 примерно в 10^5 раз больше, чем CO). Радиоизлучение молекулы CO с $\lambda = 2{,}6$ мм практически не поглощается межзвёздной пылью и позволяет изучать распределение молекул CO и H_2, а также исследовать условия в наиболее холодной и плотной части межзвёздного газа — в молекулярных облаках и газово-пылевых комплексах. Молекулы H_2 непосредственно наблюдаются только по полосам поглощения, лежащим в далёкой УФ-области спектра ($\leqslant 1108$ Å), и в нескольких случаях по ИК-линиям излучения ($\lambda = 2$ мкм и 4 мкм). Однако из-за межзвёздного поглощения света пылью этот метод не позволяет исследовать H_2 в плотных непрозрачных молекулярных облаках, где эти молекулы в основном сосредоточены. Отдельные, наиболее плотные конденсации молекулярного газа, расположенные рядом с сильными источниками возбуждения (например, ИК-звёздами), наблюдаются в виде мощных космических мазеров.

Высокое спектральное разрешение, достигнутое в радиодиапазоне, позволяет изучать молекулы, содержащие различные изотопы атомов, например ^{1}H и ^{2}H (дейтерий, D), ^{12}C и ^{13}C, ^{14}N и ^{15}N, ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O и т. д., т. е. изотопный состав газа и его вариации. Сравнение изотопного состава современного межзвёздного газа с изотопным составом Солнечной системы, образовавшейся из межзвёздной среды около $4{,}6 \cdot 10^9$ лет назад, даёт возможность судить об изменениях изотопного состава, связанных с эволюцией межзвёздного газа.

По поглощению рентгеновских лучей в межзвёздном пространстве можно судить о полном количестве межзвёздного вещества, находящегося в атомарном и молекулярном виде, а также в виде пылинок. В дальнейшем по флюоресценции атомов в рентгеновских Kα-линиях различных элементов можно будет получить достаточно полную информацию о распространённости элементов в межзвёздном веществе независимо от того, в каком состоянии оно находится. Наиболее горячие участки межзвёздного газа (остатки сверхновых и коридоры горячего газа) излучают в рентгеновском диапазоне, что позволяет методами рентгеновской астрономии изучить их пространственное расположение и физические свойства.

Мёжзвёздная среда излучает также в γ-лучах. Энергичные γ-фотоны (с энергией $\geqslant 50$ МэВ) возникают за счёт того, что при столкновении протонов космических лучей с протонами межзвёздного газа образуются π^0-мезоны, которые распадаются на 2 γ-фотона. Вклад $\approx 50\%$ даёт тормозное излучение релятивистских электронов космических лучей при соударениях с ядрами атомов межзвёздного газа. Кроме того, при взаимодействии частиц космических лучей низких энергий с ядрами атомов газа и пыли появляются γ-линии в диапазоне 1–6 МэВ. Сильная линия, с энергией фотонов 0,511 МэВ, может образовываться при аннигиляции позитронов, возникающих при взаимодействии космических лучей с межзвёздным газом.

Степень ионизации межзвёздного газа удаётся изучать, измеряя меру дисперсии радиоизлучения пульсаров и в меньшей степени — поворот плоскости поляризации радиоисточников (см. *Фарадеевское вращение*). Состояние газа в непосредственной окрестности Солнечной системы установлено по параметрам межзвёздного ветра, обусловленного движением Солнца относительно межзвёздной среды.

Ещё одним тонким методом исследований межзвёздного газа оказались наблюдения мерцания радиоизлучения пульсаров на мелких неоднородностях межзвёздной плазмы. С его помощью удалось установить, что концентрация электронов n_e в межзвёздном газе флуктуирует слабо. Среднее по лучу зрения значение $\Delta n_e / n_e \approx (1-3) \cdot 10^{-5}$ (здесь Δn_e — отклонение концентрации электронов от среднего значения по лучу зрения). Размеры неоднородностей могут быть различными, но при наблюдениях пульсаров основной вклад в мерцания дают неоднородности размером $\sim 10^{10}$–10^{13} см, порождённые, по-видимому, плазменной турбулентностью.

Тепловое и ионизационное состояния межзвёздного газа

Разреженность межзвёздного газа приводит к тому, что он прозрачен для большинства видов излучения. Поэтому условия в нём очень далеки от термодинамического равновесия. Однако распределение энергии между частицами газа в большинстве случаев (за исключением главным образом ударных волн, где нет равнораспределения энергии между электронами и ионами) подчиняется распределению Максвелла, благодаря чему можно говорить о температуре межзвёздного газа.

Для определения равновесных свойств межзвёздного газа (степени ионизации, интенсивности излучения и др.) рассматривается баланс процессов возбуждения ионов, атомов и молекул (соударений, поглощения излучения и др.) и процессов снятия возбуждения (рекомбинаций, испускания фотонов), протекающих в каком-либо выделенном объёме в конечный интервал времени.

Зоны HII нагреваются УФ-излучением звёзд, расположенных внутри них (атомы водорода активно поглощают излучение с $\lambda < 912$ Å). Области HI и молекулярные облака нагреваются проникающей радиацией: частицами космических лучей низких энергий (~ 1–10 МэВ/нуклон), а также УФ- и мягким рентгеновским излучением. Роль более энергичных фотонов и частиц невелика, так как их меньше и взаимодействуют они с межзвёздным газом слабее. В некоторых местах существенны и другие механизмы нагрева, например ударные волны, возникающие при столкновениях облаков или при вспышках сверхновых.

Охлаждение межзвёздного газа происходит за счёт излучения в спектральных линиях чаще в ИК- и оптических областях спектра, реже в УФ- и рентгеновском диапазонах или в радиодиапазоне. Излучение в непрерывном спектре играет, как правило, второстепенную роль. В целом механизм охлаждения почти всех областей межзвёздного газа подобен охлаждению зон HII, но в областях HI повышенную роль в охлаждении играет излучение в ИК-диапазоне, а в холодных молекулярных областях — в радиодиапазоне.

Ионизуется межзвёздный газ теми же видами излучений, что и нагревается. Ионизационное равновесие достигается при равенстве скорости ионизации и скорости главным образом радиационной рекомбинации. В отдельных случаях, например для иона OH в областях HI, определённую роль играют реакции обмена зарядом (реакции перезарядки) с водородом и реже с гелием.

Формирование структуры межзвёздного газа

Анализ, проведённый С. Б. Пикельнером (1967), показал, что уравнение состояния газа в областях HI подобно уравнению состояния Ван-дер-Ваальса для неидеального газа, т. е. давление p в зависимости от плотности n имеет минимум и максимум. В областях HI спиральных ветвей Галактики определённому значению давления могут соответствовать три значения концентрации частиц (или плотности) газа. Состояние при среднем значении концентрации неустойчиво, из этого состояния межзвёздный газ за ~10^6 лет перейдёт в состояние с большей (n_1) или меньшей (n_2) концентрацией. В результате газ разбивается на области с $n_1 \approx 10$ см$^{-3}$ и $n_2 \approx 0{,}1$ см$^{-3}$, между которыми устанавливается равенство давлений: сгущения с $n_1 \approx 10$ см$^{-3}$ и $T_1 \approx 100$ К (облака) находятся в динамическом равновесии с областями, где $n_2 \approx 0{,}1$ см$^{-3}$ при температуре $T_2 \approx 10\,000$ К. Процесс расслоения межзвёздного газа на две термически устойчивые фазы (как следствие его тепловой неустойчивости) приводит к тому, что в областях HI существуют «холодные» облака и более «горячая» межоблачная среда.

Другим, ещё более сильным фактором, влияющим на структуру межзвёздного газа в S-галактиках, являются спиральные ударные волны. Они возникают при соударении межзвёздного газа, уже накопленного в спиральных ветвях, с газом, который при круговом движении вокруг центра галактики догоняет спиральные ветви и входит в них со сверхзвуковой скоростью (спиральные ветви обращаются вокруг центра Галактики в ту же сторону, что газ и звёзды, но с меньшей скоростью). На фронте ударной волны набегающий газ тормозится и уплотняется. За счёт повысившегося давления почти весь газ оказывается в плотной фазе. Так образуются газово-пылевые комплексы, наблюдаемые на внутренних сторонах спиральных ветвей.

Газово-пылевые комплексы могут возникать не только под действием спиральных ударных волн, но и вследствие неустойчивости Рэлея–Тейлора газового диска галактик. В результате развития неустойчивости возникают компактные (≈ 10–30 пк) газово-пылевые сгустки, становящиеся затем очагами образования звёздных скоплений. В S-галактиках неустойчивость Рэлея–Тейлора играет, вероятно, меньшую роль, чем спиральные ударные волны, но в Ir-галактиках она, видимо, служит основной причиной образования комплексов межзвёздного газа.

Наблюдения показывают, что межзвёздные облака имеют помимо упорядоченного движения вокруг центра Галактики хаотические скорости со средним значением около 10 км/с. В среднем через 30–100 млн лет облако сталкивается с другим облаком, что приводит к диссипации (уменьшению) этих случайных движений, частичному слипанию облаков и формированию степенного спектра их масс: $dN/dM \sim M^{-3/2}$. Хаотические движения поддерживаются взрывами сверхновых: сброшенная при взрыве оболочка звезды тормозится в межзвёздном газе и передаёт его облакам часть своего импульса.

Из области пространства, по которой прошла ударная волна, вызванная взрывом сверхновой, почти весь газ оказывается выметенным. Возникшая область разреженного газа (каверна размером в десятки парсеков с $n \sim 10^{-2}$ см$^{-3}$ и $T \sim 10^6$ К) может существовать ~ 10^7 лет. Если за это время поблизости вспыхнет ещё одна сверхновая, то созданная ею каверна, сомкнувшись с предыдущей, может образовать обширный коридор горячего разреженного сильно ионизованного газа. Излучение горячего газа может нагревать до 300–5000 К газовые облака, находящиеся на расстоянии многих парсеков от коридоров (существование облаков с такой температурой невозможно в описанной выше простой двухфазной модели межзвёздного газа).

Вспышки сверхновых, «пробурившие» газовый диск галактики насквозь, вызывают отток газа от плоскости галактики в межгалактическую среду и нагрев его там вплоть до 10^7–10^8 К. В результате в межгалактическую среду попадает обогащённый тяжёлыми элементами газ. Возможно, что именно благодаря этим процессам межгалактический газ в скоплениях галактик имеет почти такое же содержание железа, как атмосфера Солнца. Часть газа, видимо, падает назад к галактической плоскости в виде высокоширотных и высокоскоростных облаков.

Процессы, протекающие в газово-пылевых комплексах

Вещество в газово-пылевых комплексах достаточно плотно для того, чтобы не пропускать на большую глубину основную часть радиации: жёсткого излучения и быстрых частиц. Поэтому газ внутри комплексов оказывается холоднее, чем в межзвёздных облаках, и существует преимущественно в молекулярной форме. Молекулы H_2 и некоторые другие образуются главным образом в ион-молекулярных реакциях, а также на поверхности пылинок. Ионизация, необходимая для протекания ион-молекулярных реакций, поддерживается УФ-излучением звёзд (в областях, где межзвёздное поглощение света $A_V \leqslant 5$–6^m) и, по-видимому, космическими лучами низкой энергии (< 100 МэВ/нуклон). Те же виды излучения постоянно отрывают налипающие на поверхность пылинок молекулы.

Из-за различия скоростей образования молекул и охлаждения газа за счёт излучения этих молекул (главным образом H_2O и CO) в радиодиапазоне в межзвёздном газе может возникнуть термохимическая неустойчивость, ведущая к выделению внутри молекулярных облаков ещё более плотных и холодных ($T \approx 4$–12 К) сгустков. Совместно с гравитационной неустойчивостью эти процессы в холодных фрагментах молекулярных облаков ведут к возникновению самогравитирующих сгустков газово-пылевого вещества звёздной массы — протозвёзд, из которых впоследствии образуются звёзды.

Таким образом, молекулярные облака должны быстро (за ~ 10^6 лет) превратиться в звёзды. Так как они существуют гораздо дольше, должны действовать факторы, замедляющие образование звёзд: например, магнитное давление, турбулентность, нагрев газа возникшими звёздами.

Эволюция межзвёздного газа

Межзвёздный газ постоянно обменивается веществом со звёздами. Согласно оценкам, в настоящее время в Галактике газ переходит в звёзды в количестве $\approx 5\,M_\odot$ в год. Одновременно с этим звёзды, главным образом на поздних стадиях эволюции, теряют вещество и пополняют межзвёздную среду. Часть выбрасываемого вещества участвовала в термоядерных реакциях в недрах звёзд и обогатилась там тяжёлыми элементами. Поэтому со временем состав межзвёздного газа изменяется. В разных галактиках и в различных частях каждой галактики эти процессы идут с различными скоростями. В результате в химическом и изотопном составе газа появляются неоднородности, и прежде всего градиент химического состава вдоль радиусов галактик. Ближе к центру галактик межзвёздный газ несколько более обогащён тяжёлыми элементами.

Пока неизвестно, когда и как произошло обогащение первичного газа (имевшего состав ≈ 75% H и 25% He по массе) тяжёлыми элементами: было ли это ещё до образования галактик или в самом начале их эволюции. Но ясно, что на первых этапах истории галактик этот процесс шёл много активнее, чем в настоящее время.

В протогалактиках газ присутствовал не только в галактической плоскости, но и в сферической составляющей. В галактиках с малым удельным моментом импульса (в E-галактиках) газ, не израсходованный на образование звёзд сферической составляющей, постепенно скапливался около их центра, быстро превращался в звёзды и поэтому вскоре почти весь исчерпался. В настоящее время газ в E-галактиках, выбрасываемый звёздами, движется вместе с ними по очень вытянутым траекториям. Проходя вблизи галактического центра, газ задерживается там, вызывая в некоторых E-галактиках звёздообразование, а также активность их ядер.

В галактиках с большим удельным моментом импульса за время $\sim 10^9$ лет после их образования газ осел в диск, также обогатившись тяжёлыми элементами. Дальнейшее звёздообразование шло в диске. В S-галактиках звёздообразование в диске стимулируется спиральной ударной волной. При каждом прохождении сквозь спиральную ударную волну элементы газа тормозятся, теряют энергию и с каждым оборотом приближаются к центру галактики.

В Ir-галактиках спиральные волны не сформировались, газ исчерпывался медленно. Поэтому в настоящее время они наиболее богаты газом (среднее содержание атомарного водорода ≈18% от массы галактики). В линзовидных (S0) галактиках основная часть газа была, вероятно, выметена в межгалактическое пространство при взаимодействии их с другими галактиками, а оставшегося газа оказалось недостаточно для активного звёздообразования.

Итак, в процессе эволюции галактик происходит круговорот вещества: межзвёздный газ → звёзды → межзвёздный газ, приводящий к постепенному увеличению содержания тяжёлых элементов в газе и звёздах и уменьшению количества межзвёздного газа в каждой галактике. В разных типах галактик исчерпание межзвёздного газа идёт существенно различающимися темпами. Не исключена возможность, что процессы формирования звёзд и обогащения газа тяжёлыми элементами шли в Галактике немонотонно, т. е. несколько раз в истории Галактики могли происходить задержки звёздообразования на миллиарды лет. Это в принципе должно было бы сказаться на распространённости элементов в различных типах звёздного населения.

МЕЖПЛАНЕТНАЯ СРЕДА — вещество и поля, заполняющие пространство внутри Солнечной системы. Основные компоненты межпланетной среды — солнечный ветер, межпланетное магнитное поле, заряженные частицы высокой энергии, межпланетная пыль и нейтральный газ. Солнечный ветер представляет собой поток заряженных частиц, главным образом протонов и электронов, истекающий из верхних частей солнечной короны. Солнечный ветер изучают с помощью непосредственных измерений на космических аппаратах и по наблюдениям мерцаний радиоисточников, вызванных рассеянием радиоволн на неоднородностях межпланетной плазмы. Физическое состояние плазмы на расстояниях 2–9 $R_\odot$ от Солнца исследуется также по наблюдениям K-компонента короны, возникающего при рассеянии солнечного излучения на свободных электронах.

На орбите Земли поток протонов солнечного ветра меняется от 10^8 до 10^{10} $см^{-2}с^{-1}$, а скорость — от 200 до 900 км/с. При увеличении расстояния от Солнца (R) поток протонов убывает как $1/R^2$, а скорость остаётся почти постоянной.

Межпланетное магнитное поле представляет собой унесённое солнечным ветром магнитное поле Солнца. Основным источником информации о нём служат непосредственные измерения с космических аппаратов. На малых гелиографических широтах вектор магнитного поля практически параллелен плоскости солнечного экватора. Межпланетное магнитное поле представляет собой унесённое солнечным ветром магнитное поле Солнца. Так проявляется эффект «вмороженности» силовых магнитных линий в проводящую среду — солнечную плазму. Этот эффект возникает вследствие известных физических явлений: при движении проводника в магнитном поле в проводнике возбуждается ток, который, в свою очередь, генерирует дополнительное магнитное поле. Складываясь с исходным полем, оно изменяет форму силовых линий так, что они изгибаются в сторону движения плазмы. При этом сила Лоренца препятствует движению плазмы. В целом силовые линии магнитного поля ведут себя как упругие нити, пронизывающие проводник: они тянутся вслед за проводящей средой, тормозя её движение. В результате на малых гелиографических широтах вектор магнитного поля практически параллелен плоскости солнечного экватора, в которой движется плазма. Вращение Солнца приводит к тому, что силовые линии поля закручиваются и приобретают форму спиралей. Это тоже следствие «вмороженности» силовых линий в плазму: вследствие сохранения момента импульса угловая скорость солнечного ветра уменьшается при его удалении от центра вращения, за ним следуют и силовые линии магнитного поля, приобретая спиральную форму.

Основным источником информации о межпланетном магнитном поле служат непосредственные измерения с космических аппаратов. Напряжённость магнитного поля на орбите Земли меняется от $2 \cdot 10^{-5}$ до $8 \cdot 10^{-4}$ Э. Наибольших значений она достигает у переднего края высокоскоростных потоков солнечного ветра. При удалении от Солнца напряжённость магнитного поля падает чуть быстрее, чем $1/R$. Важной особенностью магнитного поля является его секторная структура. В течение большей части солнечного цикла (за исключением короткого периода сразу после максимума) в пространстве выделяются 2, 4 или (реже) 6 секторов. Внутри каждого сектора радиальная составляющая поля направлена либо к Солнцу, либо от Солнца, причём в соседних секторах направления поля противоположны. Вдали от плоскости солнечного экватора секторная структура пропадает и направление вектора межпланетного магнитного поля определяется полярностью магнитного поля на высоких гелиографических широтах в фотосфере Солнца.

Заряженные частицы высокой энергии, присутствующие в межпланетном пространстве, исследуются как с помощью непосредственных измерений в межпланетном пространстве, так и наземными средствами. По своему происхождению они делятся на несколько классов: галактические и солнечные космические лучи; рекуррентные (повторяющиеся) потоки; заряженные частицы, ускоренные в магнитосферах планет; аномальный компонент космических лучей.

Галактические космические лучи проникают в Солнечную систему извне. В их состав входят в основном протоны, электроны и ядра лёгких элементов. При движении внутри гелиосферы космические лучи рассеиваются на неоднородностях межпланетного магнитного поля. Так как уровень флуктуаций магнитного поля зависит от солнечной активности, поток галактических космических лучей в Солнечной системе меняется с периодом ≈11 лет. Для протонов на расстоянии 1 а. е. от Солнца этот эффект заметен при энергиях 0,1–10 ГэВ. Протоны с энергией меньше 0,1 ГэВ до орбиты Земли практически не доходят. В минимуме солнечной активности поток галактических космических лучей у орбиты Земли равен ≈0,06 частиц/(см²·с·ср). На больших расстояниях от Солнца влияние межпланетного магнитного поля на распространение космических лучей уменьшается, и поток частиц растёт на 2–5% при увеличении расстояния на 1 а. е.

Солнечные космические лучи возникают во время вспышек на Солнце. В мощных протонных вспышках испускаются протоны с энергией 10–100 МэВ (в исключительных случаях до 15 ГэВ) и нерелятивистские электроны с энергией от 40 кэВ и выше. Кроме того, в некоторых случаях регистрируются релятивистские электроны с энергией до 12 МэВ. Рекуррентные потоки частиц высокой энергии получили своё название в связи с тем, что они имеют тенденцию повторяться с периодом, равным периоду вращения Солнца. При измерениях на орбите Земли рекуррентные потоки наблюдаются как умеренное, длящееся от 3 до 6 дней возрастание потока протонов и ядер с удельной энергией (отношением кинетической энергии к числу нуклонов, содержащихся в ядре) от 1 до 20 МэВ/нуклон. Рекуррентные потоки связаны с секторной структурой межпланетного магнитного поля и высокоскоростными потоками солнечного ветра, однако природа этой связи неясна. Пока неизвестно, где ускоряются частицы рекуррентных потоков. Возмож-

но, что это происходит непосредственно в межпланетной среде в результате взаимодействия частиц с ударными волнами, распространяющимися в плазме солнечного ветра.

Из магнитосфер планет наиболее мощный источник заряженных частиц – магнитосфера Юпитера. Как вблизи Юпитера, так и вдали от него, на расстояниях от 0,5 до 10 а. е. от Солнца, наблюдаются «вспышки», длящиеся несколько дней, во время которых регистрируются электроны с энергиями до 30 МэВ. Связь этих процессов с Юпитером проявляется в модуляции потока электронов с периодом 10 ч, совпадающим с периодом вращения Юпитера. При наблюдениях вблизи Земли заметна также модуляция интенсивности и частоты этих «вспышек» с периодом 13 мес. (синодический период обращения Юпитера). Кроме потоков электронов, на небольшом расстоянии от границы магнитосферы Юпитера наблюдаются и потоки протонов.

Гораздо менее интенсивные потоки электронов и протонов наблюдаются в околоземном межпланетном пространстве, вблизи от ударной волны, возникающей при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой Земли.

В космических лучах выделяют компонент, содержащий частично ионизованные атомы гелия, кислорода, азота и неона. Его называют аномальным, так как образующие его атомы сильно отличаются от полностью лишённых электронных оболочек ядер, входящих в состав солнечных и галактических космических лучей. В этом компоненте наблюдаются частицы с удельной энергией 1–100 МэВ/нуклон, их поток растёт при удалении от Солнца и от плоскости солнечного экватора. Предполагается, что частицы аномального компонента приобретают высокую энергию на границе гелиосферы, в области взаимодействия солнечного ветра с межзвёздной плазмой.

Межпланетная пыль ранее других компонентов межпланетной среды подверглась изучению. Первым источником сведений о ней были наблюдения метеоров, возникающих в результате влёта пылинок в атмосферу Земли. Метеоры изучаются визуальными, фотографическими (для пылинок с массой $m \geqslant 0{,}01$ г) и радиолокационными ($m \geqslant 10^{-4}$ г) методами, а также наблюдениями солнечного света, рассеянного на пылинках размером 10–100 мкм (зодиакальный свет, противосияние и F-компонент солнечной короны). Важным источником информации о межпланетной пыли служит прямая регистрация пылевых частиц межпланетными зондами и исследование микрократеров на поверхности Луны. Кроме того, пробы межпланетной пыли берут в стратосфере Земли, в глубоководных отложениях и в полярных льдах. Регистрируется также тепловое излучение пыли, находящейся как вблизи Солнца (Т-компонент короны), так и вдали от него.

Основным источником межпланетной пыли служат кометы. Общая масса пыли в Солнечной системе оценивается в 10^{19}–10^{20} г. Большая её часть (2/3) сосредоточена в частицах массой 10^{-5}–10^{-3} г. При удалении от Солнца плотность пылевого облака падает примерно как $R^{-1,3}$, и на расстояниях $\geqslant 3$ а. е. пыль практически отсутствует. Облако межпланетной пыли сильно концентрируется к плоскости эклиптики, так как у большинства частиц наклон орбит не превосходит 30–40°.

Нейтральный газ в Солнечной системе был открыт путём наблюдений резонансно рассеянного солнечного излучения (см. *Межзвёздный ветер*). На расстояниях $\geqslant 5$ а. е. от Солнца нейтральный газ распределён практически однородно, причём концентрация атомов водорода к среднем равна 0,06 $см^{-3}$, гелия – 0,012 $см^{-3}$, а температура газа близка к 9000 К. Вблизи Солнца распределение газа становится сильно неоднородным из-за влияния солнечного притяжения, УФ-излучения и солнечного ветра.

МЕЖПЛАНЕТНАЯ УДАРНАЯ ВОЛНА – область межпланетного пространства, в которой происходит резкое изменение всех параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Поток вещества через межпланетную ударную волну отличен от нуля.

МЕЖПЛАНЕТНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ – магнитное поле преимущественно солнечного происхождения, заполняющее межпланетное пространство вне магнитосфер планет.

МЕЖПЛАНЕТНОЕ ПРОСТРАНСТВО – область космического пространства, ограниченная сферой радиусом, равным среднему расстоянию самой далёкой планеты от Солнца. Это определение долгие годы не подвергалось ревизии, но с открытием крупных объектов в поясе Койпера следует, по-видимому, уточнить, что область, занятую планетами-карликами (Плутон и более далёкие), также следует включить в межпланетное пространство.

МЕЙОЛ, Николас Ульрих (Mayall, Nicholas Ulrich) (9.05.1906, Молин, шт. Иллинойс, США, – 5.01.1993, Тусон, шт. Аризона, США) – американский астроном. Работал в обсерваториях Маунт-Вилсон, Ликской, Китт-Пик и др. Совместно с Я. Оортом доказал (1942), что Крабовидная туманность является остатком Сверхновой 1054 г. Совместно с У. Морганом разработал (1957) спектрально-морфологическую классификацию галактик.

МЕНЗЕЛ, Дональд Хауэрд (Menzel, Donald Howard) (11.04.1901, Флоренс, шт. Колорадо, США, – 14.12.1976, Бостон, шт. Массачусетс, США) – американский астроном. Работал в Ликской и Гарвардской обсерваториях. Детально изучил хромосферу Солнца и физические процессы в газовых туманностях, независимо от Х. Занстра разработал (1926) метод определения температур ядер планетарных туманностей. Автор первой научной монографии о «летающих тарелках» (1953, рус. пер. 1962).

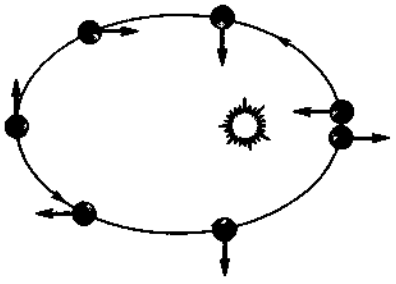
МЕНИСК – выпукло-вогнутая линза с близкими радиусами кривизны поверхностей. Используется, например, в конструкции менискового телескопа Максутова.

МЕНИСКОВЫЙ ТЕЛЕСКОП – то же, что *Телескоп Максутова*.

МЕРИДИАН – большой круг, проходящий через северный и южный полюсы небесной сферы. Меридиан, проходящий через зенит наблюдателя, называется небесным меридианом. Небесный меридиан делит видимую небесную сферу на западную и восточную полусферы. Часовой угол объекта измеряется к западу от небесного меридиана. Большой круг на поверхности Земли – географический меридиан – это линия постоянных географических долгот.

МЕРКУРИЙ – планета Солнечной системы, ближайшая к Солнцу, удалённая от него на 57,9 млн км = 0,387 а. е. Спутников не имеет. Масса Меркурия $3{,}302 \cdot 10^{23}$ кг (5,5% от массы Земли). Радиус 2440 км (38% от радиуса Земли). Средняя плотность 5,43 $г/см^3$. Меркурий практически лишён атмосферы. Температура поверхности ночью 180 °С, а днём – от 290 до 420 °С в зависимости от положения планеты на её вытянутой орбите. Наибольшая элонгация составляет от 18 до 28° в зависимости от положения Земли относительно большой оси орбиты Меркурия. Период осевого вращения Меркурия (58,65 сут) находится в точном соотношении 2:3 с периодом обращения вокруг Солнца (87,97 сут). Поэтому за свой год планета совершает полтора оборота вокруг оси, так что меркурианские солнечные сутки там длятся вдвое дольше меркурианского года.

На Меркурии не существует таких времён года, как на Земле. Причина в том, что ось вращения планеты находится под прямым углом к плоскости орбиты. Комбинация движений планеты порождает ещё одно уникальное явление. Скорость вращения планеты вокруг оси – величина практически постоянная, в то время как скорость орбитального движения постоянно изменяется. На участке орбиты вблизи перигелия (ближайшей к Солнцу



Меркурий. Синхронизация суточного вращения и орбитального обращения

точке орбиты) в течение примерно 8 земных суток угловая скорость орбитального движения превышает скорость вращательного движения. В результате Солнце на небе Меркурия останавливается и начинает двигаться в обратном направлении — с запада на восток. Для наблюдателя на долготах, отстоящих на 90° от «горячих долгот», Солнце при этом восходит (или заходит) дважды.

«МЕРКЬЮРИ» (Mercury) — журнал для любителей астрономии, публикуемый с 1972 г. Тихоокеанским астрономическим обществом. В бумажной версии печатался раз в 2 месяца, а позже стал чисто электронным изданием.

«МЕРЛИН» (MERLIN) — радиоинтерферометр, размещённый на территории Англии и управляемый из обсерватории Джодрелл-Бэнк. Название инструмента (MERLIN = Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network, Многоэлементная сеть интерферометров с радиосвязью) указывает на то, что между отдельными антеннами осуществляется радиорелейная связь. В наблюдениях одновременно могут принимать участие до семи радиотелескопов с фиксированными положениями, включая радиотелескоп «Лавелл». Максимальная база интерферометра составляет 217 км. Система работает в диапазоне частот от 151 МГц до 24 ГГц. На волне 6 см (5 ГГц) она даёт угловое разрешение 0,04″.

«МЁРТВОЕ» ВРЕМЯ — небольшой промежуток времени после акта регистрации события, в течение которого детектор переходит в состояние готовности (восстановление чувствительности, обнуление и т. п.) для регистрации последующих событий. Происходящие в течение «мёртвого» времени события не регистрируются вовсе, что нужно иметь в виду при обработке данных измерений.

МЕРЦАНИЕ — хаотическое изменение блеска и цвета звезды, вызванное преломлением и дифракцией её света на неоднородностях плотности воздуха в атмосфере Земли. Мерцание звёзд легко заметить невооружённым глазом, но при наблюдении в средние и большие телескопы оно исчезает, поскольку флуктуации яркости усредняются по площади апертуры (т. е. объектива) телескопа. При этом яркость изображения звезды заметно не меняется, но само изображение размывается, превращаясь в крупное диффузное пятно. В такой форме этот эффект обычно называют «атмосферным размытием» изображений. Влияние атмосферного размытия приводит к ухудшению качества изображений в крупных наземных телескопах и ограничивает их разрешающую силу.

В радиоастрономии мерцанием космических источников излучения называют нерегулярное изменение интенсивности их излучения из-за его рассеяния на неоднородностях промежуточной среды. Мерцание космических радиоисточников (пульсаров, квазаров) связано с неоднородностью межзвёздной и межпланетной плазмы.

МЕССЬЕ, Шарль (Messier, Charles) (26.06.1730, Бадонвилл, Франция, — 12.04.1817, Париж) — французский астроном. Получил только начальное образование. С 1751 г. работал чертёжником и переписчиком у известного астронома и картографа Ж. Н. Делиля. Путём самообразования Мессье приобрёл математические и астрономические знания, изучил астрономические инструменты, стал опытным наблюдателем. С 1755 г. работал в Парижской обсерватории. Член Лондонского королевского общества (1764), Королевской шведской АН (1769), Парижской АН (1770), иностранный почётный член Санкт-Петербургской АН (1776) и Берлинской АН.

Мессье систематически вёл поиски новых комет. В 1763–1802 гг. открыл 14 комет, в том числе комету 1770 I, названную впоследствии кометой Лекселя, установившего, что она является короткопериодической. Всего Мессье наблюдал 41 комету. Составил один из первых в истории астрономии каталогов туманностей и звёздных скоплений, до сих пор чрезвычайно популярный среди любителей астрономии. Первое издание каталога вышло в 1774 г. и содержало 45 объектов. Среди них под первым номером (M1) указана Крабовидная туманность в созвездии Телец, обнаруженная Мессье 12 сентября 1758 г. В астрономию прочно вошли обозначения многих туманностей, скоплений и галактик по каталогу Мессье (например, M31 — Туманность Андромеды, M42 — диффузная туманность Ориона). Второе издание каталога (1781) содержало 103 объекта. Современная версия этого каталога содержит около 110 объектов, из которых более 60 открыто самим Мессье и около 30 — французским астрономом Пьером Мешеном (1744–1804). Мессье выполнил также наблюдения колец Сатурна, спутников Юпитера, прохождений Меркурия и Венеры по диску Солнца.

МЕСТНАЯ ГРУППА ГАЛАКТИК — система из более чем 40 ближайших галактик, в которую входит и наша галактика Млечный Путь. Члены Местной группы движутся относительно друг друга, но при этом связаны взаимным тяготением и поэтому длительное время занимают ограниченное пространство диаметром около 8 млн св. лет (т. е. около 2,5 Мпк) и существуют отдельно от других подобных групп галактик. Считается, что все члены Местной группы имеют общее происхождение и эволюционируют совместно уже около 13 млрд лет.

Галактики Местной группы представляют для астрономии особый интерес, поскольку многие из них, во-первых, могут быть детально изучены, а во-вторых, заметно влияют на нашу галактику и сами испытывают её влияние. Местная группа, как и другие соседние с ней группы галактик и более населённые скопления галактик, входит в грандиозное объединение — Местное сверхскопление галактик. Это уплощённая система диаметром около 100 млн и толщиной около 35 млн св. лет. Её центром служит крупное скопление галактик в Деве, удалённое от нас на 50 млн св. лет.

Американский астроном Эдвин Хаббл первый обратил внимание, что наша Галактика вместе с несколькими соседними звёздными системами образует довольно обособленную группу, которую он назвал Местной группой галактик. В своей книге «Мир туманностей» (1936) Хаббл писал, что это «типичная небольшая группа туманностей, изолированная в общем поле от остальных звёздных систем». Этот вывод подтвердили современные исследования: в Местную группу входит не менее 40 галактик различного морфологического типа. Доминируют в ней две крупные спиральные системы — Туманность Андромеды (M31, NGC 224) и наша галактика Млечный Путь (обычно её называют просто Галактика), расстояние между которыми около 2,5 млн св. лет. Галактика в Андромеде немного крупнее и приблизительно в полтора раза массивнее нашей галактики.

Среди прочих членов Местной группы своей массой и светимостью выделяются два — небольшая спираль в Треугольнике (M33) и неправильная галактика Большое Магелланово Облако (БМО). За ними в порядке уменьшения светимости следуют неправильные галактики Малое Магелланово Облако (ММО), IC 10, NGC 6822, IC 1613 и WLM, а также два сфероидальных спутника Туманности Андромеды — M32 и NGC 205. Остальные галактики заметно мельче. Половина массы Местной группы заключена в сфере радиусом около 1 млн св. лет, а граница группы удалена от её центра примерно на 3 млн св. лет. Вблизи этой границы расположены три маленькие системы — Aquarius,

Главные галактики Местной группы

Галактика	Тип	Расстояние, млн св. лет	Видимые параметры		Абсолютные параметры	
			Угловой диаметр	Звёздная величина в фильтре V	Диаметр, тыс. св. лет	Светимость, $10^9 L_\odot$
Млечный Путь	SBbc	–	–	–	80?	14,5?
БМО	Ir III	0,15	12°	0,4	31	2,75
ММО	Ir IV	0,18	4°	2,0	13	0,52
M31	Sb	2,5	3°	3,4	110	22,9
M32	E2	2,5	4′	8,1	2	0,21
NGC 205	Sph	2,5	11′	8,1	6	0,27
M33	Sc	2,2	1°	5,9	38	3,63
NGC 6822	Ir IV	1,8	20′	8,5	7	0,11
IC 1613	Ir V	2,1	20′	9,1	10	0,076
Печь	dSph	0,75	50′	7,3	11	0,019
Скульптор	dSph	0,35	45′	8,8	5	0,004

Tucana и Sag DIG, принадлежность которых к Местной группе пока остаётся под вопросом. Отметим, что не только эти, но и многие другие галактики Местной группы носят имена тех созвездий, в которых они наблюдаются, например Fornax, Draco, Sculptor, Leo I, Leo II и т. д. Большинство из них имеет и другие обозначения по различным каталогам галактик, но обычно астрономы называют их именно так – галактика в Печи (Fornax), система в Драконе (Draco) и т. п.

В пределах Местного скопления маленькие галактики распределены не вполне хаотично: многие из них тяготеют к большим галактикам – к Млечному Пути и к Туманности Андромеды. Эти две часто называют «родительскими», хотя генетическая связь между большими и маленькими галактиками ещё не до конца ясна. Не исключено, что именно маленькие звёздные системы служат предками для более крупных. Но в данном случае крупную звёздную систему называют «родительской галактикой», исходя из бытовой ассоциации: она окружена более мелкими галактиками-спутниками, как детьми. Например, нашу Галактику сопровождают довольно крупные Магеллановы Облака и несколько малых систем – Fornax, Draco, Sculptor, Sextans, Carina и др.; в последние годы регулярно обнаруживаются новые мелкие спутники Галактики. В свиту Туманности Андромеды входят весьма крупные M32 и NGC 205, а также небольшие NGC 147, NGC 185, And I, And II, And III и др. Это не является особенностью Местной группы: в мире галактик небольшие спутники часто сопровождают крупного «руководителя». Такие коллективы размером около 1 млн св. лет принято называть гипергалактиками. Поэтому можно сказать, что основными компонентами Местной группы служат две гипергалактики – Млечный Путь и Туманность Андромеды.

Третья по размеру и массе галактика Местной группы – спираль M 33 в созвездии Треугольника. По-видимому, она не имеет спутников, хотя некоторые небольшие галактики расположены в проекции на небо ближе к M33, чем к M31. Однако Туманность Андромеды (M31) гораздо массивнее, чем Спираль Треугольника (M33), поэтому даже далёкие спутники M31 следуют за ней, а не за её менее массивной соседкой. Единственным возможным спутником галактики M33 сейчас считают карликовую неправильную галактику LGS3 в созвездии Рыбы.

Население Местной группы не очень разнообразно: в нём представлены спиральные, неправильные и карликовые галактики, что типично для таких небольших и не очень плотных коллективов. В Местной группе отсутствуют крупные эллиптические галактики, которые можно найти в более богатых скоплениях. Единственная настоящая эллиптическая галактика – M32, близкий спутник Туманности Андромеды. Остальные сфероидальные (тип Sph) и карликовые сфероидальные (dSph) галактики не являются настоящими эллиптическими системами, поскольку они не очень плотны, слабо концентрированы к центру, содержат межзвёздный газ и молодые звёзды.

Ближайшие соседи Местной группы – такие же небольшие скопления галактик. Одно из них, наблюдаемое в направлении созвездий Насос и Секстант, удалено от центра Местной группы на 5,5 млн св. лет. Группа небольших галактик в Скульпторе удалена на 8 млн св. лет, а другая известная группа, включающая крупную спираль M81 и взаимодействующую с ней галактику с интенсивным звёздообразованием M82, удалена на 11 млн св. лет. Членов группы Насоса–Секстанта по причине их близости к нам одно время причисляли к Местной группе галактик. Но, изучив движение её главных членов – небольших галактик NGC 3109, Насос, Секстант A и Секстант B, – специалисты заключили, что это самостоятельная группа, медленно удаляющаяся от Местной группы.

Подгруппа Млечного Пути

Находясь в недрах своей галактики, в окружении облаков межзвёздного газа и пыли, мы пока не можем точно представить внешний вид своей звёздной системы и даже обнаружить всех её соседей, особенно тех, которые скрыты за полосой Млечного Пути. Некоторые из спутников Галактики были найдены лишь недавно с помощью инфракрасных телескопов, поскольку длинноволновое излучение звёзд легче проходит сквозь межзвёздную пыль.

Изучению нашей галактики очень помогает её сравнение с близкой и подобной ей спиралью в Андромеде. Правда, у нашей галактики диск не такой симметричный, как у Туманности Андромеды: спиральные рукава Млечного Пути более «ветвистые и лохматые», и выходят они не из центра галактики, как у Андромеды, а от концов небольшого бара, пересекающего ядро Галактики. К тому же у нашей звёздной системы менее массивное гало и, соответственно, меньше шаровых скоплений. В Галактике пока обнаружено 160 шаровых скоплений; всего же их не более 200. А в Туманности Андромеды не менее 400 шаровых скоплений. Зато в диске нашей галактики происходит более интенсивный процесс звёздообразования: молодые светила формируются в несколько раз чаще, чем в Туманности Андромеды.

Некоторые спутники Галактики находятся в пределах её гало: диск Галактики имеет радиус около 40 тыс. св. лет, но сферическое гало тянется значительно дальше – до расстояния около 400 тыс. св. лет. Именно в этом объёме распределены шаровые скопления – типичные представители населения гало. А самые заметные жители гало – массивные Магеллановы Облака. Вероятно, в прошлом они были дальше от центра Галактики и составляли связанную пару. Но постепенно Магеллановы Облака приближаются в центру Галактики, теряют связь друг с другом и вещество из своих внешних областей: вдоль орбиты за ними тянется «хвост» из потерянных звёзд и газа – Магелланов Поток.

Магеллановы Облака очень богаты газом и молодыми звёздами: хотя их суммарная масса раз в 10 меньше, чем у нашей Галактики, межзвёздного вещества в них почти столько же. Очень крупные области звёздообразования наблюдаются в БМО, причём изучать их там даже легче, чем в запылённом Млечном Пути. В БМО обнаружено множество молодых звёздных скоплений с массивными звёздами, а также многочисленные следы взрывов сверхновых звёзд. Единственная сверхновая, наблюдавшаяся в XX в. в пределах Местной группы, вспыхнула именно в БМО в феврале 1987 г.; её обозначение – SN 1987A.

По неясной пока причине в БМО около 4 млрд лет назад произошла вспышка звёздообразования. Память о ней сохранилась в виде большого количества звёздных скоплений именно такого воз-

раста. Не исключено, что причиной этого послужило сближение Облаков друг с другом или с Галактикой. Изучение более далёких двойных галактик показало, что их взаимные сближения часто повышают в них интенсивность звёздообразования.

Судьба Магеллановых Облаков представляется вполне ясно: совершив ещё несколько оборотов вокруг Галактики и приблизившись к её центру, они будут разорваны приливными силами и «размазаны» вдоль орбиты. Их звезды и звёздные скопления войдут в состав Галактики, но ещё долго будут двигаться широким потоком, напоминающим об их взаимной генетической связи. Несколько таких потоков уже обнаружено в гало Галактики. Вероятно, это остатки ранее поглощённых спутников, подобных Магеллановым Облакам или менее крупных.

Подгруппа Туманности Андромеды

К сожалению, диск Туманности Андромеды повёрнут к нам почти ребром: луч нашего зрения составляет с плоскостью диска угол всего в 15° (с. 14 цветной вкладки). Поэтому изучать структуру спиральных рукавов Андромеды не намного легче, чем структуру Млечного Пути. Впрочем, для астрономов Туманности Андромеды наша Галактика тоже «не подарок»: они видят наш диск под углом всего в 21°.

Как наиболее крупный член Местной группы, туманность Андромеды окружена большой свитой спутников. Вместе с ними и спиралью M33 она образует подгруппу звёздных островов, занимающую созвездия Андромеды, Кассиопеи, Треугольника и Рыб. Известный астроном Харлоу Шепли называл эту область «Архипелагом Андромеды».

Подобно тому как Магеллановы Облака тесно соседствуют с нашей Галактикой, крупнейшие спутники Андромеды расположены очень близко к её центру. Правда, сами они совсем не похожи на богатые газом и молодыми звёздами Магеллановы Облака. Спутники Андромеды — это сфероидальные галактики, почти не содержащие межзвёздного вещества. Среди них выделяется эллиптическая галактика M32, компактная и очень плотная, с довольно массивным ядром. Она обращается в опасной близости от Туманности Андромеды и подвержена её сильному гравитационному влиянию, которое уже «ободрало» наружные части этого спутника, а через несколько миллиардов лет приведёт к его окончательному разрушению.

Немного дальше от спирального хозяина движется вытянутый сфероид NGC 205. Он также испытывает приливное влияние массивной Андромеды: его самые наружные части заметно искривлены. В NGC 205 замечены несколько шаровых скоплений, немного межзвёздного газа и относительно молодых звёзд. Приблизительно таковы же, хотя и менее массивны, два более далёких спутника Андромеды — NGC 147 и NGC 185. По-видимому, они образуют двойную систему и вместе обращаются вокруг спирального хозяина.

В 2003 г. у Туманности Андромеды был обнаружен новый спутник (And VIII), наблюдаемый на фоне её диска, приблизительно там же, где галактика M32. Этот спутник сложно заметить на обычных фотографиях, поскольку он уже сильно разрушен приливным влиянием главной галактики. Он вытянут почти на 10 кпк в длину при ширине всего в несколько килопарсеков. Его светимость около 200 млн солнечных; в нём замечено несколько планетарных туманностей и шаровых скоплений, а также около 400 тыс. солнечных масс нейтрального водорода. Такого рода открытия доказывают, что состав Местной группы галактик ещё не до конца описан.

По данным разных авторов, изучавших динамику ближайших галактик, полная масса Местной группы галактик составляет от 1,2 до $2{,}3 \cdot 10^{12}$ масс Солнца. В любом случае это в несколько раз больше, чем дают прямые подсчёты массы, заключённой в наблюдаемых звёздах и межзвёздной среде. Следовательно, в Местной группе есть невидимое вещества, так называемая скрытая масса, или тёмная материя, в основном сосредоточенная в протяжённых гало Галактики и Туманности Андромеды.

МЕСТНЫЙ СТАНДАРТ ПОКОЯ (Local Standard of Rest, LSR) — мнимая точка, располагающаяся в галактической плоскости в окрестности Солнца и движущаяся с круговой скоростью вокруг центра Галактики. Эта точка удалена от центра Галактики на расстояние $R_0 \approx 8$ кпк и движется по круговой орбите в направлении часовой стрелки (если смотреть со стороны северного полюса Галактики) со скоростью $V_0 \approx 220$ км/с (во всяком случае, эта скорость лежит в диапазоне от 202 до 241 км/с). Определённый таким образом местный стандарт покоя иногда называют «динамическим».

Само Солнце движется не совсем в плоскости Галактики и не точно по круговой орбите, хотя и слабоэллиптичной (эксцентриситет $e < 0{,}1$). Относительно местного стандарта покоя скорость Солнца, по данным каталога Гиппаркос, составляет $v_\odot = 18$ км/с. В прямоугольной системе координат компоненты этой скорости составляют

$$U_\odot = 11{,}1 \pm 0{,}7 \text{ км/с}$$
$$V_\odot = 12{,}2 \pm 0{,}5 \text{ км/с}$$
$$W_\odot = 7{,}2 \pm 0{,}4 \text{ км/с},$$

где компонент U направлен к центру Галактики, V — в направлении вращения галактического диска, W — к северному полюсу Галактики. Это движение Солнца по отношению к местному стандарту покоя обычно называют пекулярным движением Солнца.

Изредка можно встретить понятие «кинематический местный стандарт покоя», которым, как правило, пользуются наблюдатели. Фактически это центроид (геометрический центр) звёзд определённого типа, занесенных в некоторый каталог, например в каталог собственных движений и лучевых скоростей ближайших звёзд. Движение Солнца относительно определённого кинематического местного стандарта покоя чаще называют движением Солнца к апексу. «Стандартное движение Солнца» определяется по средней скорости окружающих звёзд спектральных классов от A до G независимо от класса светимости (т. е. как близких карликов, так и весьма далёких гигантов). Его скорость составляет около 20 км/с в направлении «стандартного апекса» ($\alpha = 18^h$, $\delta = +30°$ в эпоху 1900.0; галактические координаты $l = 56°$ $b = 23°$). По близким звёздам определяют «основное движение Солнца», которое составляет 15,4 км/с в направлении $\alpha = 267{,}4°$, $\delta = +25°$ (эпоха 1950.0); $l = 50°$, $b = 24°$.

МЕСЯЦ — промежуток времени, близкий к периоду обращения Луны вокруг Земли. В солнечных календарях год делят на календарные месяцы разной продолжительности: в григорианском календаре год состоит из 12 месяцев продолжительностью от 28 до 31 сут, не согласованных с фазами Луны.

Синодический месяц — период смены лунных фаз, который, в частности, служит основанием лунных календарей. В среднем равен 29 сут 12 час 44 мин 02,78 с = 29,5305882 сут, но меняется от 29,25 сут до 29,83 сут вследствие эллиптичности лунной орбиты.

Сидерический (т. е. звёздный) *месяц* — промежуток времени, за который Луна совершает оборот вокруг Земли и возвращается в ту же точку небесной сферы относительно звезд; равен периоду вращения Луны (27 сут 07 час 43 мин 11,47 с = 27,321661 сут).

Тропический месяц — период возвращения Луны к той же эклиптической долготе. Это понятие практически не употребляется.

Аномалистический месяц — промежуток времени между последовательными прохождениями Луны через перигей её орбиты (27,5546 сут).

Драконический месяц — промежуток времени между последовательными прохождениями Луны через один и тот же узел её орбиты на эклиптике (27,2122 сут); имеет значение в теории затмений.

МЕТАСТАБИЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ — энергетический уровень атома или иона, все пе-

реходы с которого на более низкие уровни являются запрещёнными. Электрон, попадающий на метастабильный уровень, оказывается в своеобразной ловушке. В таком состоянии атом может долго оставаться возбуждённым. В технике это используется для создания мазерных и лазерных генераторов излучения. В некоторых холодных межзвёздных молекулярных облаках перенаселённость метастабильных уровней иногда приводит к появлению естественных мазеров.

МЕТЕОР — светящийся след, остающийся на мгновение после разрушения влетевшего в атмосферу планеты небольшого космического тела. В народе метеоры часто называют «падающими звёздами».

Греческое слово *meteora* означает «атмосферное (или небесное) явление», а *meteoros* — «то, что в верхнем воздухе». Греки использовали слово «метеор» для описания различных атмосферных феноменов. Со времени Аристотеля и вплоть до конца XVIII в. все непериодические и сравнительно кратковременные световые феномены, наблюдавшиеся на небесной сфере, рассматривались как явления атмосферной природы и имели общее название «огненные метеоры». Термин «метеор» понимался весьма широко. Различались три типа метеоров: «воздушные метеоры» (ветер, бури, смерчи и т. п.), «водные метеоры» (дождь, снег, град, роса, туман) и «огненные метеоры». В число последних включались молния, северное сияние, зодиакальный свет, блуждающие огни (над кладбищами и болотистыми местностями), свечения на остриях высоких предметов, ложные солнца, цветные ореолы вокруг Луны и даже солнечная корона (наблюдавшаяся во время затмений), а до 1570-х гг. — ещё и кометы. Во французском языке и ныне слово «метеор» означает не только «падающую звезду», но и любое кратковременное атмосферное явление, в том числе — радугу, гало, молнию, некоторые виды осадков.

Однако теперь этим словом обозначают явления, возникающие при попадании в верхние слои атмосферы твёрдых частиц из космоса. В узком смысле «метеор» — это светящаяся полоса вдоль трассы распадающейся частицы. Однако в обиходе этим словом часто обозначают и саму частицу, хотя по-научному она называется метеороидом. Если часть метеороида достигает поверхности, то её называют метеоритом. Метеоры чрезвычайно высокой яркости астрономы называют болидами; но иногда этим термином обозначают только события, сопровождавшиеся звуковыми явлениями.

Частота появления. Количество метеоров, которые может увидеть наблюдатель за определённый период времени, не постоянно. В хороших условиях, вдали от городских огней и при отсутствии яркого лунного света, наблюдатель может заметить 5–10 метеоров в час. У большинства метеоров свечение продолжается около секунды и выглядит слабее самых ярких звёзд. После полуночи метеоры появляются чаще, поскольку наблюдатель в это время располагается на передней по ходу орбитального движения стороне Земли, на которую попадает больше частиц. Каждый наблюдатель может видеть метеоры в радиусе около 500 км вокруг себя. Всего же за сутки в атмосфере Земли возникают сотни миллионов метеоров. Полная масса влетающих в атмосферу частиц оценивается в тысячи тонн в сутки — ничтожная величина по сравнению с массой самой Земли. Измерения с космических аппаратов показывают, что за сутки на Землю попадает также около 100 т микроскопических пылевых частиц, слишком мелких, чтобы вызывать появление видимых метеоров.

Наблюдение метеоров. Визуальные наблюдения дают немало статистических данных о метеорах, но для точного определения их яркости, высоты и скорости полёта необходимы специальные приборы. Уже более века астрономы используют камеры для фотографирования метеорных следов. Вращающаяся заслонка (обтюратор) перед объективом камеры делает след метеора похожим на пунктирную линию, что помогает точно определять интервалы времени. Обычно с помощью этой заслонки делают от 5 до 60 экспозиций в секунду. Если два наблюдателя, разделённые расстоянием в десятки километров, одновременно фотографируют один и тот же метеор, то можно точно определить высоту полёта частицы, длину её следа и — по интервалам времени — скорость полёта.

Начиная с 1940-х гг. астрономы наблюдают метеоры с помощью радаров. Сами космические частицы слишком малы, чтобы их зарегистрировать, но при полёте в атмосфере они оставляют плазменный след, который отражает радиоволны. В отличие от фотографии, радар эффективен не только ночью, но также днём и в облачную погоду. Радар замечает мелкие метеороиды, недоступные фотокамере. Траектория полёта точнее определяется по фотографиям, а радар позволяет точно измерять расстояние и скорость. Для наблюдения метеоров в недалеком прошлом использовали телевизионную технику, а электронно-оптические преобразователи позволяли регистрировать слабые метеоры. В последнее время для этих целей используют камеры с ПЗС-матрицами. В 1992 г. при записи на видеокамеру спортивных соревнований был зафиксирован полёт яркого болида, закончившийся падением метеорита.

Скорость и высота. Скорость, с которой метеороиды влетают в атмосферу, заключена в пределах от 11 до 72 км/с. Первое значение — это скорость, приобретаемая телом только за счёт притяжения Земли. Её обычно называю «второй космической скоростью»: именно до такой скорости требуется разогнать космический аппарат, чтобы он смог вырваться из гравитационного поля Земли.

Метеороид, прибывший из далёких областей Солнечной системы, вследствие притяжения к Солнцу приобретает вблизи земной орбиты скорость 42 км/с. Орбитальная скорость Земли около 30 км/с. Если встреча происходит «в лоб», то их относительная скорость 72 км/с. Любая частица, прилетевшая из межзвёздного пространства, должна иметь ещё бо́льшую скорость. Отсутствие столь быстрых частиц доказывает, что все метеороиды — члены Солнечной системы.

Высота, на которой метеор начинает светиться или отмечается радаром, зависит от скорости входа частицы. Для быстрых метеороидов эта высота может превышать 110 км, а полностью частица разрушается на высоте около 80 км. У медленных метеороидов это происходит ниже, где больше плотность воздуха. Метеоры, сравнимые по блеску с ярчайшими звёздами, образуются частицами с массой в десятые доли грамма. Более крупные метеороиды обычно разрушаются дольше и достигают малых высот. Они существенно тормозятся из-за трения в атмосфере. Редкие объекты опускаются ниже 40 км. Если метеороид достигает высот 10–30 км, то его скорость становится менее 5 км/с, и он может упасть на поверхность в виде метеорита.

Орбиты. Зная скорость метеороида и направление, с которого он подлетел к Земле, астроном может вычислить его орбиту до столкновения. Земля и метеороид сталкиваются в том случае, если их орбиты пересекаются и они одновременно оказываются в этой точке пересечения. Орбиты метеороидов бывают как почти круговыми, так и предельно эллиптичными, уходящими от Солнца дальше планетных орбит.

Если метеороид приближается к Земле медленно, значит, он движется вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля: против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса орбиты. Большинство орбит метеороидов выходит за пределы земной орбиты, и их плоскости наклонены к эклиптике не очень сильно. Падение почти всех метеоритов связано с метеороидами, имевшими скорости менее 25 км/с; их орбиты полностью лежат внутри орбиты Юпитера. Большую часть времени эти объекты проводят между орбитами Юпитера и Марса, в Главном поясе астероидов. Поэтому считается, что астероиды служат источником метеоритов. К сожалению, мы можем наблюдать только те метеороиды, которые пересекают орбиту Земли; очевидно,

эта группа недостаточно полно представляет все малые тела Солнечной системы.

У быстрых метеороидов орбиты более вытянуты и сильнее наклонены к эклиптике. Если метеороид подлетает со скоростью более 52 км/с, то он движется вокруг Солнца в направлении, противоположном направлению движения планет. Тот факт, что по таким орбитам движутся многие кометы, указывает, что эти метеороиды являются осколками комет.

Болиды. Метеоры, которые ярче самых ярких планет, часто называют болидами. Иногда наблюдаются болиды ярче полной луны, и крайне редко такие, что вспыхивают ярче Солнца. Болиды возникают от наиболее крупных метеороидов. Среди них много осколков астероидов, которые плотнее и крепче, чем фрагменты кометных ядер. Но всё равно большинство астероидных метеороидов разрушается в плотных слоях атмосферы. Если же им удаётся проникнуть в атмосферу достаточно глубоко, некоторые из них падают на поверхность в виде метеоритов. Из-за высокой яркости вспышки болиды кажутся значительно ближе, чем в действительности. Поэтому необходимо сопоставить наблюдения болидов из различных мест, прежде чем организовывать поиск метеоритов. Астрономы оценили, что ежедневно по всей Земле около 12 болидов заканчивается падением более чем килограммовых метеоритов. Большинство из них падает в океан, но некоторые из упавших на сушу рано или поздно обнаруживаются.

Физические процессы. Разрушение метеороида в атмосфере происходит путём абляции, т. е. отщепления атомов с его поверхности под действием налетающих частиц воздуха. Остающийся за метеороидом горячий газовый след излучает свет, но не в результате химических реакций, а вследствие рекомбинации возбуждённых ударами атомов. В спектрах метеоров видно множество ярких эмиссионных линий, среди которых преобладают линии железа, натрия, кальция, магния и кремния. Видны также линии атмосферного азота и кислорода. Определённый по спектру химический состав метеороидов согласуется с данными о кометах и астероидах, а также о межпланетной пыли, собранной в верхних слоях атмосферы.

Многие метеоры, особенно быстрые, оставляют за собой светящийся след, наблюдаемый секунду или две, а порой значительно дольше. Когда падали крупные метеориты, след наблюдался несколько минут. Свечением атомов кислорода на высотах около 100 км можно объяснить следы длительностью не более секунды. Более долгие следы возникают из-за сложного взаимодействия метеороида с атомами и молекулами атмосферы. Пылевые частицы вдоль траектории болида могут образовать яркий след, если верхние слои атмосферы, где они рассеяны, освещены Солнцем, когда у наблюдателя внизу глубокие сумерки.

Скорости метеороидов существенно сверхзвуковые. Когда метеороид достигает сравнительно плотных слоёв атмосферы, возникает мощная ударная волна, и сильные звуки могут разноситься на многие десятки километров. Эти звуки напоминают раскаты грома или далёкую канонаду. Из-за большого расстояния звук приходит на минуту или две позже появления болида. Несколько десятилетий астрономы спорили о реальности аномального звука, который некоторые наблюдатели слышали непосредственно в момент появления болида и описывали как треск или свист. Исследования показали, что причиной звука служат возмущения электрического поля вблизи болида, под влиянием которых издают звук близкие к наблюдателю объекты — волосы, мех, деревья.

Метеоритная опасность. Крупные метеороиды могут разрушать космические аппараты, а мелкие пылинки постоянно истачивают их поверхность. Удар даже небольшого метеороида может сообщить спутнику электрический заряд, который выведет из строя электронные системы. Риск в общем-то невелик, но всё же запуски космических аппаратов иногда откладывают, если ожидается сильный метеорный поток. Если аппарат уже на орбите, стараются ориентировать его так, чтобы метеороиды нанесли ему минимальный ущерб: например, орбитальные телескопы направляют в антиапекс потока, чтобы микрометеориты не повредили зеркало.

МЕТЕОРИТ (греч. «камень с неба») — твёрдое тело естественного происхождения, упавшее на поверхность Земли из космоса. Метеориты — это неиспарившиеся остатки метеороидов, которые считаются фрагментами астероидов и комет.

Метеориты — старейшие среди известных минералов (4,5 млрд лет), поэтому в них должны сохраниться следы процессов, сопровождавших формирование планет. Пока на Землю не были доставлены образцы лунного грунта, метеориты оставались единственными образцами внеземного вещества. Геологи, химики, физики и металлурги собирают и изучают метеориты уже более 200 лет. Из этих исследований возникла наука о метеоритах.

Хотя первые сообщения о падении метеоритов появились давно, учёные относились к ним весьма скептически. Но разнообразные факты заставили их в конце концов поверить в существование метеоритов. В 1800–1803 гг. несколько известных европейских химиков сообщили, что химический состав «метеорных камней» из разных мест падения схож между собой, но отличается от состава земных пород. Наконец, когда в 1803 г. в Эгле (Франция) разразился ужасный «каменный дождь», усыпавший землю осколками, что было засвидетельствовано множеством очевидцев, Французская академия наук вынуждена была согласиться, что это действительно «камни с неба». С этого момента факт падения на Землю космических тел был признан наукой. Для их названия сначала использовали термины «аэролит» и «метеоролит» (от греч. *lithos* — камень), т. е. «камень из воздуха, с неба», введённый Теодором Гроттусом (1785–1822) в 1820–1821 гг. Термины «метеорит» и «метеороид» стали употребляться после 1860 г.

По способу обнаружения метеориты подразделяют на «падения» (т. е. замеченные в процессе падении, обычно — как болиды) и «находки» (т. е. обнаруженные на земле по специфическому отличию их внешнего вида). Если человек видел, как метеорит падал сквозь атмосферу, и затем действительно обнаружил его на земле (событие очень редкое), то такой метеорит называют «упавшим». Если же он был найден случайно и опознан, что типично для железных метеоритов, то его называют «найденным». Один из старейших сохранившихся найденных метеоритов упал в 1492 г.; этот 127-килограммовый каменный метеорит выпал на пшеничное поле близ города Энсисем в Эльзасе (ныне Франция).

Каждый год несколько метеоритов подбирают сразу после их наблюдавшегося падения. К тому же всё больше обнаруживают старых метеоритов, особенно в тех местах, где их легко заметить. В двух местах на востоке шт. Нью-Мексико, где ветер постоянно выдувает почву, было найдено 90 метеоритов. На поверхности испаряющихся ледников в Антарктиде были обнаружены тысячи метеоритов. Много метеоритов было найдено в пустынях. Недавно упавшие метеориты покрыты остеклованной спёкшейся коркой, которая темнее внутренней части.

Метеориты представляют большой научный интерес; в большинстве крупных естественнонаучных музеев и во многих университетах есть специалисты по метеоритам. На февраль 2010 г. во всех метеоритных коллекциях мира было зарегистрировано 1086 падений и 38 660 находок метеоритов. В некоторых случаях обнаруживается не один, а несколько осколков. Например, после метеоритного дождя 1912 г. в Хольбруке (Аризона) было собрано более 20 тыс. фрагментов.

Обычно метеорит получает имя по названию того места, где он обнаружен. Например, Сихотэ-Алинский метеорит упал в Уссурийской тайге в горах Сихотэ-Алинь на Дальнем Востоке СССР 12 февраля 1947 г. Он раздробился в атмосфере и выпал железным дождём на площа-

ди 35 км². За несколько лет поисков были собраны многие десятки тысяч его фрагментов общей массой более 31 т. А полная масса осколков этого железистого метеорита оценивается в 60–100 т.

Характерные внешние признаки метеорита — оплавленная, обычно покрытая чёрной корой поверхность с характерными вмятинами — регмаглиптами (следами сверхзвукового полёта в атмосфере). По составу обычно различают каменные, железо-каменные и железные метеориты. Последние в основном состоят из железа и никеля.

Поиск метеоритов особенно продуктивен на светлых безжизненных равнинах (снег, лёд, песок), где тёмный метеорит легко заметить издалека, поэтому особенно много метеоритов обнаружено при систематическом поиске в аравийских и австралийских пустынях, в Сахаре и Антарктиде. Так, на ледяных полях Антарктиды найдено более 23 тыс. метеоритов, в Северной Африке — более 2 тыс., тогда как в США — около 1,5 тыс., в Индии — 132, в России — 119.

Среди найденных метеоритов большинство имеют вес от нескольких граммов до нескольких килограммов. Крупнейший из найденных, железный метеорит Гоба, весит около 60 т и до сих пор лежит там же, где был обнаружен, — в Южной Африке. Большинство метеоритов представляют собой осколки астероидов, но некоторые попали на Землю с Луны и, возможно, даже с Марса.

До тех пор, пока метеорит не достиг Земли, его называют метеороидом. Они влетают в атмосферу со скоростями от 11 до 70 км/с. На высоте около 100 км из-за трения о воздух метеороид начинает нагреваться; его поверхность раскаляется, и слой толщиной в несколько миллиметров плавится и испаряется. В это время его видно как яркий метеор. Расплавленное и испарившееся вещество непрерывно сносится напором воздуха — этот процесс называют абляцией. Иногда под напором воздуха метеорит дробится на множество фрагментов. Проходя сквозь атмосферу, он теряет от 10 до 90% начальной массы. Но внутри метеорит обычно остаётся холодным, поскольку не успевает прогреться за те 5–10 секунд, что длится падение. Преодолевая сопротивление воздуха, небольшие метеориты к моменту удара о землю существенно снижают скорость полёта и углубляются в грунт обычно не более чем на 1 м, а иногда просто остаются на поверхности. Но крупные метеориты тормозятся незначительно и при ударе производят взрыв с образованием кратера, такого, например, как в Аризоне или на Луне.

По разным оценкам, на Землю в сутки попадает от 100 до 1000 т твёрдого космического вещества. Из этого количества менее 1% (т. е. порядка 1 т/сут) выпадает на поверхность в виде метеоритов. Частицы с массами менее 10^{-6} г (микрометеороиды) тормозятся в атмосфере Земли раньше, чем успевают нагреться до температуры испарения, поэтому они практически не разрушаются и не светятся, а спокойно оседают на поверхность планеты. Не зафиксировано надёжно ни одного случая, чтобы метеорит убил человека, хотя попадания в дома и автомобили случались. В 1911 г. упавший в Египте метеорит убил собаку; оказалось, что это был очень редкий метеорит с Марса.

Кроме академических и музейных коллекций метеоритов, существует немало частных коллекций, а также коллекций при планетариях и астрономических клубах. В мире весьма интенсивно происходит торговля метеоритами. Цены варьируются от одного до тысячи долларов США за грамм. Самые дорогие метеориты — прилетевшие, как считается, с Луны или Марса.

Типы метеоритов. Встречаются метеориты из различного вещества. Некоторые в основном состоят из сплава железа и никеля, содержащего до 40% никеля. Среди упавших метеоритов всего 5,7% железных, но в коллекциях их доля значительно больше, поскольку они медленнее разрушаются под влиянием воды и ветра, к тому же их легче обнаружить по внешнему виду. Если отполировать срез железного метеорита и слегка протравить кислотой, то часто на нём можно увидеть кристаллический рисунок из пересекающихся полос, образованный сплавами с различным содержанием никеля. Этот рисунок называют «видманштеттеновы фигуры» в честь А. де Видманштеттена, первым наблюдавшего их в 1808 г.

Каменные метеориты подразделяют на две большие группы: хондриты и ахондриты. Наиболее часто встречаются хондриты, составляя 84,8% от всех упавших метеоритов. Они содержат округлые зёрна миллиметрового размера — хондры; некоторые из метеоритов почти целиком состоят из хондр. В земных породах хондры не найдены, но похожие по размеру стекловидные зёрна обнаружены в лунном грунте. Возможно, хондры являлись исходным веществом планет. Химики тщательно изучили их, поскольку химический состав хондр, вероятно, представляет первичное вещество Солнечной системы. Этот стандартный состав называют «космическим обилием элементов». В хондритах определённого типа, содержащих до 3% углерода и 20% воды, усиленно искали признаки биологического вещества, но ни в этих, ни в других метеоритах не обнаружили никаких признаков живых организмов. Ахондриты лишены хондр и по виду напоминают лунную породу.

Родительские тела метеоритов. Изучение минералогического, химического и изотопного состава метеоритов показало, что они являются осколками более крупных объектов Солнечной системы. Максимальный радиус этих родительских тел оценивается в 200 км. Примерно такой размер имеют самые крупные астероиды. Оценка основана на скорости остывания железного метеорита, при которой получаются два сплава с никелем, образующих видманштеттеновы фигуры. Каменные метеориты, вероятно, были выбиты с поверхности небольших планет, лишённых атмосферы и покрытых кратерами, как Луна. Космическое излучение разрушило поверхность этих метеоритов так же, как и лунных камней. Тем не менее химический состав метеоритов и лунных образцов настолько различается, что совершенно очевидно — метеориты прибыли не с Луны. Учёные смогли сфотографировать несколько метеоритов в процессе падения и вычислить по фотографиям их орбиты: оказалось, что эти тела пришли из пояса астероидов. Вероятно, астероиды служат основными источниками метеоритов, хотя некоторые из них могут быть частицами испарившихся комет.

МЕТЕОРИТИКА — раздел астрономии, изучающий движение метеорных тел, их взаимодействие с атмосферой при падении на Землю, состав и другие свойства метеоритов.

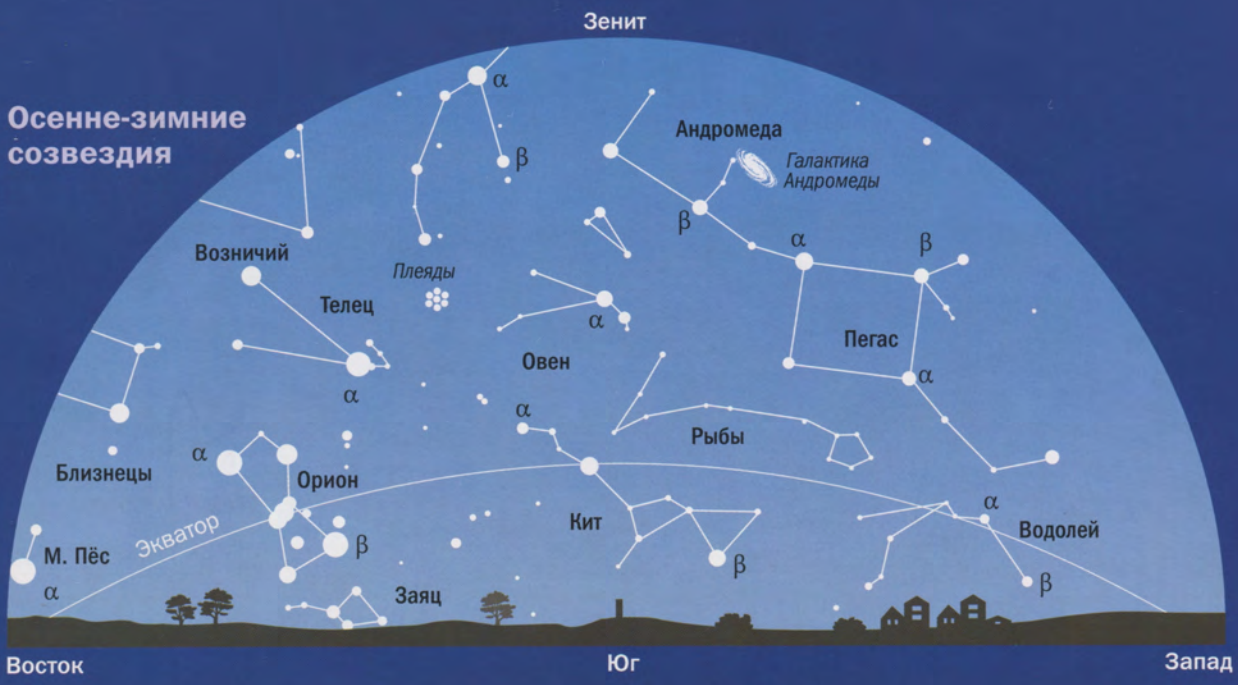
МЕТЕОРИТНЫЙ КРАТЕР — чашеобразное углубление в грунте с валом на краях, возникающее в месте падения крупного метеорита.

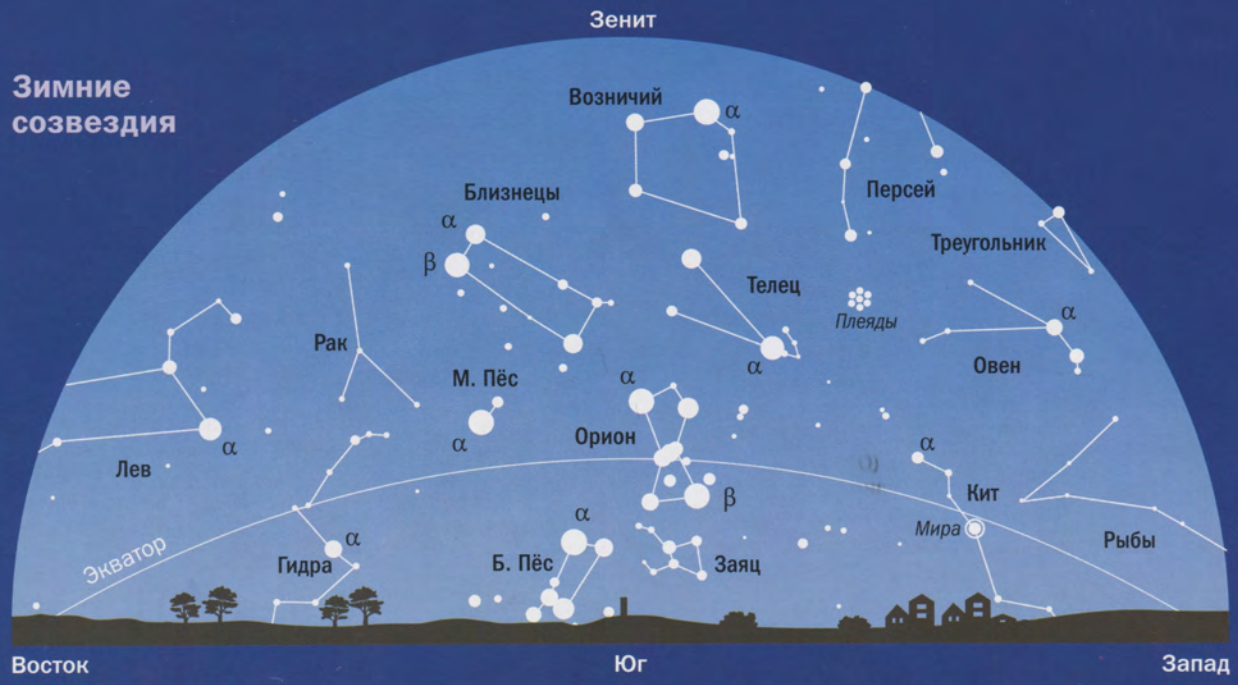
МЕТЕОРНОЕ ВЕЩЕСТВО — совокупность метеорных тел.

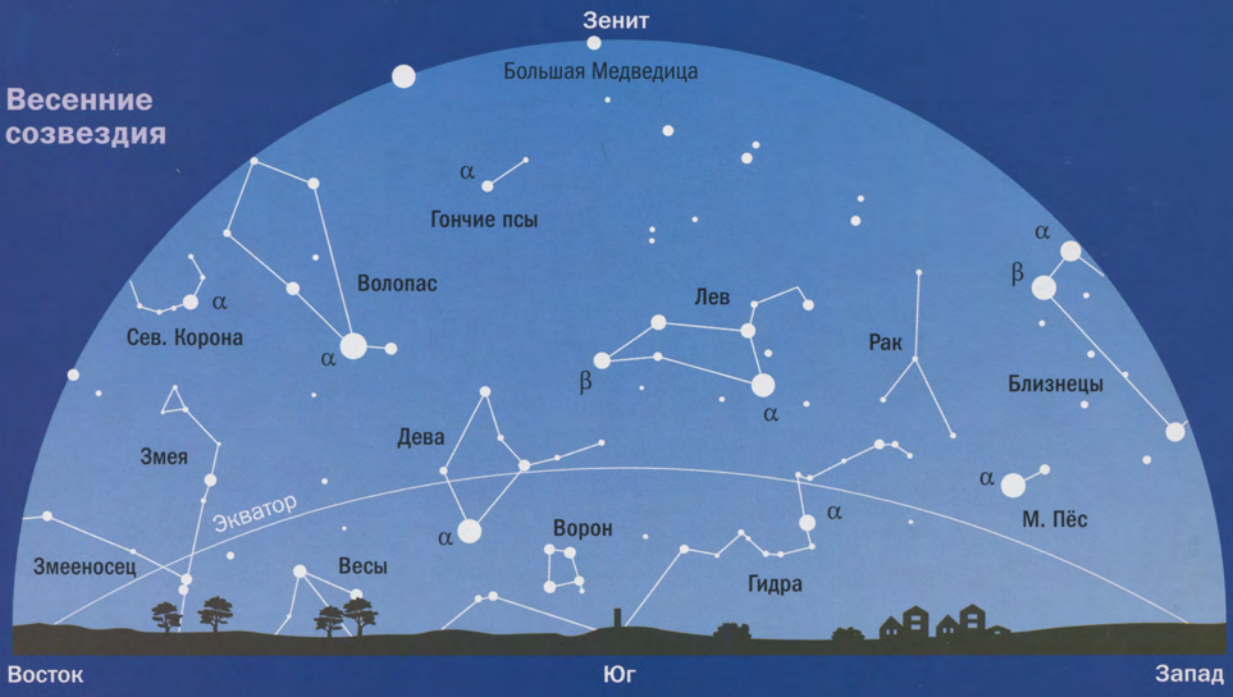
МЕТЕОРНЫЙ ДОЖДЬ — то же, что *Звёздный дождь*.

МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК — множественное явление метеоров в течение нескольких часов или суток, появляющихся с одного направления на небе. В некоторые дни года метеоры появляются гораздо чаще, чем обычно. Это явление и называют метеорным потоком. Наиболее интенсивные метеорные потоки называют «метеорными дождями» или «звёздными дождями»: они порождают десятки тысяч метеоров в час, создавая на небе изумительное явление.

Систематическое появление метеоров в определённой области неба и в определённые дни года вызвано пересечением орбиты Земли с общей орбитой множества метеороидов, движущихся с примерно одинаковыми и одинаково направленными скоростями. Если проследить на небе пути метеоров, то покажется, что все они вылетают из одной общей точки, называемой радиантом потока. Это явление перспективы, подобное сходящимся у горизонта рельсам, указывает, что все


Осенне-зимние созвездия
Зенит
Андромеда
Галактика Андромеды
Возничий
Плеяды
Телец
Пегас
Овен
Рыбы
Близнецы
Орион
Кит
Водолей
М. Пёс
Экватор
Заяц
Восток
Юг
Запад


Зимние созвездия
Зенит
Возничий
Близнецы
Персей
Треугольник
Телец
Плеяды
Рак
М. Пёс
Овен
Орион
Лев
Кит
Мира
Рыбы
Экватор
Гидра
Б. Пёс
Заяц
Восток
Юг
Запад


Весенние созвездия
Зенит
Большая Медведица
Гончие псы
Волопас
Сев. Корона
Лев
Рак
Близнецы
Дева
Змея
Экватор
Ворон
М. Пёс
Змееносец
Весы
Гидра
Восток
Юг
Запад


Летне-осенние созвездия
Зенит
Лебедь
Лира
Геркулес
Сев. Корона
Дельфин
Орел
Пегас
Волопас
Змея
Змея
Змееносец
Водолей
Рыбы
Экватор
Козерог
Стрелец
Весы
Скорпион
Восток
Юг
Запад


Полярные созвездия сентябрьским вечером
Зенит
Дракон
Цефей
α
β
М. Медведица
Волопас
Кассиопея
Галактика Андромеды
Андромеда
Б. Медведица
Гончие Псы
Треугольник
Персей
Возничий
Овен
Запад
Север
Восток


Полярные созвездия апрельским вечером
Зенит
Возничий
Б. Медведица
М. Медведица
Персей
Волопас
Плеяды
Кассиопея
Дракон
Треугольник
Сев. Корона
Галактика Андромеды
Цефей
Геркулес
Овен
Лира
Андромеда
Запад
Север
Восток





Зеркальный телескоп АЗТ-2 системы Кассегрена с главным зеркалом диаметром 700 мм и эквивалентным фокусным расстоянием 10,5 м. Предусмотрены также фокусы Ньютона и прямой с корректором. Монтировка параллактическая немецкая с ломаной колонной.

Телескоп построен в 1955 г. на ЛОМО (конструктор П. В. Добычин). Установлен в Москве, на Ленинских горах, в ГАИШ МГУ. Башня классическая, с полусферическим куполом, раздвигающимися створками щели и поднимающейся шторой.

Обсерватория Пик-дю-Миди во Французских Пиренеях на высоте 2865 м. Источник: Wiki.



Межамериканская обсерватория в высокогорной пустыне Атакама (Чили) функционирует как отделение Национальной оптической астрономической обсерватории (NOAO) США. Фото: NOAO.

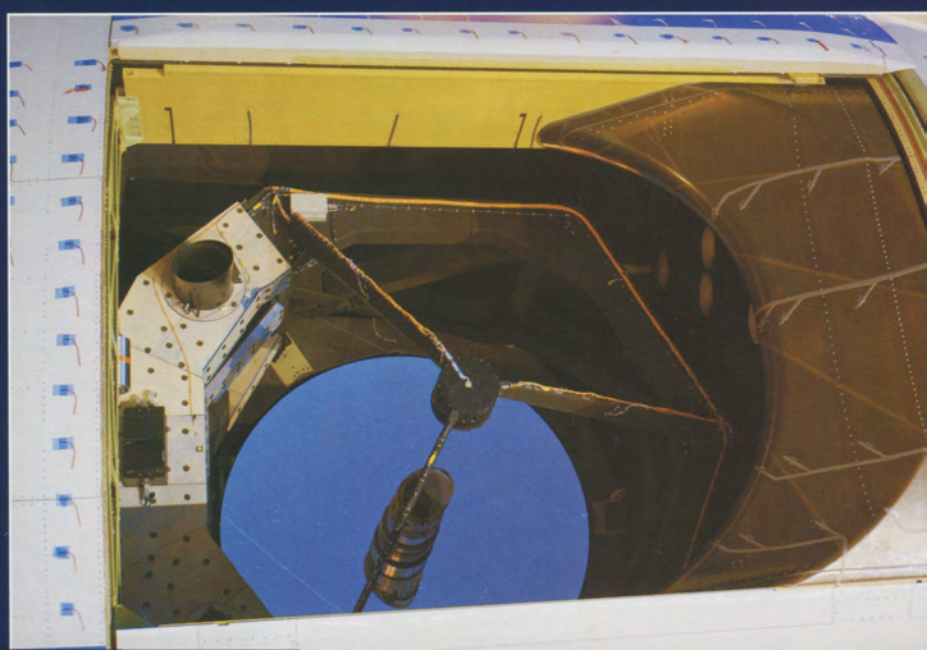




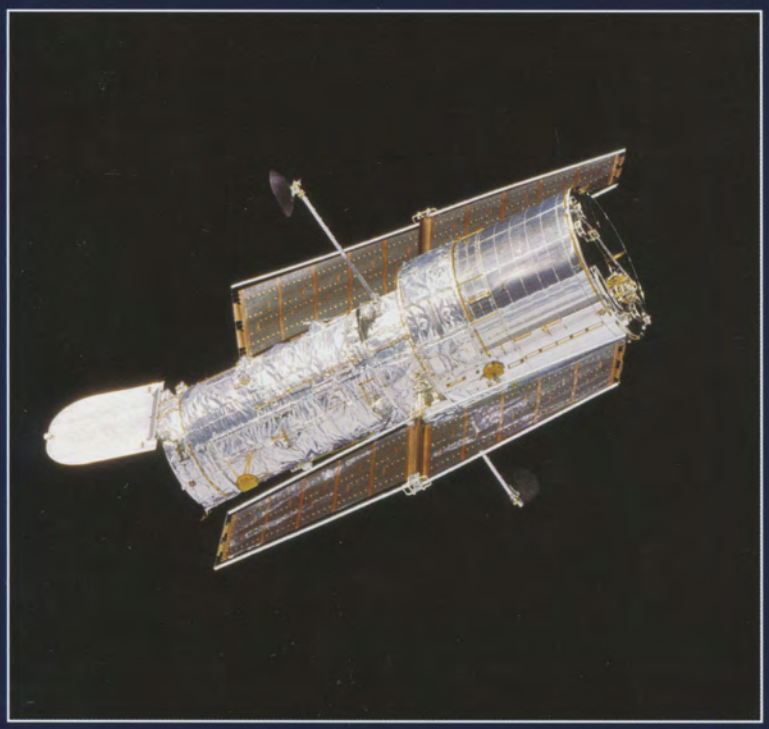
Радиотелескоп обсерватории Паркс (20 км к северу от г. Parkes, шт. Новый Южный Уэльс, Австралия). Полноповоротная антенна диаметром 64 м весит 300 т и способна вести наблюдения от зенита до высоты 30° над горизонтом. С помощью этого радиотелескопа принимались телеизображения с Луны в рамках программы «Аполлон» (1969–1972) а также было открыто более половины известных ныне радиопульсаров.

Радиотелескоп «Роберт Бёрд» (Robert C. Byrd) обсерватории Грин Бэнк (Green Bank, шт. Западная Виргиния, США). Антенна телескопа размером 100×110 м имеет форму внеосевого параболоида. Ее отражающая поверхность состоит из 2004 алюминиевых панелей, положение которых регулируется 2209 актюаторами. Телескоп работает в диапазоне от 290 МГц до 100 ГГц.

Летающая обсерватория SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) на базе самолета Boeing 747SP.



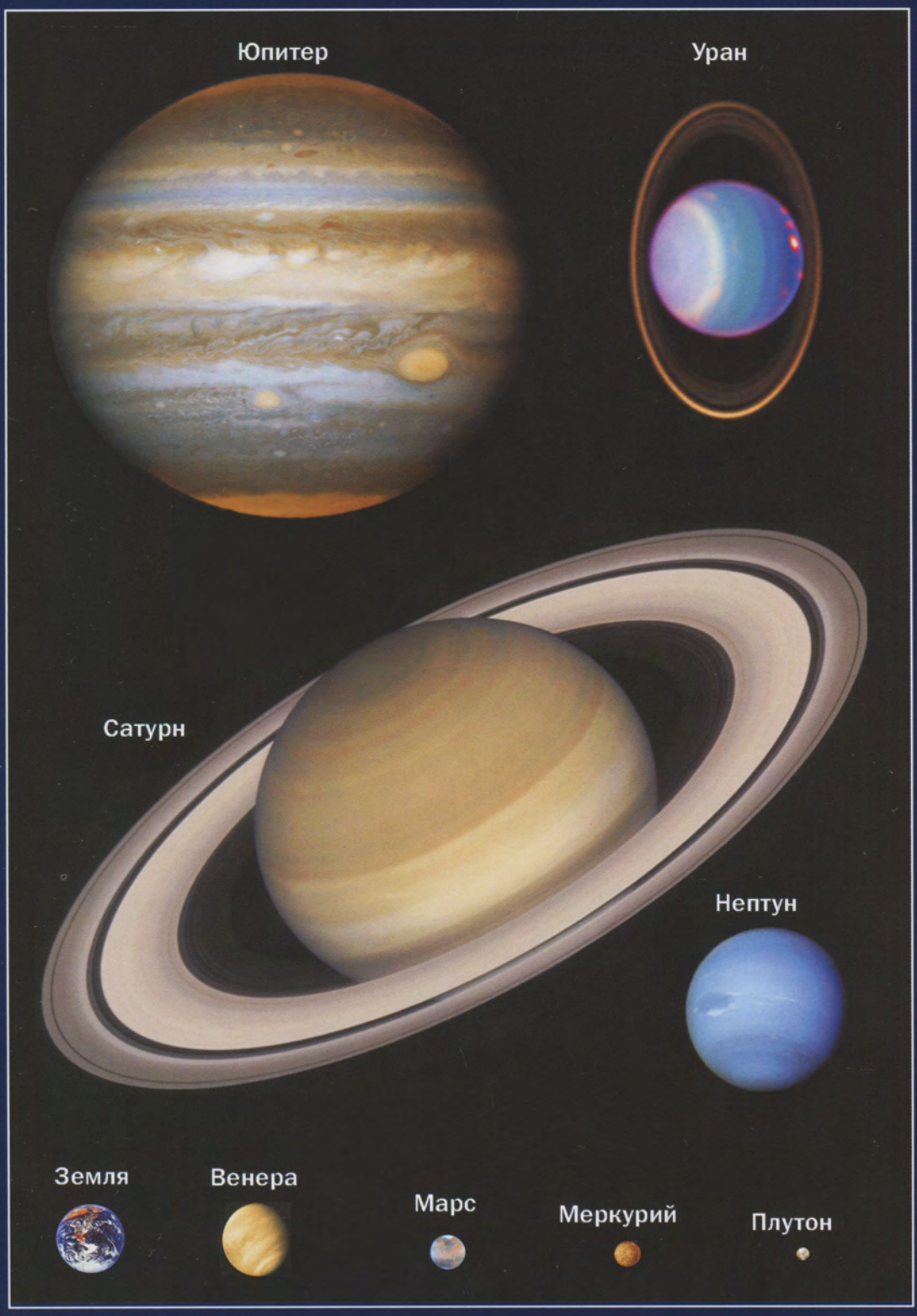
2,5-метровый телескоп расположен в хвостовом отсеке самолёта и предназначен для наблюдений в ИК-диапазоне. Фото: NASA.



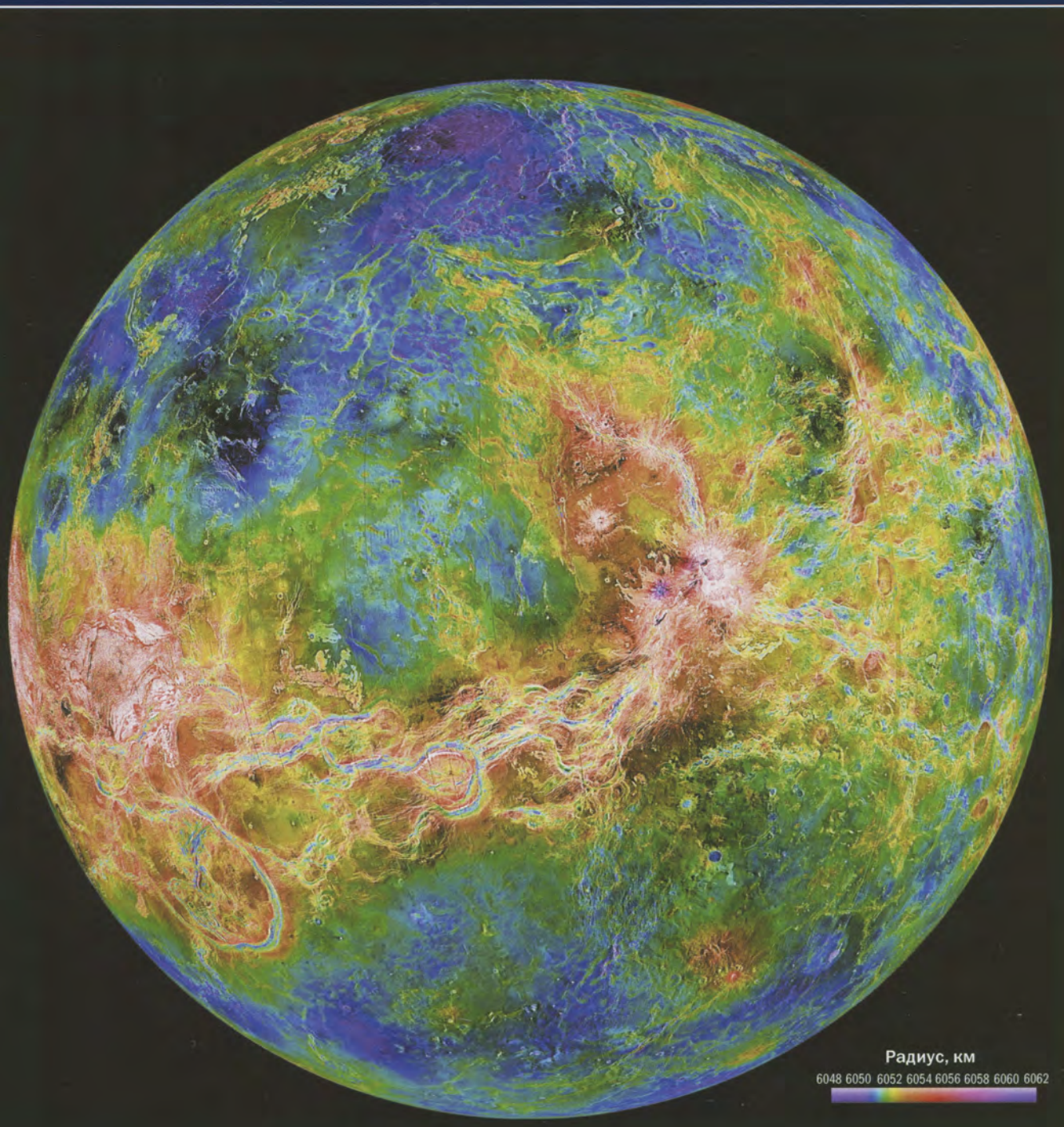
Космический телескоп «Хаббл» после второй ремонтной экспедиции 1997 г. Открыта трёхметровая крышка телескопа, в закрытом состоянии защищающая оптику от космического мусора, а в открытом — от солнечного света. Фото: NASA.

«Хаббл» в марте 2002 г. после четвёртой ремонтной экспедиции. Спутник приобрёл новые панели солнечных батарей и новое оборудование для телескопа, в частности Передовую обзорную камеру (Advanced Camera for Surveys), имеющую вдвое большие поле зрения и скорость считывания, чем предыдущая Камера широкого поля (Wide Field and Planetary Camera 2). Фото: NASA.





Планеты Солнечной системы в едином масштабе. Показан и Плутон как прототип планет-карликов.



Радарная карта рельефа Венеры. Север вверху; долгота центрального меридиана 180 градусов. Цветом отмечены уровни высоты: фиолетовый — низменности, зелёный и жёлтый — средние высоты, красный — плоскогорья, белый — горы. Данные зонда «Магеллан» (NASA).



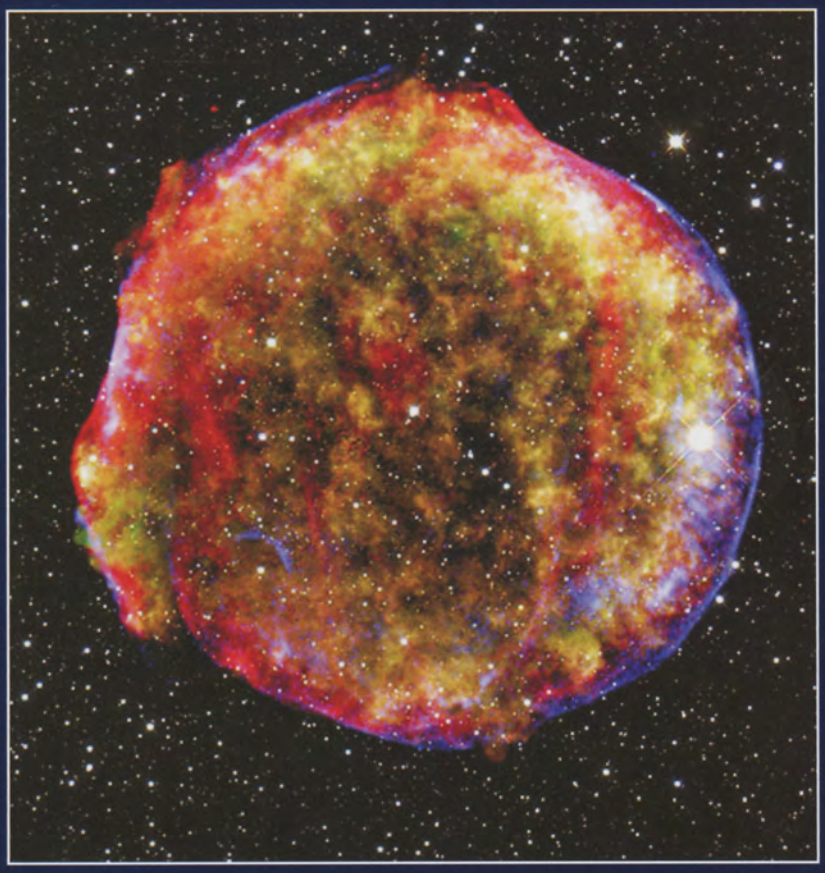
Марс в период противостояния 2001 г. Над полярными районами планеты видны белые облака из водяных кристаллов. В средних и низких широтах многие области подернуты дымкой от пылевых бурь. Фото: космический телескоп «Хаббл» (NASA, ESA).

Планетарная туманность NGC 2440 размером около 0,3 пк лежит на расстоянии около 1,2 кпк от нас в направлении созвездия Корма. В центре сброшенной звездой газовой оболочки — сжимающееся ядро звезды, превращающееся в белый карлик (яркая точка в центре туманности). Его горячая поверхность (около 200 000 К) испускает в основном УФ-излучение, которое возбуждает свечение окружающего газа. Фото: «Хаббл» (NASA, ESA).



Планетарная туманность NGC 6302 («Жук», «Бабочка»). в созвездии Скорпион. Имеет одну из самых сложных структур среди известных полярных туманностей. Центральная звезда туманности — одна из самых горячих в галактике. Фото: «Хаббл» (NASA, ESA).





Остаток сверхновой Тихо Браге в созвездии Кассиопеи. Великий датский астроном описал её вспышку в 1572 г. Взрыв звезды произошёл на расстоянии 2,3 кпк от Солнца. Сейчас на этом месте — плазменный шар, расширившийся до диаметра 5 пк. Изображение получено в результате совместной работы космического рентгеновского телескопа «Чандра» (NASA), космического ИК-телескопа «Спитцер» (NASA) и оптического 3,5-метрового телескопа в Калар-Альто (Испания).

Планетарная туманность NGC 6537 («Красный паук») в созвездии Стрелец, 1,2 кпк от Солнца. Образована потоками газа с поверхности проэволюционировавшей звезды, превращающейся в белый карлик. В центре скорость газовых потоков превосходит 1000 км/с. Фото: «Хаббл» (NASA, ESA).





Ближайшая крупная спиральная галактика - Туманность Андромеды (M31)



Обычная спиральная галактика NGC 4414. Расположена на расстоянии 19,1 Мпк от нас в направлении созвездия Волосы Вероники. Её спиральные ветви не имеют чёткого рисунка (grand design), а демонстрирую флоккулентную, т. е. прерывистую, «кусочно-рваную» структуру. Фото: «Хаббл» (NASA, ESA).



Крабовидная туманность в созвездии Телец, являющаяся остатком сверхновой SN 1054. Взрыв сверхновой в 1054 г. был описан китайскими и арабскими астрономами. Расположенная на расстоянии около 6500 св. лет (2 кпк) от Земли, туманность имеет диаметр в 11 св. лет (3,4 пк) и расширяется со скоростью около 1 500 км/с. Фото: «Хаббл» (NASA, ESA).

частицы движутся по параллельным траекториям.

Некоторые метеорные потоки (*N* — количество метеоров, отмечаемых одним наблюдателем за час; *D* — продолжительность наиболее активной части потока в сутках)

Поток	Созвездие	Дата максимума	*N*	*D*
Квадрантиды	Волопас	3 января	40	1
Лириды	Лира	21 апреля	10	2
Персеиды	Персей	11 августа	50	5
Ориониды	Орион	20 октября	20	8
Леониды	Лев	16 ноября	10	4
Геминиды	Близнецы	13 декабря	50	6

Астрономы выделили несколько десятков метеорных потоков, многие из которых демонстрируют ежегодную активность с продолжительностью от нескольких часов до нескольких недель. Большинство потоков названо по имени созвездия, в котором лежит их радиант. Например, Персеиды ежегодно наблюдаются «вылетающими» из созвездия Персей с 20 июля по 20 августа. Иногда метеорным потоком называют и сам метеороидный рой, движущийся по орбите вокруг Солнца и порождающий данный метеорный поток.

После изумительного звёздного дождя, вызванного потоком Леониды в 1833 г., В. Б. Кларк и Денисон Олмстед предположили, что он связан с определённой кометой. В начале 1867 г. Карл Петерс, Джованни Скиапарелли и Теодор Оппольцер независимо доказали эту связь, установив сходство орбит Кометы 1866 I (55P/Темпеля–Тутля) и метеорного дождя Леониды 1866 г.

Метеорные потоки наблюдаются, когда Земля пересекает траекторию роя частиц, образовавшегося при разрушении кометы. Приближаясь к Солнцу, комета нагревается его лучами и теряет вещество. За несколько столетий под действием гравитационных возмущений от планет эти частицы образуют вытянутый рой вдоль орбиты кометы. Если Земля пересекает этот поток, мы ежегодно можем наблюдать звёздный дождь, даже если сама комета в этот момент далеко от Земли. Поскольку частицы распределены вдоль орбиты неравномерно, интенсивность дождя может меняться год от года. Старые потоки настолько расширены, что Земля пересекает их много дней. В сечении некоторые потоки скорее напоминают ленту, чем шнур.

Возможность наблюдать поток зависит от направления прихода частиц к Земле. Если радиант расположен высоко на северном небе, то из южного полушария Земли поток не виден, и наоборот. Метеоры потока можно увидеть, только если радиант находится над горизонтом. Если же радиант попадает на дневное небо, то метеоры не видны, но их можно засечь радаром. Узкие потоки под влиянием планет, особенно Юпитера, могут изменять свои орбиты. Если при этом они больше не пересекают земную орбиту, то становятся ненаблюдаемыми, хотя рой частиц по-прежнему движется в космосе.

Декабрьский поток Геминиды связан с астероидом 3200/Фаэтон. Есть указания, что Земля сталкивается и с другими группами метеороидов, порождёнными астероидами, но эти потоки очень слабы.

МЕТЕОРНЫЙ СЛЕД — след в атмосфере, остающийся после пролёта метеора. Различают пылевые и газовые (ионизованные) метеорные следы. Отражение радиоволн от ионизованного метеорного следа позволяет наблюдать их радиолокационными методами даже днём.

МЕТЕОРОИД, или **метеорное тело**, — относительно небольшое твёрдое межпланетное тело (от песчинки до поперечника в 10–50 м), которое при влёте из космического пространства в атмосферу планеты становится причиной метеора и возможного выпадения метеорита на поверхность планеты. Обычно метеороид — это фрагмент кометы или астероида. Влетая в атмосферу Земли со скоростью более 11 км/с, метеороиды раскаляются и испаряются, ионизуя и возбуждая при этом атомы воздуха, из-за чего возникает наблюдаемый яркий след — метеор. Наиболее мощные метеоры — болиды — бывают видны даже днём. Именно они часто сопровождаются падением на поверхность Земли метеоритов.

МЕТИДА (*J* XVI, Metis) — естественный спутник Юпитера. Большая полуось орбиты 127,7 тыс. км. Орбитальный период 0,2948 сут = 7 час 04 мин 29 с. Эксцентриситет орбиты 0,0001. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 0,06°. Масса $3{,}6 \cdot 10^{16}$ кг. Размер 60×40×34 км. Средняя плотность 0,86 г/см^3. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск 17,5^m и максимальное угловое расстояние от планеты 42″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Автор открытия — Стивен Синнотт, «Вояджер-1», 1979 г.

МЕТОД АДИАБАТИЧЕСКОГО ИНВАРИАНТА — теоретический метод исследования, основанный на использовании приближённых законов сохранения определённых физических величин при плавном изменении свойств среды. Например, в задачах распространения коротких радиоволн он позволяет, не проводя вычислений лучевых траекторий, находить основные характеристики волн в ионосферных волновых каналах. В задачах небесной механики позволяет считать неизменными некоторые характеристики орбит.

МЕТОД АНАГЛИФОВ (от греч. *anagiyphos* — рельефный) — метод наблюдения стереоскопических изображений с использованием попарных изображений, образующих стереопары. Для обеспечения возможности наблюдения изображений стереопары раздельно каждым глазом (для сепарации изображений) они или окрашиваются в различные цвета (метод цветных анаглифов), или проецируются на экран через поляризационные светофильтры (поляризационный метод). Изображения стереопары, наложенные друг на друга с некоторым линейным (параллактическим) смещением, рассматриваются наблюдателем через разноцветные или поляризационные очки. При этом каждый глаз видит только «своё» изображение, что обеспечивается или подбором соответствующей окраски стёкол, или за счёт различия направлений плоскостей поляризации очковых светофильтров.

Изображения, составляющие стереопару, проецируются двумя объективами на один общий экран, при этом или окрашиваются сами изображения, или на пути проецирующих лучей располагаются цветные светофильтры. При использовании метода цветных анаглифов оба изображения стереопары наблюдаются неокрашенными (чёрно-белыми или серыми). Для улучшения условий наблюдения разноокрашенных изображений и обеспечения восприятия обоими глазами одинаковой степени серой окраски рекомендуется использовать дополнительные цвета. Таким образом, метод цветных анаглифов непригоден для наблюдения цветных стереоскопических изображений. Кроме того, оба глаза работают в разных цветовых режимах и быстро утомляются. При поляризационном методе возможно наблюдение чёрно-белых и цветных стереоскопических изображений.

Метод анаглифов используется для создания объёмных изображений местности с помощью аэроснимков, для демонстрации ландшафтов иных планет с помощью снимков, переданных планетоходами, для выявления формы астероидов и ядер комет по снимкам, переданным межпланетными зондами. Этот метод используется также для получения объёмных иллюстраций в учебных пособиях по стереометрии, начертательной геометрии, кристаллографии, планетологии и др., в стереоскопическом кинематографе. К недостаткам метода анаглифов относится необходимость применения специальных очков и большие световые потери.

МЕТОД ГАРТМАНА — способ исследования качества объектива телескопа, позволяющий определить точное положение фокальной плоскости и форму волнового фронта, формируемого инстру-

ментом. Телескоп (линзовый или зеркальный) с установленной перед объективом *диафрагмой Гартмана* (см.) наводят на яркую звезду и получают два снимка: один — в предфокальном положении приёмника, второй — в зафокальном положении. Для каждого положения приёмника снимают отсчёты со шкалы смещений фокусировочного устройства. Полученные изображения представляет собой систему пятен, расположение которых, с учётом масштаба, в первом приближении воспроизводит расположение отверстий на диафрагме Гартмана. Измерив координаты пятен по обоим снимкам, можно вычислить отсчёт шкалы фокусировочного устройства, соответствующий точному положению фокуса, а также определить величину отступления формы волнового фронта, формируемого объективом, от идеальной. Этот метод предложил немецкий астроном Иоганнес Франц Гартман (Hartmann J. F., 1865–1936).

МЕТОД КОГЕРЕНТНЫХ ЧАСТОТ — метод исследования ионосферы, основанный на явлении дисперсии электромагнитных волн при их распространении в плазме. Этот метод заключается в просвечивании ионосферы радиосигналами с когерентными частотами, излучаемыми передатчиком, расположенным на ракете или искусственном спутнике Земли, с последующим измерением на поверхности Земли разности фаз сигналов, приведённых к одной частоте.

Метод лучевых скоростей — один из основных методов, применяемых при поиске внесолнечных планет (экзопланет). С точки зрения подтверждённых открытий, в настоящее время это наиболее успешный метод (хотя вскоре он, по-видимому, уступит первенство методу покрытий).

Наряду с тем, что звезда заставляет планету обращаться вокруг себя по орбите, планета также вынуждает свою звезду обращаться вокруг общего с ней центра масс. Это приводит к тому, что в движении звезды появляется малый периодический компонент: на практически прямолинейный полёт звезды в пространстве накладывается небольшая волна с периодом, равным орбитальному периоду планеты. Например, Юпитер вызывает дополнительное движение Солнца с амплитудой 13 м/с и периодом около 12 лет. Влияние Земли на Солнце гораздо слабее: с периодом в 1 год оно приводит к флуктуации скорости Солнца в 10 см/с. Если у звезды есть планета, то лучевая скорость звезды для удалённого наблюдателя будет периодически меняться: она будет то немного увеличиваться, то уменьшаться. Если влияние планеты достаточно сильное, то наблюдатель сможет заметить эти вариации в движении звезды по смещению линий в её спектре — то в красную, то в голубую сторону. До 1980 г. погрешность измерения лучевых скоростей в лучшем случае составляла около 1 км/с, что делало этот метод бесполезным для поиска планет у иных звёзд. Однако в начале 1980-х гг. Брюс Кемпбел (Bruce Campbell) и Гордон Уокер (Gordon Walker) разработали метод измерения лучевой скорости с погрешностью 15 м/с. После этого несколько групп астрономов по всему миру стали совершенствовать этот метод и применять для поиска экзопланет. Именно с его помощью в 1995 г. были надёжно обнаружены первые экзопланеты.

Недостатком метода лучевых скоростей является то, что он измеряет движение только вдоль луча зрения и поэтому позволяет определять только нижний предел массы невидимого спутника. Если орбитальная плоскость спутника лежит вдоль нашего луча зрения, то измеряемая скорость соответствует реальной, но если орбитальная плоскость наклонена по отношению к направлению на Землю на угол i, то измеренная скорость окажется меньше реальной, а спутник окажется в действительности более массивным в $1/\cos i$ раз. Иными словами, точное значение массы спутника (если нам известна масса звезды!) удаётся определить этим методом лишь в том случае, когда луч нашего зрения лежит в орбитальной плоскости планеты. Если же он перпендикулярен этой плоскости, то мы вообще не заметим присутствия планеты.

Для точного определения значения угла i и, следовательно, реальной массы спутника измерение лучевых скоростей необходимо дополнить точными астрометрическими наблюдениями за угловым движением звезды на фоне более далёких светил. Но пока точность этих наблюдений недостаточно высока. Изредка оценить значение угла i помогают фотометрические наблюдения: если планета регулярно проходит на фоне диска звезды, то очевидно, что угол i близок к нулю, а значит, измеренная методом лучевых скоростей масса планеты близка к её реальной массе.

МЕТОД МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ — математический подход, применяемый в основном для интерпретации данных с высоким уровнем шума, в частности для восстановления изображений низкого качества. Применение ММЭ даёт изображение, полностью согласующееся с исходным изображением и обладающее минимальной степенью сложности внутренней структуры. Таким образом, ММЭ минимизирует вероятность появления случайных флуктуаций в восстановленном изображении. Название метода взято из концепции, постулирующей возрастание энтропии системы при уменьшении степени её структурированности. Изображения, восстановленные с использованием ММЭ, являются наиболее простыми изображениями из возможных решений задачи восстановления.

МЕТОД НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ — метод исследования ионосферы, основанный на рассеянии радиоволн на свободных электронах или тепловых флуктуациях ионосферной плазмы.

МЕТОД НЕРЕЗКОЙ МАСКИ — методика обработки изображений, позволяющая визуализировать все детали изображения в очень широком динамическом диапазоне. Метод нерезкой маски был предложен задолго до появления компьютеров и применялся для обработки фотографических изображений; большинство современных систем для компьютерной обработки изображений имеют встроенные процедуры, эквивалентные фотографическому методу нерезкой маски. При использовании фотографического варианта метода нерезкой маски вначале получают позитивную контактную копию оригинального негатива на фотоплёнке или фотопластинке. Далее оригинальный негатив и позитивная копия совмещаются по деталям (центрируются) и фиксируются на небольшом расстоянии друг от друга. Ещё один отпечаток, получаемый через описанный «бутерброд», и даёт окончательный результат фильтрации методом нерезкой маски. При печати позитив находится немного вне фокуса, при этом он имеет наибольшую плотность в местах, где исходный негатив наиболее светлый, и наоборот, и поэтому работает как фильтр, выравнивающий интенсивности наиболее ярких частей изображения относительно наиболее слабых.

МЕТОД ПИКЕРИНГА — метод оценки блеска звезды путём её визуального сравнения с соседними звёздами. Для оценки методом Пикеринга, или методом степеней, требуются наличие рядом с измеряемой звездой, в том же поле зрения телескопа, ещё двух звёзд-стандартов, одна из которых ярче, а другая — слабее (тусклее) изучаемой звезды. Интервал блеска между звёздами сравнения мысленно разбивается на десять равных частей, и блеск изучаемой звезды выражается в виде количества десятых долей этого интервала. Оценка блеска записывается в виде (A n B), где A — более слабая, а B — более яркая звезды сравнения, n — количество десятых долей в отличии блеска звезды A и изучаемой звезды. Описанная методика визуальных оценок блеска (метод Пикеринга) используется в основном при наблюдениях переменных звёзд. В ходе таких наблюдений желательно использовать один и тот же набор стандартных звёзд в окрестности данной переменной звезды. После некоторой тренировки в использовании метода степеней сред-

ний наблюдатель достигает точности визуальных оценок блеска около $0{,}1^m$. Опытные наблюдатели достигают точности в 2–3 раза более высокой.

МЕТОД РОНКИ — разновидность теневого метода Фуко для контроля формы оптических поверхностей, в котором вместо ножа Фуко используется пропускающая решётка с небольшим количеством штрихов на миллиметр. При контроле по методу Ронки наблюдается система полос, по форме которых можно судить о форме поверхности зеркала.

МЕТОД СОВМЕЩЕНИЯ ГЛАВНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ — один из методов построения шкалы космических расстояний. Позволяет сравнивать расстояния до двух звёздных скоплений путём совмещения заселённых звёздами участков главных последовательностей на их диаграммах Герцшпрунга–Рассела. Для каждого из скоплений строится наблюдательная диаграмма «цвет — видимая звёздная величина» или «спектр — видимая звёздная величина», естественно, исправленные за межзвёздное поглощение света в направлении каждого из скоплений. Затем путём вертикального сдвига совмещаются участки их главных последовательностей. Различие видимых звёздных величин (Δm) звёзд, находящихся на аналогичных участках главных последовательностей, легко пересчитывается в отношение расстояний до скоплений: $\lg(D_1/D_2) = 0{,}2\,\Delta m$.

Если до нескольких звёздных скоплений (или хотя бы до одного достаточно молодого) расстояние измерено прямым методом тригонометрического параллакса, то и расстояния до других скоплений также становятся известными. На основе измерения многих скоплений строится стандартная главная последовательность нулевого возраста в абсолютных звёздных величинах, так называемая «начальная главная последовательность». В дальнейшем процесс определения расстояния до звёздного скопления сводится к совмещению его наблюдаемой главной последовательности с известной главной последовательностью нулевого возраста.

МЕФОНА (S XXXII, Methone) — естественный спутник Сатурна. Открыт 1 июня 2004 г. по снимкам зонда «Кассини». Большая полуось орбиты 194,44 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 1,009574 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0001. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,007°. Размер около 3 км. Блеск 25^m и максимальное угловое расстояние от планеты $31''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

МЕХАНИЗМ ПЕНРОУЗА — способ извлечения энергии из эргосферы вращающейся чёрной дыры, предложенный английским математиком и физиком-теоретиком Роджером Пенроузом (р. 1931). Попав в эргосферу извне, объект увлекается в направлении вращения чёрной дыры, приобретая при этом большую скорость. Если часть массы объекта пересечёт горизонт событий и безвозвратно упадёт в чёрную дыру, другая его часть за счёт этой энергии может покинуть эргосферу с большой скоростью, унося при этом значительную энергию вращения чёрной дыры.

МЁДЛЕР, Иоганн Генрих (Mädler, Johann Heinrich von) (20.05.1794, Берлин, Пруссия, — 14.03.1874, Ганновер, Пруссия) — немецкий астроном. Учился в Берлинском университете у Иоганна Боде и Иоганна Энке. Вместе с Вильгельмом Бером детально исследовал поверхности Луны и Марса на собственной обсерватории Бера. Вместе они опубликовали широко известную карту Луны и книгу «Луна». В 1840 г. Мёдлер заменил Фридриха (Василия Яковлевича) Струве в Дерптском университете (ныне Тарту, Эстония). Там он обратился к проблемам космогонии и выдвинул теорию «центрального солнца», согласно которой звёздное скопление Плеяды является центром Млечного Пути. Автор книги «Всеобщая история астрономии» («Geschichte der Himmelskunde nach ihrem gesammten Umfange»; Brunswick, 1872–1873).

МИКРОВОЛНОВОЕ ФОНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — см. *Реликтовое излучение.*

МИКРОВОЛНЫ — электромагнитное излучение в области спектра между инфракрасным излучением и радиоволнами. Длины волн микроволнового излучения лежат в интервале от 100 мкм до 10 мм (диапазон частот от $3\cdot10^{10}$ Гц до $3\cdot10^{12}$ Гц).

МИКРОДЕНСИТОМЕТР — прибор для измерения плотности почернения фотографического изображения. При измерениях с микроденситометром небольшой участок изображения просвечивается пучком света от стабильного источника. Измеряемой величиной является интенсивность, пропускаемая данным участком негатива. Фотографическая пластинка обычно укрепляется на подвижном столике, что позволяет выполнять сканирование по одной или двум координатам. Одномерный скан используется для получения разрезов спектров. Высокоинформативные изображения, например полученные с камерами Шмидта, сканируют по двум координатам. Для этого используются автоматизированные микроденситометры, управляемые компьютерами. Выполнив сканирование фотографического изображения, далее его анализируют: определяют координаты объектов, распознают их тип, измеряют блеск, размер и другие характеристики. Эту работу обычно выполняют с использованием обычных средств для обработки электронных изображений.

МИКРОКАНАЛЬНАЯ ПЛАСТИНА — вторично-эмиссионный усилитель света, обычно используемый как приёмник излучения в ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазонах. Этот детектор представляет собой тонкую пластинку с многочисленными наклонными каналами, проходящими с сохранением взаимного порядка от одного торца пластины к другому. Число каналов более 1 млн, а диаметр каждого 10–12 мкм. Обе поверхности МКП полируют и металлизируют, между ними прикладывают напряжение в несколько сотен вольт или даже несколько киловольт. Принцип действия МКП таков: электрон, выбитый фотоном с катода, попадает в канал МКП и, ударяясь о её наклонную стенку, выбивает вторичные электроны. В приложенном электрическом поле этот процесс многократно повторяется, позволяя получить коэффициент усиления в тысячи раз (при напряжении 1000 В) или даже миллионы раз (при напряжении 2000–3000 В). В результате приход одного фотона создает импульс из миллионов электронов. На выходе лавину вторичных электронов регистрируют различными способами.

МИКРОКВАЗАР — космический объект с массой звезды, но с характерными внешними проявлениями квазара в миниатюре, такими как сильная эмиссия в широком диапазоне длин волн — от радио- до рентгеновской области, быстрые изменения рентгеновского излучения и наличие радиоджетов. Впервые этот термин стали употреблять в 1980-е гг. по отношению к тесной двойной звёздной системе SS 433, расположенной в пределах Галактики и состоящей из нормальной звезды с массой около 20 масс Солнца ($M_\odot$) и компактного объекта (вероятно, чёрной дыры) с массой около $11\,M_\odot$. Из аккреционного диска, окружающего компактный объект, вырываются две тонкие струи (джеты) со скоростью 26% от скорости света.

Все микроквазары — это двойные системы, в которой нормальная звезда обращается вокруг чёрной дыры или нейтральной звезды и при этом теряет массу. Этот поток газа втекает в быстровращающийся аккреционный диск, разогревается до нескольких миллионов градусов, а затем падает на компактный объект или же частично выбрасывается в виде биполярного потока.

В нашей Галактике известно около дюжины микроквазаров. Один из них под названием GRS 1915+105, обнаружен-

ный в 1994 г. рентгеновским спутником «GRANAT», расположен на расстоянии 36 тыс. св. лет в созвездии Орёл. Этот объект состоит из обычной звезды массой в несколько масс Солнца, обращающейся вокруг самой массивной из найденных до сих пор чёрной дыры звёздного происхождения — её масса равна 14 масс Солнца. В год своего открытия этот микроквазар выбросил в двух противоположных направлениях со скоростью 0,92 *c* массу, равную одной трети массы Луны.

Другой микроквазар LS 5039 расположен ближе, на расстоянии 9100 св. лет и имеет два радиоджета, каждый длиной около 2,6 млрд км, но сам он очень тусклый в рентгеновском диапазоне. Однако он является одним из трёх источников гамма-излучения чрезвычайно высокой энергии (два других — это LS I +61 303 и PSR B1259-63). По-видимому, дальнейшие наблюдения выявят еще такие же тусклые рентгеновские объекты. Если они будут найдены, то может оказаться, что микроквазары — главные источники высокоэнергичных частиц и излучения в Галактике.

МИКРОН (от греч. *mikron* — малое) — единица длины, равная одной миллионной доле метра. Применяется для измерений длин волн электромагнитного излучения в инфракрасной и иногда в видимой области спектра. Данное название является внесистемным, т. е. нестандартным. В системах единиц СИ и СГС эта единица длины называется микрометр.

МИКРОСКОП — небольшое южное созвездие; группа очень тусклых звёзд, лежащих между Козерогом и Индейцем. Введено Н. Лакайлем в 1756 г. в честь изобретения микроскопа Левенгуком.

МИЛЛИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ — электромагнитное излучение в области спектра между инфракрасным излучением и радиоволнами. На шкале длин волн миллиметровый диапазон находится в интервале от 1 мм до 10 мм, что соответствует диапазону частот от $3 \cdot 10^{10}$ Гц до+ $3 \cdot 10^{11}$ Гц.

МИЛН, Эдуард Артур (Milne, Edward Arthur)(14.02.1896, Гулль, Англия, – 21.09.1950, Дублин, Ирландия) — английский астроном. Разработал (1921–1929) модель атмосферы звезды (модель Милна–Эддингтона) и теорию переноса излучения в атмосферах звёзд. Разработал (1929–1935) теорию внутреннего строения звёзд, состоящих из неидеального газа.

МИМАС (S I, Mimas) — естественный спутник Сатурна. Вильям Гершель открыл его 17 сентября 1789 г. с помощью своего 40-футового телескопа. Большая полуось орбиты Мимаса 185,5 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,942 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0196. Наклонение орбиты к экватору планеты 1,57°. Размеры 415,6×393,4×381,2 км. Масса $3{,}75 \cdot 10^{19}$ кг. Средняя плотность 1,15 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 6,4 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 159 м/с. Суточное вращение синхронизовано с орбитальным. Геометрическое альбедо 0,96. Блеск $12{,}9^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 30″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 64 К. Огромный метеоритный кратер на его поверхности (диаметр 130 км) получил имя «Гершель».

МИНИ-ВСЕЛЕННАЯ — одна из вселенных, входящих в состав Сверхвселенной.

МИНИМАЛЬНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ — минимальное рекомендуемое увеличение телескопа, позволяющее полностью использовать некоторые его возможности: либо для наблюдения самых тусклых объектов (1), либо для наблюдения наиболее мелких деталей (2).

1. Увеличение, при котором диаметр выходного зрачка телескопа (т. е. пучка световых лучей, выходящих из окуляра) равен диаметру зрачка глаза. Такое увеличение обычно называют равнозрачковым. Можно выполнять наблюдения и при увеличениях, меньших равнозрачкового, но при этом часть света, собранного телескопом, будет теряться, поскольку диаметр выходного зрачка превышает диаметр зрачка глаза. Адаптированный к темноте глаз человека имеет зрачок диаметром около 7 мм (у молодых людей около 8 мм, у пожилых — около 5 мм), что даёт простое выражение для определения минимального (равнозрачкового) увеличения: $M_{min} \approx 1{,}4D$, где D — диаметр объектива телескопа в сантиметрах. Например, при наблюдении в телескоп с объективом 15 см равнозрачковое увеличение составляет 21×.

2. Увеличение, при котором глаз способен разрешить все детали, доступные телескопу данного размера. Это особенно важно при наблюдении Луны и планет. Типичное разрешение глаза составляет 3–5′, хотя некоторые люди обладают более острым зрением — до 1–2′; у большинства же людей разрешающая способность глаза несколько хуже и к тому же имеет тенденцию к снижению с возрастом. Поэтому, чтобы реально использовать всю мощь телескопа, работающего на рэлеевском пределе разрешения, его увеличение должно быть не меньше так называемого разрешающего увеличения ($M_{раз}$). Приняв для глаза разрешение в 3′, получим: $M_{раз} \approx 13D$, где D — диаметр объектива телескопа в сантиметрах. Например, при наблюдении в телескоп с объективом 15 см разрешающее увеличение составляет около 200×. Как видим, выполняется простое соотношение: $M_{раз} \approx 10\, M_{min}$. Однако жёстко следовать ему нет смысла. Во-первых, не все любительские телескопы по своему качеству реально достигают рэлеевского предела. А во-вторых, что ещё важнее, атмосферное размытие ограничивает угловой размер мельчайших деталей значением около 1″, поэтому даже при разрешении глаза 5′ увеличение более 300× не имеет особого смысла.

Впрочем, опытные наблюдатели двойных звёзд, способные терпеливо ждать момента, когда атмосферное размытие на короткое время снижается, и изображение становится более чётким, нередко используют так называемое полезное увеличение, которое в 3–5 раз превосходит разрешающее. При хорошем качестве оптики и атмосферы это позволяет детально увидеть дифракционную картину и измерить разделение и позиционный угол компонентов. При этом разделение (угловое расстояние между компонентами) нередко удаётся определить с точностью в сотые доли угловой секунды!

МИНКОВСКИЙ, Рудольф Лео (Minkowski, Rudolph; при рождении Rudolf Leo Bernhard Minkowski) — (28.05.1895, Страсбург, Германия, — 4.01.1976, Беркли, шт. Калифорния, США) — американский астроном германского происхождения. Открыл около 200 планетарных туманностей. Вместе с В. Бааде отождествил Крабовидную туманность с остатком сверхновой и обнаружил два различных типа сверхновых звёзд. Руководил созданием (1954–1960) самого полного для той эпохи Паломарского атласа неба.

МИННАРТ, Марсель Гиллес Йозеф (Minnaert, Marcel Gilles Jozef) (12.02.1893, Брюгге, Бельгия, — 26.10.1970, Утрехт, Нидерланды) — голландский астроном. В 1914 г. окончил Гентский университет, получив степень доктора биологии за диссертацию, посвящённую применению количественных методов в биологии. Затем изучал физику и математику в Лейденском университете, особенно интересуясь солнечным излучением. В 1916–1918 гг. преподавал физику в Гентском университете. С 1920 г. работал в обсерватории Утрехтского университета; в 1936–1963 гг. профессор астрономии университета и директор обсерватории. В 1925 г. получил вторую докторскую степень, по физике Солнца. В 1942–1944 гг. был узником фашистского концлагеря.

Исследовал спектр Солнца. Издал с соавторами в 1940 г. фундаментальный фотометрический атлас солнечного спектра и таблицы солнечных фраунгоферовых линий. Разработал метод количественного анализа атмосфер Солнца и звёзд по их спектрам с помощью кривых роста, кото-

рые связывают число атомов, участвующих в образовании линии поглощения, с интенсивностью линии. Этот метод впервые позволил получить количественные оценки химического содержания элементов в атмосферах звёзд и некоторые физические параметры атмосфер. Выполнил количественный анализ непрерывного спектра короны и спектра хромосферных вспышек. Автор ряда широко известных научно-популярных книг по астрономии и физической метеорологии, выдержавших множество изданий в разных странах. Одна из наиболее ценных его книг — «Свет и цвет в природе». Особого признания заслуживает деятельность Миннарта по укреплению дружественных связей между астрономами различных стран; на протяжении многих лет он возглавлял комиссию Международного астрономического союза по научному обмену. Миннарт был членом многих академий наук, почётным доктором МГУ (1968). Награждён многими высшими медалями научных обществ. Его имя занесено на карту Луны.

МИРАНДА (U V, Miranda) — естественный спутник Урана. Его открыл Джерард Койпер 16 февраля 1948 г. на обсерватории Мак-Дональд. Большая полуось орбиты 129 390 км. Орбитальный период 1,413479 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0013. Наклонение орбиты к экватору планеты 4,23°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 480 × 468,4 × 465,8 км. Масса $6{,}6 \cdot 10^{19}$ кг. Средняя плотность 1,2 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 8 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 193 м/с. Суточное вращение синхронизовано с орбитальным. Альбедо 32%. Видимый блеск $15{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 10″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура: средняя около 60 К, максимальная 84 К. Поверхность Миранды чрезвычайно разнообразна: кроме метеоритных кратеров, на ней видны глубокие каньоны и крутые разломы (высота вертикальной стены одного из них около 5 км).

МИРИДЫ — холодные звёзды-гиганты спектральных классов Ke, Me, Se или Ce (с молекулярными полосами в спектре), пульсирующие с периодами от 80 до 1000 сут и меняющие свой оптический блеск с амплитудой от $2{,}5^m$ до 11^m. Мириды называют также долгопериодическими переменными. Эти звёзды получили своё название по имени прототипа — Миры Кита (o Ceti). Другим известным представителем этой группы является звезда R Льва (R Leo).

Высокая яркость, большая амплитуда изменения блеска и характерные особенности мирид облегчают их отождествление, поэтому большинство звёзд этого типа уже известно. Они занимают область высоких светимостей на асимптотической ветви гигантов диаграммы Герцшпрунга—Рассела наряду с полуправильными переменными.

Мириды имеют массы, близкие к массе Солнца, но их размеры значительно превышают размер Солнца, поэтому в их наружных слоях слабее гравитационное притяжение вещества. Из-за этого вещество из атмосферы таких звёзд выбрасывается в межзвёздное пространство в виде звёздного ветра с интенсивностью 10^{-7}–10^{-6} масс Солнца в год. В результате это вещество собирается вокруг звезды в виде околозвёздной оболочки. Потеря массы на стадии мириды может длиться лишь несколько миллионов лет, до того момента, пока проэволюционировавшая звезда не станет белым карликом, окружённым планетарной туманностью. Считается, что Солнце станет миридой через несколько миллиардов лет.

МИРОВАЯ ЛИНИЯ — «траектория» объекта в пространстве-времени.

МИСТЕРИУМ — гипотетическая субстанция, которой в 1966 г. были приписаны очень яркие и узкие радиолинии на волне 18 см от некоторых компактных туманностей. Вскоре выяснилось, что источниками этого излучения служат природные мазеры на молекуле гидроксила OH. См. также *Короний* и *Небулий*.

МИТЧЕЛЛ, Мария (Mitchell, Maria) (1.08.1818, остров Нантакет, США, — 28.06.1889, Линн, шт. Массачусетс, США), первая американская женщина-астроном. Третья из десяти детей в семье. Родилась на острове Нантакет, расположенном близ восточного побережья США, между Бостоном и Нью-Йорком. Получила домашнее образование: в основном её учил отец — человек высокообразованный и к тому же любитель астрономии. В 12 лет Мария помогала отцу отмечать моменты контактов тени во время кольцеобразного солнечного затмения 1831 г., а к 14 годам стала опытным регулировщиком хронометров для китобойных судов острова Нантакет. Когда Марии было 18 лет, её отец начал вести астрономические наблюдения для Береговой охраны США. В то время, с 1836 по 1856 г., Мария работала библиотекарем в Публичной библиотеке Нантакета и продолжала своё образование, читая труды Лагранжа, Лапласа и Гаусса. В ясные ночи она с удовольствием помогала отцу вести наблюдения. В 1847 г. с помощью телескопа она открыла комету, невидимую невооружённым глазом. За первое открытие такого рода её наградили золотой медалью, учреждённой королем Дании Фредериком.

Открытие кометы и медаль принесли Марии международную известность, а затем последовало и научное признание. В 1848 г. Митчелл была избрана в Американскую академию искусств и наук. Годом позже она получила должность вычислителя американского Морского альманаха: её задачей стала подготовка ежегодных эфемерид планеты Венера. В 1850 г. Митчелл была избрана членом Ассоциации по развитию науки. Признанием её научных заслуг служил и тёплый приём, оказанный коллегами во время её поездки в Европу в 1857 г., куда она привезла первую фотографию звезды, полученную её другом Джорджем Бондом.

Когда в сентябре 1865 г. открылся первый женский гуманитарный колледж Метью Вассара, Мария стала профессором астрономии и первым директором обсерватории этого колледжа. Она занимала этот пост до ухода на пенсию в 1888 г. Обсерватория колледжа имела новый 12-дюймовый рефрактор, который после небольшой переделки стал, как считала Мария, одним из лучших в Америке. При помощи этого телескопа она наблюдала Юпитер и Сатурн, публикуя свои наблюдения в «Американском журнале наук и искусств». Кроме этого, начиная с 1873 г. она ежедневно фотографировала солнечные пятна. Но главной работой М. Митчелл было преподавание. При этом она придерживалась твёрдого мнения, что студентам следует не просто «рассказывать про науку», а именно заниматься с ними наукой. Женщины из Вассар-колледжа должны были пройти суровый курс математики, прежде чем приступить к занятиям по астрономии с М. Митчелл. В результате 25 её студенток попали в книгу «Кто есть кто в Америке». Митчелл была прекрасным педагогом, многие её ученики стали известными учёными. Кроме работы в колледже, она активно участвовала в борьбе за права женщин, особенно в академической среде. В 1848 г. её избрали членом Американской академии наук и искусств. В декабре 1888 г. в связи с ухудшением здоровья Мария Митчелл покинула Вассар-колледж, а в июне следующего года скончалась. Похоронили её на родном острове Нантакет. В 1902 г. её друзья и коллеги основали Нантакетскую ассоциацию им. Марии Митчелл.

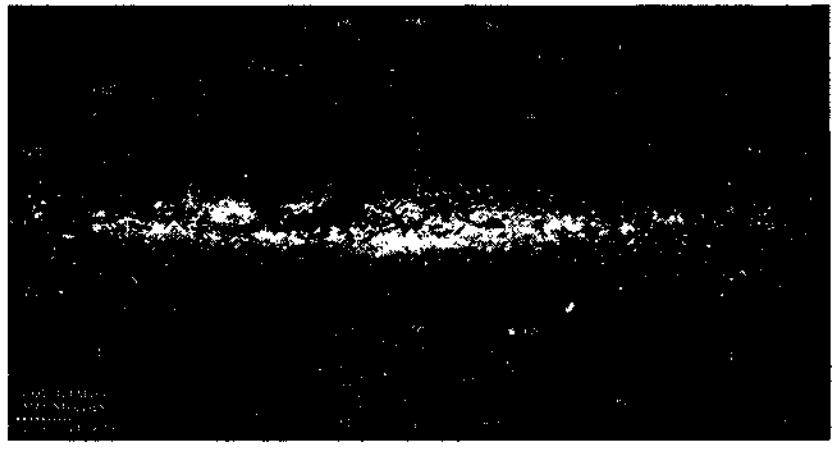
МИХАЙЛОВ, Александр Александрович (26.04.1888, Моршанск, Тамбовской губ., Россия, — 29.09.1983, Ленинград, СССР) — русский и советский астроном и гравиметрист. В 1911 г. окончил Московский университет. В 1918–1948 гг. профессор Московского университета, в 1919–1947 гг. профессор и зав. кафедрой Московского института инженеров геодезии, аэрофотосъёмки и картографии. С 1947 г. работал в Пулковской обсерватории (в 1947–1964 гг. её директор). Организовал восстановление обсерватории, разрушенной в годы Великой Отечественной вой-

ны. Член-корреспондент АН СССР с 1943 г., академик с 1964 г. В 1964–1977 гг. зав. отделом астрономических постоянных, с 1977 г. консультант. В 1939–1962 гг. председатель Астрономического совета АН СССР.

Научные исследования относятся к практической и теоретической гравиметрии, теории солнечных и лунных затмений, звёздной астрономии, астрометрии. Участвовал во многих гравиметрических исследованиях и в астрономических экспедициях для наблюдений солнечных затмений. Создал для определения фигуры Земли метод редукции силы тяжести посредством конденсации внешних масс. Предложил и применил метод математических моделей для испытания различных способов регуляризации Земли при определении её фигуры с помощью теории Стокса и формулы Венинга–Мейнеса. Обобщением гравиметрических работ Михайлова стал его «Курс гравиметрии и теории фигуры Земли» (2-е изд. в 1939 г.). Развил теорию затмений Солнца, предвычислял обстоятельства затмений, а также прохождений планет по диску Солнца, покрытий звёзд Луной. Разработал оригинальный прибор и новую методику для наблюдения «эффекта Эйнштейна» (отклонение света звезды в поле тяготения Солнца, которое можно обнаружить во время полных солнечных затмений) и применил их при затмении 1936 г. Большой известностью пользуется его монография «Теория затмений» (2-е изд. в 1954 г.). В картографии разработал теорию равнопромежуточной цилиндрической и конической проекций с уравнениями ошибок. Составил весьма популярные звёздные атласы разной степени подробности, в том числе большой атлас, содержащий все звёзды до $8{,}25^m$.

Михайлов предложил новую телескопическую установку, в которой труба направлена неподвижно на полюс мира – так называемую полярную трубу. Наблюдения на ней позволили уточнить значение постоянной аберрации. Принимал участие в научной интерпретации результатов исследования Луны с помощью космических аппаратов. Под его руководством в Пулковской обсерватории были созданы новые отделы (радиоастрономический, приборостроения и др.), построена солнечная станция под Кисловодском и Благовещенская широтная лаборатория. Активный популяризатор астрономических знаний, автор ряда работ по истории астрономии. Осуществил общую редакцию перевода на русский язык книги Коперника «О вращениях небесных сфер».

Член-корр. Бюро долгот в Париже (1946), член Германской академии естествоиспытателей «Леопольдина» (1959), член Международной академии астронавтики, её вице-президент (1967–1979), председатель Всесоюзного астрономо-геодезического общества (1932–1950), вице-президент Международного астрономического союза (1946–1948), заслуженный деятель науки РСФСР (1959), Герой Социалистического Труда (1978). Его именем назван астероид № 1910.



Весь Млечный Путь. Фотокарта Лундской обсерватории. Координаты соответствуют старой галактической системе, сдвинутой относительно современной примерно на 30° по долготе.

МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ – светлая клочковатая туманная полоса, пересекающая звёздное небо и опоясывающая его по большому кругу. Млечный Путь образован светом миллионов далёких звёзд диска нашей Галактики, по отдельности не различимых невооружённым глазом. Эти звёзды концентрируются к экваториальной плоскости Галактики. Близ этой же плоскости расположено Солнце, поэтому большинство звёзд проецируется на небесную сферу в пределах узкой полосы Млечного Пути. Его клочковатый вид обусловлен тем, что к этой же плоскости концентрируются межзвёздные газово-пылевые облака, поглощающие свет лежащих за ними звёзд. Особенно наглядно это проявляется в области созвездия Лебедь, где полоса Млечного Пути раздваивается из-за сильного поглощения света вдоль её средней части.

В западной литературе Млечным Путём (Milky Way) нередко называют и саму нашу Галактику, но в русскоязычной литературе это не принято.

МНЕМЕ (J XL, Mneme) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2000). Большая полуось орбиты 21 427 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 640,8 сут. Эксцентриситет орбиты 0,221. Наклонение орбиты к эклиптике 149°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 23{,}3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°32′05″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

МНИМОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ – изображение, построенное оптической системой, которое при его наблюдении глазом ведёт себя так, «как будто оно есть», но которое нельзя спроецировать на экран, поскольку оно образовано расходящимися лучами. Например, мнимое изображение объекта получается при прохождении параллельного пучка лучей через отрицательную линзу. Изображение, образованное в фокальной плоскости сходящимися лучами, называется действительным изображением.

МНОГОЛИКАЯ ВСЕЛЕННАЯ – то же, что *Сверхвселенная*.

МНОГОМИР – то же, что *Сверхвселенная*.

МНОГОЭЛЕМЕНТНАЯ ВСЕЛЕННАЯ – то же, что *Сверхвселенная*.

МНОЖЕСТВЕННАЯ ВСЕЛЕННАЯ – то же, что *Сверхвселенная*.

МОДЕЛИРОВАНИЕ – теоретический подход, широко используемый в астрономии для интерпретации природы астрономических объектов и связанных с ними феноменов. Теоретическая модель обычно строится на основе известных физических законов и наблюдательных характеристик объекта. Как правило, теоретические модели содержат и ряд упрощающих предположений (допущений). Далее на основе теоретической модели путём аналитического или численного расчёта делается ряд предсказаний, которые проверяются путём наблюдений. Если имеется несовпадение предсказаний и реальных наблюдательных данных, в модель вносят поправки и получают новый ряд предсказаний, подлежащий проверке. Процесс продолжается до тех пор, пока предсказанные из модели и наблюдаемые характеристики объекта не сблизятся настолько, насколько возможно; считается, что в

этом случае модель правильно представляет строение объекта и протекающие в нём физические процессы. В процессе моделирования для выполнения вычислений широко используются возможности современных компьютеров, поэтому численное моделирование нередко называют компьютерным моделированием. Аналитические модели в последнее время используются редко, поскольку в них трудно учесть множество взаимозависимых факторов. Особенно широко развито моделирование внутреннего строения и эволюции звёзд, а также динамической эволюции звёздных систем.

МОДЕЛЬ ЗВЕЗДЫ – результат теоретического расчёта физических условий внутри звезды и их изменения со временем (эволюционная модель звезды). Модели звёзд различаются разной степенью учёта реальных факторов. Простейшие одномерные модели представляют звезду как сферически симметричный объект, физические параметры и химический состав в недрах которого изменяются только вдоль радиуса. Двумерные модели учитывают вращение звезды. Возможен также учёт перемешивания вещества, наличия магнитного поля, потери массы в виде звёздного ветра с поверхности звезды. Трёхмерные модели могут учитывать влияния внешнего источника гравитации и излучения (т. е. влияние близкой соседней звезды).

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ЮЛИАНСКАЯ ДАТА – вариант счёта юлианских дат с нуль-пунктом, соответствующим полуночи 17 ноября 1858 г. Иными словами, значение модифицированной юлианской даты (Modified Julian Date, MJD) равно юлианской дате минус 2 400 000,5 сут. Модифицированные юлианские даты иногда используют при вычислении орбит космических аппаратов. Значение MJD на начало каждого дня года публикуется в астрономических ежегодниках.

МОДУЛИРУЮЩИЙ КОЛЛИМАТОР – коллиматор, предназначенный для работы в диапазоне рентгеновского и гамма-излучения. Коллиматор включает в себя две массивные сетки (маски), состоящие из чередующихся прозрачных и поглощающих приходящее излучение ячеек. Позади сеток, установленных на некотором расстоянии друг за другом, помещают детектор излучения. При сканировании неба подобным инструментом происходит модуляция потока от источника, излучение которого попеременно то проходит сквозь систему сеток, то поглощается ею. Используя выходной сигнал детектора, можно восстановить распределение интенсивности излучения источника с помощью обратного преобразования Фурье.

МОДУЛЯЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ – вариации космических лучей, обусловленные воздействием солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и солнечной активности.

МОЛЕКУЛЫ В МЕЖЗВЁЗДНОЙ СРЕДЕ – простейшие соединения химических элементов, обнаруженные в межзвёздной среде методами спектроскопии. К межзвёздным молекулам часто относят и молекулы, обнаруженные в планетарных туманностях и внешних частях протяжённых атмосфер холодных звёзд-сверхгигантов. Эти области обычно называют околозвёздными оболочками, а присутствующие в них молекулы – околозвёздными молекулами. Действительно, порой трудно сказать, где кончается звезда и начинается межзвёздная среда. Поэтому чёткое разделение молекул на межзвёздные и околозвёздные большого смысла не имеет.

Межзвёздный газ в основном состоит из атомов или ионов водорода (около 70% общей массы) и гелия (около 28%). Атомы и ионы других элементов, а также молекулы составляют незначительную примесь (около 2%), хотя играют важную роль в физических и химических процессах, протекающих в межзвёздной среде. В астрофизике молекулой обычно называют любую частицу из двух и более атомов, соединённых в одно целое химическими связями. Молекулы могут иметь различный изотопный состав.

Подавляющее большинство межзвёздных молекул было открыто после 1970 г. методами радиоастрономии. К началу XXI в. было надёжно отождествлено более 100 видов молекул (с учётом их различного изотопного состава), в том числе большое количество органических молекул, содержащих до 13 атомов. Некоторые важные из них представлены в таблице.

Многие молекулы найдены в нескольких изотопных вариантах. Например, окись углерода обнаружена в виде $^{12}C^{16}O$, $^{13}C^{16}O$, $^{12}C^{17}O$ и $^{13}C^{17}O$. Были сообщения об обнаружении очень сложных и интересных молекул, таких как аминокислота глицин (NH_2CH_2COOH), катион нафталина ($C_{10}H_9$), графен (C_{24}), катион фуллерена (C_{60}), но не все они пока подтверждены независимыми наблюдениями. Возможно даже, что сообщение о глицине, опубликованное в 2003 г., вообще было ошибочным.

Первые межзвёздные молекулы (CH, CN, CH^+) были обнаружены на рубеже 1940-х гг. по линиям поглощения в спектрах звёзд, обусловленным электронными переходами. У большинства других молекул электронные переходы дают линии в дальней УФ-области спектра, для которой земная атмосфера совершенно непрозрачна, поэтому в последующих открытиях молекул важную роль сыграли внеатмосферные наблюдения с ракет и ИСЗ. В частности, они привели к открытию в 1970 г. молекулы H_2.

Теоретически было предсказано, что в достаточно плотных облаках межзвёздного газа молекулы H_2 должны быть многочисленны. Наблюдения и детальный теоретический анализ показали, что отношение концентраций $n(H_2)/n(H)$ зависит от плотности облака и его размеров: при концентрациях $n(H) \geqslant 100–1000$ см$^{-3}$ и размерах $\geqslant 1$ пк водород внутри облака оказывается преимущественно в молекулярной форме. К сожалению, из-за сильного поглощения пылью наиболее плотные облака ненаблюдаемы в УФ-линиях H_2: слишком слабым оказывается непрерывный спектр расположенных за ними звёзд, и линии поглощения H_2 в нём не видны.

Детальное изучение межзвёздных молекул стало возможным только с развитием радиоастрономии. В коротковолновый радиодиапазон попадают спектральные линии, обусловленные переходами между вращательными уровнями энергии некоторых молекул, а также переходами между подуровнями, существующими у молекул благодаря расщеплению вращательных уровней (инверсионное удвоение уровней в молекулах NH_3, Λ-удвоение в OH и CH и т. п.). На принципиальную возможность наблюдения межзвёздных молекул в радиодиапазоне обратил внимание И. С. Шкловский ещё в 1949 г., но лишь в 1963 г. впервые удалось зарегистрировать в радиодиапазоне линии OH ($\lambda \approx 18$ см). Четыре радиолинии OH вблизи этой длины волны наблюдаются как в поглощении, так и в эмиссии во многих областях Галактики и свидетельствуют о чрезвычайном разнообразии физических условий в этих областях. Во многих разреженных межзвёздных облаках интенсивности этих четырёх линий имеют нормальное отношение (как при термодинамическом равновесии), это позволяет уверенно определить содержание молекул OH по отношению к водороду (оно варьирует в отдельных облаках от 10^{-7} до 10^{-4}). Сравнение ширин линий OH с ширинами радиолинии водорода 21 см для тех же облаков позволяет вычислить кинетическую температуру газа. Она равна 5–100 K.

Особый интерес вызывают компактные (размером ~10–100 а. е.) источники эмиссионных линий OH с резко неравноносными отношениями интенсивностей линий и огромными значениями самих интенсивностей. Такую же мазерную природу имеет излучение в радиолинии 1,35 см молекулы H_2O, наблюдаемое от тех же областей Галактики. Ряд факторов свидетельствует о том, что в этих областях образуются новые поколения звёзд и что мазерное излучение OH и H_2O возбуждается в непосредственной окрестности очень молодых звёзд, ещё

Обнаружение важных межзвёздных молекул

Формула	Название	Спектральный диапазон	Год открытия
CH	Метилидин	Оптический	1937
CN	Циан	Оптический	1940
CH^+	Метилидин (ион)	Оптический	1941
OH	Гидроксил	Радио, 18 см	1963
H_2O	Водяной пар	Радио, 1,4 см	1968
NH_3	Аммиак	Радио, 1,3 см	1968
H_2CO	Формальдегид	Радио, 6,2 см	1969
CO	Монооксись углерода	Радио, 2,6 мм	1970
H_2	Молекулярный водород	Ультрафиолетовый	1970
HCOOH	Муравьиная кислота	Радио, 18 см	1970
HCN	Синильная кислота	Радио, 3,4 мм	1970
CH_3OH	Метанол (древесный спирт)	Радио, 36 см	1970
NH_2CHO	Формамид	Радио, 6,5 см	1971
CS	Сероуглерод	Радио, 2,0 мм	1971
SiO	Монооксись кремния	Радио, 2,3 мм	1971
H_2S	Сероводород	Радио, 1,8 мм	1972
SO	Монооксись серы	Радио, 3,0 мм	1973
CH_3CH_2OH	Этиловый (винный) спирт	Радио, 2,9 мм	1974
SiS	Сульфид кремния	Радио, 2,8 мм	1975
SO_2	Двуокись серы	Радио, 3,6 мм	1975
C_2H_2	Ацетилен	Инфракрасный	1976
CH_2CO	Кетен	Радио, 2,9 мм	1976
C_2	Двуатомный углерод	Инфракрасный	1977
NO	Окись азота	Радио, 2,0 мм	1978
CH_3SH	Метилмеркаптан	Радио, 3,0 мм	1979
O_3	Озон	Радио, 1,5 мм	1980
C_2H_4	Этилен	Инфракрасный	1980
$HC_{11}N$	Цианодекапентин	Радио, 1,3 см	1981
HCl	Хлористый водород	Инфракрасный	1985
H_2D^+	Дейтерированный водород	Радио, 0,8 мм	1985
$(CH_3)_2CO$	Ацетон	Радио, 3,6 мм	1987
H_3^+	Протонизированный водород	ИК, 3,67 мкм	1996
CH_3COOH	Уксусная кислота	Радио, 3 мм	1997
CH_2OHCHO	Гликольальдегид (сахар)	Радио, 3 мм	2000
CH_2CHCH_3	Пропилен	Радио, 3 мм	2007
C_{60} и C_{70}	Фуллерены	ИК, 7–22 мкм	2010
O_2	Кислород	Субмиллиметровый, 0,6 мм	2011

окружённых остатками исходного газово-пылевого облака. Несколько менее интенсивное мазерное излучение молекул OH, H_2O, а также SiO наблюдается от сильно проэволюционировавших звёзд-гигантов и сверхгигантов с низкой поверхностной температурой и долгопериодическими вариациями блеска. Оно возникает в истекающих оболочках и очень протяжённых атмосферах этих звёзд. Наиболее распространённые молекулы H_2 не имеют линий в радиодиапазоне (поскольку у них нет дипольного момента), однако их концентрацию определяют по молекулам CO, так как и теория, и наблюдения свидетельствуют о том, что обилие межзвёздной окиси углерода $n(CO)/n(H_2)$ постоянно в очень широком интервале физических условий и близко к $6 \cdot 10^{-5}$.

Основная радиолиния CO с длиной волны 2,6 мм оказалась наиболее удобным «инструментом» для исследования пространственной структуры, распределения в Галактике и физических характеристик плотных молекулярных облаков. Исследования показали, что молекулярные облака CO сильно концентрируются в кольцевой зоне с внутренним галактоцентрическим радиусом 4 кпк и внешним 8 кпк. Не менее 80–90% массы межзвёздного газа сосредоточено здесь в нескольких тысячах гигантских облаков молекулярного водорода, массы которых достигают 10^5–10^6 $M_\odot$, средняя плотность числа молекул ~200 $см^{-3}$ и диаметры от 20 до 80 пк. Распределение молекулярных облаков в Галактике тесно коррелирует с распределением горячих молодых звёзд, ярких областей ионизованного водорода и других объектов населения галактического диска. Сопоставление результатов наблюдений в радиолинии CO с наблюдениями другими методами позволяет выяснить физические условия в областях звёздообразования. Теоретические модели конденсации звёзд из разреженного газа указывают на важную роль молекул H_2 и CO в процессе конденсации облаков и их распада на более мелкие сгустки, дающие начало звёздным ассоциациям. Молекулы способствуют охлаждению облаков, так как они излучают относительно легко выходящие из облака фотоны, которые рождаются при переходах между вращательными уровнями молекул, возбуждаемых при столкновениях. Охлаждение способствует гравитационному коллапсу облака. Кроме того, при химических превращениях в облаке могут возникнуть тепловые и динамические неустойчивости, которые в свою очередь могут «включить» гравитационную неустойчивость, приводящую к сжатию облака как целого и к его фрагментации. О фрагментации молекулярных облаков, их клочковатой структуре определённо говорят наблюдения в радиолиниях аммиака NH_3 ($\lambda = 1{,}25$ см).

Первая органическая молекула, формальдегид (H_2CO), была обнаружена в 1969 г. Её наиболее часто наблюдаемая радиолиния с $\lambda = 6{,}2$ см почти всегда видна в поглощении, даже в тех случаях, когда за молекулярным облаком нет никаких радиоисточников с непрерывным спектром. Молекулы формальдегида в этом случае могли бы поглощать лишь фотоны микроволнового фонового излучения, но его температура всего около 3 К. Поскольку кинетическая температура в молекулярных облаках заведомо выше 3 К (это следует из наблюдений OH, NH_3 и других молекул), то неизбежен вывод о неравновесной заселённости нижних энергетических уровней молекулы H_2CO.

Замечательной особенностью молекулярного состава наиболее плотных молекулярных облаков является преобладание органических соединений. Обнаружены представители нескольких классов типичных органических соединений – альдегидов, спиртов, простых и сложных эфиров, карбоновых кислот, амидов кислот. Многие из этих соединений (HCN, CH_2NH, CH_3NH_2 и др.) известны как активный исходный материал для образования важнейших предбиологических молекул – аминокислот и азотистых оснований, что позволяет с уверенностью говорить об универсальности путей органического синтеза во Вселенной. Действительно, органический состав молекулярных облаков весьма напоминает состав богатых органикой метеоритов – углистых хондритов, а также типичные составы органических смесей, синтезируемых в лабораториях из простых соедине-

ний путём активации жёстким излучением, электрическим разрядом, ударными волнами и т. п.

Методы радиоастрономии оказались особенно удобными для изучения изотопного состава межзвёздных облаков, так как частоты вращательных переходов молекул особенно чувствительны к изотопным замещениям атомов, и к тому же в радиодиапазоне достигается наилучшее разрешение по частоте. Например, частоты основных вращательных переходов молекул ^{12}CO и ^{13}CO (между уровнями с квантовыми числами $J=1$ и $J=0$) различаются на 5 ГГц, что в тысячи раз превосходит обычные ширины линий (~1 МГц), а также спектральное разрешение аппаратуры, которое обычно ещё выше. В межзвёздных облаках наблюдались молекулы, содержащие различные изотопы H, C, N, O, S, Si. Изучение изотопного состава межзвёздной среды в различных областях Галактики позволяет проверить правильность существующих теорий образования и эволюции химических элементов во Вселенной.

Концентрации молекул в межзвёздной среде определяются кинетикой процессов их образования и разрушения. Молекулы могут образоваться в результате химических реакций в газовой среде либо реакций на поверхности твёрдых пылинок непосредственно в облаках, но могут поступать туда и в готовом виде из атмосфер и оболочек холодных звёзд (благодаря звёздному ветру), где условия для их образования несколько более благоприятны. Молекулы H_2 почти наверняка образуются на поверхности пылинок. Столкновения ионов с молекулами приводят к ионно-молекулярным реакциям и синтезу более сложных молекул, особенно эффективному при низких температурах. Разрушаться молекулы должны главным образом УФ-излучением горячих звёзд и космическими лучами. Типичные значения обилия сложных молекул ~10^{-7}–10^{-9} по отношению к молекуле водорода.

МОЛЕКУЛЫ НА ЗВЁЗДАХ – простейшие соединения химических элементов, обнаруженные в атмосферах звёзд методами спектроскопии. В атмосферах всех звёзд с температурой поверхности ниже примерно 6000 К (спектральный класс F и более поздние) помимо атомов и ионов присутствуют также молекулы. Большое разнообразие молекул (OH, NH, CH, CN, CO, SiH, MgH, O_2, C_2, TiO и др.) наблюдается, в частности, в атмосфере Солнца, и особенно в солнечных пятнах. В атмосферах холодных звёзд с температурой поверхности 2000–3000 К (спектральные классы M, N, R, S) молекулы – доминирующий компонент.

Относительное содержание различных молекул в звёздной атмосфере с хорошей точностью отвечает условию термохимического (диссоциативного) равновесия и определяется термохимическими константами этих молекул (в первую очередь энергией диссоциации), полным давлением газа, его температурой и относительным содержанием химических элементов. Оно не зависит от конкретных химических реакций, протекающих в газе. Так, наблюдаемые сильные различия молекулярных составов звёзд классов M и R, N определяются различиями в относительном содержании элементов, в первую очередь отношением содержаний O и C. Если кислорода в атмосфере больше, чем углерода, то он связывает весь углерод в очень устойчивых молекулах CO, а остаток его идёт на образование OH, H_2O, TiO. Эти молекулы имеют много полос в видимой области спектра и доминируют в спектрах звёзд класса M.

Если же в атмосфере углерода больше, чем кислорода, то, наоборот, в молекулах CO связывается весь кислород, а остаток углерода идёт на образование молекул C_2, CH, CN и некоторых других. Полосы этих двухатомных молекул доминируют в спектрах звёзд классов R и N. В силу этих причин M-звёзды часто называют кислородными, а R- и N-звёзды – углеродными. Расчёты диссоциативного равновесия атмосфер холодных звёзд показали, что в атмосферах углеродных звёзд должны присутствовать многоатомные органические молекулы, такие как HCN, C_3N, HC_3N, CH_4. Концентрации этих молекул могут даже превышать концентрации двухатомных молекул CH, C_2 и CN, имеющих сильные полосы в видимой области спектра и поэтому легче обнаружимых.

Особенно много молекулярных линий и полос в ИК- и субмиллиметровой областях спектра (они отвечают колебательно-вращательным и чисто вращательным переходам в молекулах). Некоторые вращательные переходы, а также переходы между подуровнями специфических для молекул типов расщепления уровней энергии (Λ-удвоение и т. п.) попадают в радиодиапазон. С освоением астрономией этих диапазонов необычайно расширились возможности изучения атмосфер и оболочек холодных звёзд. В частности, наблюдения колебательно-вращательных линий молекул в ближней ИК-области спектра позволили детально исследовать структуру, кинематику и физические параметры глубоких слоёв звёздных атмосфер. Наблюдения в радиолиниях молекул H_2O, OH, SiO, и др. приносят важную информацию о более высоких слоях атмосфер и о протяжённых оболочках холодных звёзд. Здесь уже не выполняются условия диссоциативного равновесия: концентрация молекул определяется кинетикой процессов их образования и разрушения. В оболочках холодных звёзд характер возбуждения энергетических уровней может сильно отличаться от равновесного. В частности, некоторые энергетические уровни молекул оказываются сильно перенаселёнными, что вызывает мазерное усиление радиоизлучения. Мощные мазеры в радиолиниях OH, H_2O и SiO связаны со многими холодными переменными звёздами высокой светимости.

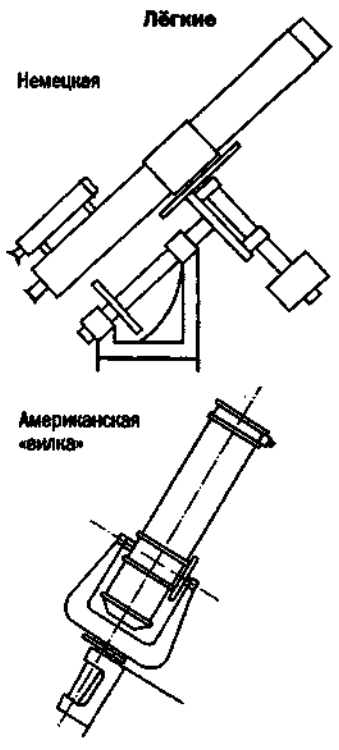
МОЛЕКУЛЯРНОЕ ОБЛАКО – область повышенной плотности вещества в межзвёздной среде, отличающаяся практически полной непрозрачностью для оптического и ультрафиолетового излучения и по этой причине имеющая в основном молекулярный состав (в прозрачных областях межзвёздной среды жёсткое излучение разрушает молекулы). Главная составляющая таких облаков – молекулы водорода (H_2), но присутствуют и более сложные молекулы.

Плотность вещества в молекулярном облаке 100–500 молекул в 1 $см^3$, что в сотни раз выше плотности межоблачного вещества. Температура внутри облака менее 100 К, а в наиболее плотных его частях – всего 5–10 К. Особо выделяют «гигантские молекулярные облака» (ГМО), имеющие характерный радиус около 20 пк и массу порядка миллиона масс Солнца. В диске нашей Галактики несколько тысяч таких облаков; в их наиболее плотных частях – ядрах – из газа формируются звёзды и планеты.



Молекулярное облако Barnard 68 (тёмная область в центре снимка), сфотографированное в оптическом диапазоне телескопом VLT Южной европейской обсерватории в Чили

МОНОХРОМАТОР – оптическое устройство для выделения очень узкого спектрального участка из пучка белого света. С помощью монохроматора можно также получать изображения исходного объекта в свете избранной длины волны. Простейший монохроматор состоит из спектроскопа с низкой дисперсией, в выходной плоскости которого (в плоскости изображения спектра) установлена ещё одна щель, пропускающая только излучение в избранном диапазоне длин волн. Многие узкополосные фильтры в принципе выполняют ту же функцию, что и монохроматор.



Типы экваториальных монтировок телескопов

МОНОЦЕНТРИЧЕСКИЙ ОКУЛЯР – окуляр средней стоимости (класс В), разработанный для получения визуальных изображений наивысшего контраста путём исключения внутренних отражений. Окуляр состоит из трёх элементов, склеенных друг с другом, при этом поверхности всех элементов имеют общий центр кривизны. Полезное поле зрения окуляра составляет всего около 25°, а вынос выходного зрачка – около 80% фокусного расстояния. Недостатками окуляра являются кривизна поля и остаточная хроматическая аберрация. Эти недостатки несколько снижены в сплошном окуляре, отличием которого от моноцентрического является несовпадение центров кривизны линзовых компонентов. Оба варианта окуляров идеально подходят для визуальных наблюдений планет и тесных двойных звёзд.

МОНТИРОВКА ТЕЛЕСКОПА – механическая конструкция, обеспечивающая движение трубы телескопа для его наведения на небесные объекты, для часового ведения в процессе экспозиции (т. е. для удержания объекта в поле зрения телескопа путём компенсации вращения Земли) и для тонкого гидирования (т. е. для компенсации мелких эффектов, смещающих объект в поле зрения телескопа при равномерном часовом ведении). Монтировки бывают передвижные (треноги, автомобильные прицепы) и стационарные. По конструкции системы гидирования делятся на экваториальные и альт-азимутальные. В экваториальных монтировках часовое ведение осуществляется вращением трубы телескопа вокруг одной часовой оси, которая параллельна оси Земли. Существует множество вариантов экваториальной монтировки: немецкая (с. 4 цветной вкладки), английская, американская и др. В альт-азимутальной монтировке труба одновременно вращается вокруг двух осей – вертикальной и горизонтальной – с переменной скоростью. Значительно реже применяются и другие варианты монтировок, например гексаподная, в которой труба телескопа поддерживается и перемещается тремя парами гидроцилиндров.

МОНТИРОВКА С ЯРМОМ – один из вариантов английской монтировки телескопа, полярная ось которой опирается на оба своих конца. Сама полярная ось изготовлена в виде прямоугольной рамы, внутри которой на оси склонения помещена труба телескопа. Такая монтировка не требует противовеса, однако не позволяет телескопу наблюдать полярную область неба. Другие названия этой конструкции – английская качалка или рама.

МОРГАН, Уильям Уилсон (Morgan, William Wilson) (3.01.1906–21.06.1994) – американский астроном. Вместе с Ф. Кинаном разработал (1943) двумерную спектральную классификацию звёзд (система МК). Открыл (1951) спиральные ветви Галактики. Вместе с Х. Джонсоном и Д. Хэррисом создал (1953) систему звёздной фотометрии в цветах *UBV*. Вместе с Н. Мейолом нашёл (1957) связь между типом и спектром галактик. Награждён медалями Брюс (1958), Генри Дрэпера (1980), Гершеля (1983).

МОРИ, Антония Каэтана (Maury, Antonia Caetana de Paiva Pereira) (21.03.1866, Колд Спринг-он-Хадсон, шт. Нью-Йорк, США, – 8.01.1952, Доббс Ферри, шт. Нью-Йорк, США) – американский астроном, продолжила работу Вильямины Флеминг по усовершенствованию системы спектральной классификации звёзд.

В 1887 г. Антония Мори окончила женский Вассар-колледж и с 1888 г. начала работать в Гарвардской обсерватории, в группе, составляющей каталог Генри Дрэпера. Мори усовершенствовала систему спектральной классификации. Она не только обращала внимание на наличие или отсутствие опорных линий, выбранных для классификации, но также учитывала их ширину и резкость. Именно она впервые ввела в систему классификации звёзд второй параметр – индексы *a*, *b*, *c* для звёзд с диффузными, нормальными и резкими линиями. Мори составила каталог 681 яркой звезды северного неба с такой классификацией (1897). Датский астроном Эйнар Герцшпрунг на основе системы Мори построил в 1905 г. зависимость, которую мы теперь называем диаграммой Герцшпрунга–Рассела и которая служит краеугольным камнем всей современной звёздной астрофизики.

Когда Э. Пикеринг открыл первую спектроскопически двойную звезду Мицар, мисс Мори стала первой, кто определил её орбитальный период в 104 дня. Сама она открыла вторую такую же звезду – β Возничего с периодом около четырёх дней. С этого времени спектрально-двойные звёзды стали предметом её исследований.

Много лет Антония Мори изучала очень сложный и интересный спектр звезды β Лиры и в 1933 г. опубликовала его подробнейшее описание. До 1948 г. она почти каждый год приезжала в Гарвард для изучения новых фотографий спектра β Лиры и проверяла, меняется ли спектр этой звезды так, как она предсказывала. После ухода на пенсию Антония Мори несколько лет была куратором Парка Музея Дрэперов в Хастингсе на Гудзоне.

МОРСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ США (United States Naval observatory) – оптическая обсерватория Министерства обороны США; расположена в г. Вашингтоне и входит в состав Военно-морских сил США. Основана в 1830 г. как Управление по подготов-

ке карт и навигационных приборов для Военно-морского флота США. Статус государственной обсерватории для астрономических наблюдений и исследований получила в 1842 г. Проводит астрономические наблюдения, необходимые для навигации и топографии, а также для обеспечения стандарта времени в США. Обсерватория имеет наблюдательную станцию во Флагстаффе, штат Аризона.

МОРСКОЙ АЛЬМАНАХ (Nautical almanac) – астрономический ежегодник, публикуемый для использования в навигации.

МУЗЫКА СФЕР – то же, что *Гармония сфер.*

МУЛЬТИВЕРС – то же, что *Сверхвселенная.*

МУЛЬТИВСЕЛЕННАЯ – то же, что *Сверхвселенная.*

МУЛЬТИЛЕННАЯ – то же, что *Сверхвселенная.*

МУЛЬТИМИР – то же, что *Сверхвселенная.*

МУЛЬТИПЛЕТНАЯ ВСЕЛЕННАЯ – то же, что *Сверхвселенная.*

МУЛЬТОН, Форест Рей (Moulton, Forest Ray) (29.04.1872, Ле-Рой, шт. Мичиган, США, – 7.12.1952, Уилмет, шт. Иллинойс, США) – американский астроном-теоретик. Изучал устойчивость движения спутниковых систем, определял орбиты планет и комет, построил теорию приливов в системе Земля–Луна. В 1905 г. совместно с американским геологом Томасом Чемберлином (1843–1928) выдвинул планетезимальную гипотезу происхождения Солнечной системы взамен небулярной гипотезы Лапласа. Чемберлин и Мультон предположили, что в далёком прошлом рядом с Солнцем прошла другая звезда. Её гравитационное влияние, а также некоторые процессы в недрах Солнца вызвали колоссальные приливные выступы на поверхности нашего светила, подобные гигантским протуберанцам. Выброшенное вещество образовало два спиральных рукава. Вскоре после этого большая часть вещества упала обратно на Солнце, но некоторая его часть осталась на орбите. Это вещество постепенно охладилось и сконденсировалось в многочисленные малые тела, названные авторами гипотезы планетезималями, а также в несколько более крупных тел – протопланет. Постепенно в результате взаимных столкновений планетезимали слипались друг с другом и объединялись с протопланетами. Так сформировались современные планеты и их спутники, а кометы и астероиды – это остатки космического мусора.

В те годы на Ликской обсерватории были получены фотографии спиральных туманностей. Чемберлин и Мультон увидели в них подтверждение своих идей, считая, что на снимках запечатлён процесс рождения планетных систем у других звёзд. Как позже стало понятно, спиральные туманности – это далёкие галактики, а не формирующиеся планетные системы.

В 1917 г. Джеймс Джинс показал, что только очень близкий, почти касательный пролёт второй звезды рядом с Солнцем мог привести к выбросу вещества с его поверхности, но такие пролёты, по расчётам Джинса, крайне редки. В 1939 г. Лайман Спитцер показал, что струя вещества, выброшенная из Солнца, скорее рассеется, чем сконденсируется. В 1940-е гг. Генри Норрис Рассел доказал, что если бы солнечное вещество было вырвано силой, достаточной, чтобы сообщить ему орбитальный момент импульса Юпитера, то это вещество вообще покинуло бы Солнечную систему. В 1943 г. Николай Николаевич Парийский и Василий Григорьевич Фесенков рассчитали орбиты тел, вырванных из Солнца под действием близкой звезды, и не нашли соответствия с Солнечной системой. Так шаг за шагом была доказана несостоятельность гипотезы Чемберлина и Мультона о происхождении Солнечной системы. Там не менее идея о планетезималях остаётся в арсенале современной космогонии.

МУНДИЛФАРИ (S XXV, Mundilfari) – естественный спутник Сатурна. Его открыл в 2000 г. канадский астроном Б. Глэдман (Brett J. Gladman) с коллегами. Большая полуось орбиты 18 360 тыс. км. Орбитальный период 928,8 сут. Эксцентриситет орбиты 0,198. Наклонение орбиты к эклиптике 170°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер 6 км. Видимый блеск $23{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°00′04″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

МУХА – маленькое, но красивое южное созвездие, лежащее в ярком отроге Млечного Пути, к югу от Южного Креста, рядом с Хамелеоном (на старых картах он пытается дотянуться до мухи языком). Сначала эту область называли Apis (Пчела), затем Musca Australis (Южная Муха), теперь – просто Musca. В двойной звезде β Mus два компонента 4-й звёздной величины, разделённые расстоянием в 1,3″, обращаются вокруг общего центра масс с периодом 383 года. В 1991 г. орбитальные обсерватории ГРАНАТ и ГИНГА открыли в этом созвездии вспышку рентгеновской новой (обозначенную как XN Mus 1991). На том же месте наземные астрономы заметили и вспышку оптической новой. Исследования показали, что это очень тесная двойная система с орбитальным периодом менее полусуток, причём один из её компонентов – невидимый объект массой 9–16 масс Солнца – почти наверняка чёрная дыра. Кроме этого, из системы приходит характерное гамма-излучение, говорящее об аннигиляции электронов и позитронов, следовательно, там возникает и гибнет антивещество.

Н

НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕЛЕКЦИЯ – невольный тенденциозный отбор данных, который производит наблюдатель при статистических исследованиях. Обычно это вызвано разной «замечаемостью» объектов разного типа, наблюдающихся с помощью приборов определённой конструкции. Например, поиск двойных звёзд с помощью спектрографа приводит к обнаружению в основном тесных систем, амплитуда орбитальных скоростей у которых велика. А поиск физических двойных астрометрическими методами позволяет обнаружить только широкие пары, расстояние между компонентами у которых превышает угловое разрешение телескопа.

НАВЕДЕНИЕ – процедура ориентации телескопа в направлении небесного объекта, по окончании которой объект становится виден в окуляр или попадает в поле зрения детектора. Имеется несколько способов наведения телескопа.

Используя точно разделённые координатные круги на монтировке телескопа или располагая инструментом с компьютерным управлением, можно установить телескоп по рассчитанным координатам, после чего объект должен быть виден вблизи центра поля зрения главного инструмента или по крайней мере искателя.

Для наведения на объекты средней яркости можно вначале грубо навести телескоп в правильном направлении, а затем, используя искатель, отождествить объект и привести его на крест нитей окуляра искателя, после чего объект должен попадать и в поле зрения главного инструмента. При грубом наведении может быть полезен однократный искатель. Для наведения этим способом необходимо хорошо знать созвездия.

Наведение по цепочке. Этот метод применяется при наведении на слабые объекты, невидимые в искатель. Для наведения по цепочке необходима хорошая поисковая карта, содержащая звёзды, видимые в главный инструмент, и охватывающая участок неба, который включает искомый объект и легко отождествляемую яркую звезду. Вначале наблюдатель, глядя в окуляр основного инструмента, наводит телескоп на яркую звезду, а затем последовательно перемещает телескоп тонкими движениями по обеим координатам по направлению к объекту, пе-

переходя от звезды к звезде и постоянно сверяясь с картой до тех пор, пока искомый объект не окажется в поле зрения.

Возможность автоматического наведения на избранный объект даёт система goto, имеющаяся у многих современных телескопов, управляемых компьютерами. Работая с телескопом, оснащённым системой goto, наблюдатель вводит имя объекта или его координаты, и телескоп автоматически наводится на указанный объект или точку небесной сферы. Управляющий компьютер использует встроенную базу данных, содержащую координаты тысяч объектов звёздного неба, а также элементы орбит подвижных объектов — планет, астероидов, комет. Перед наведением проводится вычисление видимых координат объекта для данной широты и момента времени, обычно с внесением поправок за прецессию, рефракцию и т. п.

НАДИР — точка небесной сферы, расположенная вертикально вниз от наблюдателя. Лежит на пересечении отвесной линии с небесной сферой в направлении, противоположном зениту.

НАИБОЛЬШАЯ ЭЛОНГАЦИЯ — положение Меркурия или Венеры на небе, когда они наблюдаются на наибольших угловых расстояниях от Солнца. В этом случае луч зрения наблюдателя с Земли проходит по касательной к орбите планеты. Поскольку орбиты имеют эллиптичность, угол наибольшей элонгации может изменяться в пределах 18–28° для Меркурия и 45–47° для Венеры. Наибольшая элонгация наступает через 16–28 сут до или после нижнего соединения для Меркурия и через 70–71 сут до или после нижнего соединения для Венеры. Оптимальным временем для наблюдений этих планет являются именно периоды вблизи наибольшей элонгации, поскольку в моменты, когда они ближе всего к Земле (нижнее соединение), к наблюдателю обращены неосвещённые полушария планет.

НАИБОЛЬШИЙ БЛЕСК — момент, когда Меркурий или Венера достигают своего максимального блеска в течение синодического периода. Моменты наибольшего блеска для Меркурия наступают при элонгации 10–12°, когда его блеск достигает $-1{,}2^m$, а для Венеры — при элонгации 35–36°, когда её блеск превышает $-4{,}7^m$, и она является ярчайшим объектом неба после Солнца и Луны.

НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТЫ — угол между осью вращения планеты и перпендикуляром к плоскости её орбиты (или, что то же самое, между плоскостью экватора планеты и плоскостью её орбиты). Соответствует английскому термину obliquity. Следует иметь в виду, что иногда наклоном оси (inclination) называют угол между полюсом вращения планеты и полюсом эклиптики или даже полюсом мира.

НАКЛОН ЭКВАТОРА К ЭКЛИПТИКЕ — угол между небесным экватором и эклиптикой, т. е. между плоскостями земного экватора и земной орбиты. Этот же угол обычно называют углом наклона земной оси. С невысокой точностью он равен 23,5°, но не остаётся постоянным: как наклон экватора Земли, так и наклон её орбиты постепенно меняются. Короткопериодические изменения наклона экватора вызваны нутацией земной оси с периодом 18,6 года и амплитудой 9″. Среднее значение наклона экватора к эклиптике обычно обозначаются греческой буквой ε. Оно также очень медленно изменяется со временем. На 1 января 2000 г. значение $\varepsilon = 23° 26' 21{,}448''$.

НАКЛОНЕНИЕ ОРБИТЫ (реже говорят «наклон орбиты») — угол между орбитальной плоскостью планеты и плоскостью эклиптики. Для спутников планет обычно это угол между плоскостью орбиты спутника и экваториальной плоскостью планеты. Для двойных звёзд — угол между нормалью к плоскости орбиты и лучом зрения. Соответствует английскому термину *inclination*.

НАКЛОННЫЙ РОТАТОР — модель звезды, у которой ось вращения не совпадает с магнитной осью. Предполагают, что магнитные звёзды, демонстрирующие периодические изменения магнитного поля, как раз являются таким наклонными ротаторами.

НАКОПЛЕНИЕ — метод снижения относительного уровня шума в сигнале путём усреднения или суммирования многих реализаций сигнала, например суммирование ряда изображений объекта, полученных с короткой экспозицией. В простейшем случае накопление выполняется путём длинной экспозиции, при которой наиболее яркие области объекта приближаются к уровню насыщения детектора.

НАНОМЕТР — дольная единица длины в системе СИ, равная 10^{-9} м; обозначение — нм. Обычно используется в астрономии при указании длины волны оптического излучения. Для этой же цели, наряду с нанометром, в астрономии до сих пор широко используется внесистемная единица длины ангстрем (Å): 1 нм = 10 Å.

НАПЫЛЕНИЕ — покрытие поверхности тонким слоем вещества. См. *Алюминирование*.

НАПЫЛЯЕМОЕ ЗЕРКАЛО — современный тип астрономического зеркала (в отличие от зеркал старинных телескопов, которые изготавливали из зеркальной бронзы). Стекло или стеклокерамический материал (ситалл, зеродур, цервит, ULE) служат лишь основой, поддерживающей тончайший отражающий слой металлического алюминия или серебра. Поверхность, на которую наносится отражающий слой, должна быть фигуризирована до требуемой формы с надлежащей степенью точности.

НАРВИ (S XXXI, Narvi) — естественный спутник Сатурна. Его открыл Скотт Шеппард в 2003 г. Большая полуось орбиты 19 371 тыс. км. Орбитальный период 1006,541 сут. Эксцентриситет орбиты 0,32. Наклонение орбиты к эклиптике 137°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 7 км. Видимый блеск 24^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1°08′32″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

НАСЕЛЕНИЯ ГАЛАКТИКИ — звёзды и другие объекты галактики, объединённые некоторыми общими признаками, указывающими на их генетическую связь, характерный возраст, распределение и движение в пространстве. Наблюдаются объекты I и II типов населения, а также ведутся поиски объектов населения III типа. Иногда слово «тип» опускают и говорят короче: население I, население II и население III.

Население I. Это звёзды и другие объекты, например звёздные скопления и плотные межзвёздные облака, расположенные вблизи плоскости спиральной галактики и обращающиеся вокруг её центра по почти круговым орбитам. Эти объекты моложе объектов II и III типов населения, поэтому в их составе больше тяжёлых элементов. Вероятно, они формируются на протяжении всего времени существования галактического диска. К старым звёздам населения I относят Солнце.

Все звёзды населения I богаты элементами тяжелее водорода и гелия, так как они сформированы из облаков пыли и газа, содержащих продукты ядерного синтеза звёзд предыдущих поколений. Наличие тяжёлых элементов в протопланетных дисках считается основным фактором формирования планет, особенно планет земного типа. Поэтому только объекты населения I могут быть местом рождения планетных систем и, возможно, жизни, похожей на нашу.

Население II. К населению II типа причисляют старые красные звёзды и другие объекты, наблюдаемые в галактических гало и балджах спиральных галактик, подобных нашей Галактике. Эти объекты наблюдаются около галактического центра и в той части галактики, которая наиболее удалена от галактической плоскости. Гало содержит отдельные старые звёзды

и шаровые звёздные скопления. Звёзды населения II составляют большую часть эллиптических галактик. У этих звёзд вытянутые орбиты обращения вокруг центра галактики, и в их составе мало тяжёлых элементов (т. е. элементов сложнее водорода и гелия), так как они формировались в ту эпоху, когда галактика была молодой, и продукты ядерного синтеза ещё не попали из недр звёзд в межзвёздную среду. Поскольку тяжёлые элементы благоприятствуют формированию планет, можно ожидать, что у звёзд населения II планеты встречаются реже.

Население III. Это гипотетическое население звёзд, которые состоят почти из чистого водорода и гелия, а в их поверхностных слоях вообще нет тяжёлых элементов (т. е. элементов сложнее гелия). Согласно теории, звезды населения III — это самые первые звёзды, сформировавшиеся после Большого взрыва, когда в космосе не существовало тяжёлых элементов кроме небольшого количества некоторых изотопов, таких как литий-7, который образовался в ходе Большого взрыва.

НАСОС — небольшое южное созвездие. Под названием Antlia Pneumatica (Воздушный Насос) Н. Лакайль выделил это тусклое созвездие в 1754 г. в честь изобретений, сделанных физиком Робертом Бойлем. Созвездие лежит к востоку от Компаса и к северу от Парусов. Ярчайшие звёзды Насоса — красные гиганты 4–5 звёздной величины.

НАСЫЩЕНИЕ — достижение детектором максимально возможного выходного сигнала. После насыщения выходной сигнал остаётся постоянным, несмотря на рост входного сигнала. Во многих случаях отклик детектора в пределах динамического диапазона становится нелинейным ещё до достижения насыщения, поэтому полезный рабочий диапазон обрывается на некотором уровне выходного сигнала, меньшем уровня насыщения.

НАУГОЛЬНИК — небольшое южное созвездие, введённое Н. Лакайлем. Наугольник — это плотницкий прибор, угломер. Созвездие лежит к юго-западу от Скорпиона. Хотя через него проходят обе ветви Млечного Пути, в основном эта область неба занята тёмной прогалиной между ними и потому бедна яркими звёздами.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ МЕКСИКИ (Observatorio Astronómico Nacional или Observatorio de Tacubaya) — оптическая обсерватория на горе Сьерро Сан-Педро-Мартир в Южной Калифорнии. Крупнейший инструмент — 2,1-метровый телескоп.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ЯПОНИИ (National Astronomical Observatory of Japan, NAOJ) — научная организация, в распоряжении которой находится большинство крупных наблюдательных средств японской астрономии и астрофизики, включая 8,2-метровый телескоп «Субару» (о. Гавай), радиоастрономическую обсерваторию в Нобеяме с 45-метровой антенной миллиметрового диапазона и недавно созданный детектор гравитационных волн TAMA 300. Имеет также сеть солнечных обсерваторий и несколько радиоинтерферометров, включая межостровную сеть 20-метровых антенн. NAOJ организована в 1988 г. путём слияния нескольких университетских обсерваторий и государственных организаций по исследованию Земли и космоса.

НАЦИОНАЛЬНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ОПТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ США (National Optical Astronomy Observatory, NOAO) — научная организация, координирующая работу нескольких крупнейших наземных обсерваторий США, осуществляющих наблюдения в оптическом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра. Это обсерватории Серро-Тололо, Китт-Пик, «Джемини» и др. (с. 5 цветной вкладки). NOAO ведает распределением времени на больших телескопах, принимая заявки не только от американских астрономов, но и от специалистов других стран. Финансируется Национальным научным фондом (NSF).

НАЦИОНАЛЬНАЯ СОЛНЕЧНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ США (National Solar Observatory) — научная организация, в ведении которой находятся солнечные телескопы на обсерваториях Китт-Пик (Аризона) и Сакраменто-Пик (близ Санспот, Нью-Мексико). Также она руководит работой Глобальной сети по изучению колебаний Солнца (Global Oscillation Network Group). Крупнейшие инструменты: башенный вакуумный телескоп «Ричард Данн» диаметром 152 см на обсерватории Сакраменто-Пик и наклонный телескоп «МакМат — Пирс» диаметром 161 см на обсерватории Китт-Пик.

НАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО АЭРОНАВТИКЕ И ИССЛЕДОВАНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА (National Aeronautic and Space Administration, NASA) — правительственная организация США, занятая вопросами гражданских исследований и разработок в области воздухоплавания, а также изучения и освоения космического пространства. Основана в 1958 г. и базируется в Вашингтоне. Осуществляет планирование и финансирование космических исследований, разработку и запуск космический аппаратов, подготовку астронавтов, распространение информации об исследованиях космоса. Среди подразделений NASA — Центр космических полётов им. Годдарда, Лаборатория реактивного движения, Космический центр им. Джонсона, Космический центр им. Кеннеди (на мысе Канаверал во Флориде), Национальный центр космических данных США. Институт космического телескопа «Хаббл».

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ (National Space Science Data Center) — центр данных астрономической и космической информации NASA, размещённый в Центре космических полётов им. Годдарда. Доступен по адресу http://nssdc.gsfc.nasa.gov.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФРАНЦИИ (Centre National d'Etudes Spatiales) — правительственная организация, контролирующая стратегию развития и проведение космических исследований во Франции, включая французское участие в Европейском космическом агентстве.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР РАДИОАСТРОФИЗИКИ ИНДИИ (National Center for Radio Astrophysics) — научный центр в Пуне (Pune, Индия), располагающий крупнейшим в мире радиотелескопом метрового диапазона с тридцатью 45-метровыми полноповоротными параболическими антеннами, распределёнными на территории в 25 км, а также и другими радиотелескопами. Является частью Института фундаментальных исследований Тата.

НАЯДА (N III, Naiad) — естественный спутник Нептуна. Его открыли в сентябре 1989 г. на снимках, переданных «Вояджером-2». Хотя с того момента неоднократно предпринимались попытки обнаружить спутник с помощью крупнейших наземных и космических телескопов, включая «Кек» и «Хаббл», заметить Наяду до 2012 г. не удалось; возможная причина — неверные эфемериды.

Большая полуось орбиты 48 227 км. Орбитальный период 0,294396 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0004. Наклонение орбиты к экватору планеты 4,8°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Размеры 96×60×52 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $2 \cdot 10^{17}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Альбедо около 7%. Видимый блеск $24{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 51 К.

Вследствие короткого орбитального периода Наяда испытывает приливное торможение и приближается к Нептуну. Вероятно, она уже практически достигла предела Роша, поэтому в будущем она может разрушиться и образовать кольцо либо погрузиться в атмосферу Нептуна.

N-ГАЛАКТИКИ (NG) — внегалактические объекты, которые в оптическом диапазоне выглядят как образования с ярким звездообразным ядром, окружённым туманной протяжённой оболочкой, а в радиодиапазоне проявляют себя как мощные протяжённые радиоисточники. Название получили по первой букве латинского слова *nucleus* — ядро. NG были открыты в 1958 г. Б. А. Воронцовым-Вельяминовым, к 1983 г. их было известно несколько десятков, в то время как компактных галактик, не являющихся сильными радиоисточниками, открыто в сотни раз больше. Пространственная концентрация NG порядка 10^{-6} Мпк$^{-3}$, что в миллионы раз ниже концентрации нормальных галактик. Малочисленность NG роднит их с квазарами и мощными радиогалактиками. Одна из самых близких среди известных NG (3C 120) удалена от нас на 100 Мпк, а одна из самых далёких (3C 109) — примерно на 1000 Мпк. Возможно, NG являются какой-то промежуточной популяцией между квазарами и радиогалактиками или даже их промежуточной стадией эволюции.

NG представляют собой гигантские эллипсоидальные звёздные системы с необычно ярким ядром. В оптическом диапазоне светимость NG соответствует светимости гигантских эллиптических галактик: их средняя абсолютная звёздная величина около -21^m, что соответствует светимости ~ 10^{34} Вт. Размер центральной области NG не превышает нескольких килопарсеков, что намного меньше размера нормальных галактик, а значит, поверхностная яркость центральной области NG значительно выше.

Непрерывное оптическое излучение (континуум) NG имеет нетепловой характер и избыток в коротковолновом диапазоне, что проявляется в аномально голубом цвете этих объектов по сравнению с обычными галактиками (голубой цвет придаёт им излучение активного ядра). Этим NG похожи на квазары и ядра некоторых типов галактик, например сейфертовских. Как и у квазаров и активных ядер галактик, у NG обнаружена переменность оптического излучения с характерным временем от нескольких лет до нескольких десятков лет. Это свидетельствует об относительно малом размере (< 1 пк) излучающих областей и о происходящих в них время от времени мощных процессах энерговыделения.

Наблюдаемые в спектрах NG линии излучения принадлежат ионам водорода, углерода и ряда других элементов, что характерно для газа в обычных галактиках. Особенностью этих линий в спектрах NG является их большая ширина — десятки и сотни ангстрем, что соответствует дисперсии скоростей газа в излучающих областях в тысячи и даже десятки тысяч км/с. Такие же и даже более широкие линии наблюдаются в спектрах квазаров и ядер сейфертовских галактик, что, по-видимому, указывает на действие мощных факторов ускорения газовых облаков в этих объектах. Линии поглощения — узкие, что доказывает звёздный характер основного тела NG, состоящего, по-видимому, из старых звёзд, излучение которых вносит заметный вклад в общее излучение NG в видимых, особенно красных, лучах.

Как радиоисточники NG по морфологии и виду спектров очень похожи на квазары и радиогалактики, а по интенсивности энерговыделения (~ 10^{36} Вт) занимают промежуточное между ними положение. Основная часть радиоизлучения идёт обычно от двух протяжённых (десятки килопарсеков) радиокомпонентов, отстоящих друг от друга часто на сотни килопарсеков. Оптический компонент NG расположен, как правило, между радиокомпонентами. В NG часто наблюдается менее мощный (~ 10^{33} Вт) переменный радиоисточник, связываемый с ядром оптического компонента. За время активной фазы (10^7–10^8 лет) NG может выделить в оптическом и радио-диапазонах энергию до 10^{51}–10^{53} Дж.

НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА — раздел астрономии, в котором с помощью законов механики изучается движение космических тел (звёзд, планет, спутников, астероидов, комет) под действием различных сил. Методами небесной механики на основании наблюдаемых положений небесных тел рассчитываются их орбиты и предвычисляются таблицы их положений на будущее — эфемериды. Кроме того, рассчитываются обстоятельства (т. е. место и время) астрономических явлений, представляющих научный интерес: затмений, покрытий, конфигураций светил и т. п.

Естественно, что небесная механика в первую очередь изучает поведение тел Солнечной системы — обращение планет вокруг Солнца, спутников вокруг планет, движение комет и других малых тел. Тогда как перемещение далёких звёзд удаётся заметить в лучшем случае за десятилетия и века, движение членов Солнечной системы происходит буквально на глазах — за дни, часы и даже минуты. Поэтому его изучение стало началом современной небесной механики, рождённой трудами Иоганна Кеплера и Исаака Ньютона в XVII в.

Кеплер впервые установил законы планетного движения, а Ньютон сформулировал общие законы движения. Используя их, Ньютон вывел из законов Кеплера закон всемирного тяготения, а затем, совершив великий интеллектуальный прорыв, использовал законы движения и тяготения для решения небесно-механических проблем, не охваченных законами Кеплера. После Ньютона прогресс в небесной механике в основном заключался в развитии математической техники для решения уравнений, выражающих законы Ньютона. Таким образом, принципы небесной механики — это «классика» в том смысле, что и сегодня они такие же, как во времена Ньютона. Разумеется, со временем любая физическая теория дорабатывается и уточняется. В начале XX в. законы механики и гравитации получили более точное воплощение в виде теории относительности Альберта Эйнштейна. Однако для большинства приложений механика Ньютона не утратила своего значения и по-прежнему служит удобным инструментом в арсенале небесной механики.

Чтобы лучше понять методы и результаты небесной механики, познакомимся с законами механики Ньютона и проиллюстрируем их простыми примерами.

Закон инерции. Согласно этому закону, в системе отсчёта, движущейся без ускорения, каждое тело сохраняет состояние покоя или прямолинейного и равномерного движения, если на него не действует внешняя сила. Это противоречит положению аристотелевой физики, утверждающему, что для поддержания движения тела требуется сила. Закон Ньютона говорит, что внешняя сила необходима только для приведения тела в движение, для его остановки или для изменения направления и величины его скорости. Темп изменения скорости тела по величине или направлению называется «ускорением» и свидетельствует о том, что на тело действует сила. Для небесных тел обнаруженное из наблюдений ускорение служит единственным указателем действующей на них внешней силы. Понятие о силе и ускорении позволяет с единой позиции объяснить движение всех тел в природе: от теннисного мяча до планет и галактик.

Поскольку объект, движущийся по искривлённой траектории, испытывает ускорение, можно заключить, что Земля на её орбите вокруг Солнца постоянно подвергается влиянию силы, которую называют «гравитацией». Задача небесной механики состоит в том, чтобы определить действующую на небесное тело силу гравитации и выяснить, как она влияет на его движение.

Закон силы. Если к телу приложена сила, то оно движется ускоренно, причём чем больше сила, тем больше ускорение. Однако одна и та же сила вызывает различное ускорение у разных тел. Характеристикой инертности тела (т. е. сопротивления ускорению) служит его «масса», которую в первом приближении можно определить как «количество вещества»: чем больше масса тела, тем меньше его ускорение под действием заданной силы. Таким образом, второй закон Ньютона утверждает, что ускорение тела пропорционально приложенной к нему си-

ле и обратно пропорционально его массе. Если из наблюдений известны ускорение тела и его масса, то, используя этот закон, можно вычислить действующую на тело силу.

Закон противодействия. Этот закон утверждает, что взаимодействующие тела прилагают друг к другу равные по величине, но противоположно направленные силы. Поэтому в системе из двух тел, влияющих друг на друга одинаковой по величине силой, каждое испытывает ускорение, обратно пропорциональное его массе. Значит, лежащая на прямой между ними точка, удалённая от каждого обратно пропорционально его массе, будет двигаться без ускорения, несмотря на то, что каждое из тел движется ускоренно. Эту точку называют «центром масс»; вокруг неё обращаются звёзды в двойной системе. Если одна из звёзд вдвое массивнее другой, то она движется вдвое ближе к центру масс, чем её соседка.

Законы Кеплера

Познакомиться с силой гравитации лучше всего на примере взаимного движения двух тел: компонентов двойной звезды или Земли вокруг Солнца (для простоты предполагая, что другие планеты отсутствуют). К таким системам применимы законы Кеплера. В их основе лежит тот факт, что оба взаимодействующих тела движутся в одной плоскости. Это означает, что и сила гравитации всегда лежит в той же плоскости.

Закон эллипсов. Первый закон Кеплера утверждает, что планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которого находится Солнце. Фактически этот закон справедлив только для системы из двух тел, например для двойной звезды. Но и в Солнечной системе он выполняется довольно точно, поскольку на движение каждой планеты в основном влияет массивное Солнце, а все остальные тела влияют несравненно слабее. Если наблюдатель располагается в центре Солнца и постоянно измеряет положение планеты, то он обнаруживает, что планета описывает эллипс вокруг Солнца, находящегося в фокусе этой кривой. Если же наблюдатель находится в центре нашей планеты и измеряет положение Солнца, то, очевидно, он обнаружит, что Солнце описывает точно такой же эллипс вокруг Земли.

Закон площадей. Если отмечать не только положение планеты, но и время, то можно узнать не только форму орбиты, но и характер движения планеты по ней. Он подчиняется второму закону Кеплера, утверждающему, что линия, соединяющая Солнце и планету (ее называют «радиусом-вектором» планеты), за равные интервалы времени заметает равные площади. Например, радиус-вектор Земли каждые сутки заметает $2 \cdot 10^{14}$ км^2. Из закона площадей следует, что Солнце притягивает планету строго по прямой, соединяющей их центры. Верно и обратное: для любой центральной силы справедлив второй закон Кеплера.

Гармонический закон. Ещё больше можно узнать о силе гравитации из третьего закона Кеплера, связывающего размер планетной орбиты с периодом обращения по ней. Его называют гармоническим законом, поскольку склонный к мистике Кеплер считал эту связь проявлением «небесной гармонии». Закон гласит, что если a – большая полуось эллиптической орбиты планеты, а P – период обращения по ней, то отношение a^3/P^2 одинаково для всех планет.

Рассмотрим некоторую планету, обращающуюся вокруг Солнца по круговой орбите радиуса a. Солнце притягивает её с постоянной по величине силой, сообщая ускорение, необходимое для равномерного изменения направления движения. Найдём это ускорение, вычислив изменение скорости планеты V за единицу времени. Изобразив скорость стрелкой постоянной длины, мы видим, что за период оборота планеты по орбите, равный $2\pi a/V$, стрелка совершает полный поворот. Поэтому изменение скорости за это время равно длине окружности радиуса V. А изменение скорости за единицу времени, т. е. ускорение, составляет $2\pi V/(2\pi a/V) = V^2/a$.

Обозначив орбитальный период через P, мы можем записать скорость как $V = 2\pi a/P$. Тогда из выражения для ускорения получим, что оно пропорционально $(a/P)^2/a$, или a/P^2. Домножив числитель и знаменатель на a^2, запишем это выражение так: $(a^3/P^2)(1/a^2)$. Но, согласно гармоническому закону Кеплера, первый сомножитель постоянен – его значение одинаково для всех тел Солнечной системы. Значит, центростремительное ускорение и вызывающая его сила гравитации пропорциональны второму сомножителю, т. е. изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца. Хотя мы доказали это только для круговой орбиты, более изощрённые математические методы позволяют доказать это и для эллиптических орбит.

Гармонический закон утверждает, что период обращения планеты зависит только от её расстояния от Солнца и не зависит от её массы. Значит, все тела, движущиеся по одной орбите, должны иметь одинаковую скорость.

Закон всемирного тяготения Ньютона

Анализируя законы Кеплера и наблюдения астрономов за движением Луны, Ньютон сформулировал новый закон: каждая частица вещества притягивается к любой другой частице вдоль соединяющей их прямой с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Это всеобщий закон, он не ограничен влиянием Солнца на планеты. Он описывает также взаимодействие двух звёзд, планеты и её спутника, Земли и метеорита, Солнца и кометы. Все вещество во Вселенной подчиняется этому закону. Поэтому его называют законом всемирного тяготения. Всеобщность этого закона дополняется его уникальностью: как доказали математики, планетные орбиты будут эллипсами, в фокусе которых находится Солнце, только в том случае, если притяжение меняется обратно пропорционально квадрату расстояния.

Казалось бы, попытка на основе ньютоновых законов движения и гравитации исследовать относительное движение взаимно притягивающихся тел должна просто привести к выводу знакомых нам законов Кеплера. Но это не так, ибо законы Кеплера справедливы только в том случае, если: 1) взаимодействуют не более двух тел; 2) тела движутся по замкнутым орбитам; 3) масса одного из тел пренебрежимо мала по сравнению с массой другого. Эти условия делают анализ предельно простым, но они совершенно не обязательны для применения законов движения и гравитации. Используя эти общие законы, мы можем пренебречь указанными ограничениями. Давайте сделаем это, отказываясь всякий раз лишь от одного из них.

Во-первых, можно показать, что орбита может быть не только эллипсом (частный случай которого – окружность), но также параболой или гиперболой. Все эти кривые называют «коническими сечениями», поскольку они получаются при пересечении прямого кругового конуса плоскостью. Круг и эллипс – замкнутые кривые; парабола и гипербола – незамкнутые. Спутник, движущийся по замкнутой орбите, совершает одинаковые обороты снова и снова; а спутник, движущийся по незамкнутой кривой, приближается к главному телу с бесконечно далёкого расстояния и, пролетев рядом с ним, вновь удаляется на бесконечность.

Во-вторых, можно показать, что «постоянная» величина a^3/P^2 в гармоническом законе численно равна сумме масс двух взаимодействующих тел, если a выражено в расстояниях Земли от Солнца (а. е.), P – в периодах обращения Земли (годы), а масса – в сумме масс Земли и Солнца. Поскольку в Солнечной системе масса любой планеты не превосходит тысячной доли массы Солнца, величины a^3/P^2 для всех планет различаются не более чем на 0,1%. Будь планеты массивнее, Кеплер не смог бы сформулировать свой гармонический закон. В общем виде этот закон выглядит так:

$$a^3/P^2 = M + m,$$

где M и m – массы компонентов системы, например Земли и Луны или звёзд в двой-

ной системе, причём значения масс могут быть любыми. Но все значения величин в этой формуле должны быть выражены в единой системе, например: астрономическая единица, год, масса Солнца. Этот закон астрономы используют для определения масс различных космических объектов.

Можно также исследовать поведение трёх или более взаимно притягивающихся тел. Закон тяготения позволяет вычислить силу, действующую на каждое из тел со стороны остальных, а законы движения — определить, как изменяется от этого его скорость. В случае двух тел их траектории движения могут быть представлены простыми уравнениями Кеплера. Но если тел больше, то это невозможно сделать с помощью конечного числа уравнений.

Этот последний случай наиболее часто встречается в небесной механике Солнечной системы. Важную проблему трёх тел представляет система Земля–Луна–Солнце, но и здесь для точного вычисления орбиты Луны приходится учитывать возмущения со стороны других планет (особенно Юпитера и Сатурна), влияние экваториального вздутия Земли и даже влияние приливов, которые Луна вызывает в океанах Земли.

Интерес к классической небесной механике значительно возрос после 1957 г. в связи с необходимостью расчёта орбит искусственных спутников и межпланетных аппаратов. Мощные компьютеры сделали возможным быстрое решение любой небесно-механической задачи с высокой точностью. Впервые для таких расчётов был использован компьютер SSEC фирмы IBM размером с комнату. Для вычисления положений Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Плутона с интервалом в 40 сут с 1653 г. по 2060 г. ему понадобилось 140 час. Сегодня рядовой компьютер делает это менее чем за 1 с. Теперь с помощью мощнейших компьютеров стало возможным решать такие задачи, которые были совершенно недоступны классической небесной механике: можно проследить на протяжении миллиардов лет эволюцию скопления, состоящего из миллионов звёзд, детально расчитать, как исказится форма двух сталкивающихся галактик. Компьютер вдохнул в небесную механику новую жизнь.

НЕБЕСНАЯ ПАРАЛЛЕЛЬ, или **суточная параллель**, — малый круг небесной сферы, плоскость которого параллельна плоскости небесного экватора.

НЕБЕСНАЯ СФЕРА — воображаемая сфера произвольного радиуса, в центре которой располагается наблюдатель, внутри которой находятся все наблюдаемые небесные объекты и на поверхность которой, с точки зрения наблюдателя, эти объекты спроецированы. Небесная сфера применяется в астрономии как вспомогательная математическая поверхность для изучения взаимного расположения и движения космических объектов на основе определения их координат. Координаты объектов на небесной сфере (например, прямое восхождение и склонение) задаются путём продления линии, проведённой из центра небесной сферы через объект до пересечения с поверхностью сферы.

На небесной сфере выделяют: большие круги (их центры совпадают с центром сферы); малые круги (их центры не лежат в центре сферы); математический горизонт; зенит; надир; точки юг, восток, север и запад; полюсы мира, небесный экватор и меридиан; эклиптику; точки солнцестояний и равноденствий; суточные параллели — малые круги, параллельные экватору, которые вследствие суточного вращения Земли описывают все небесные светила на небесной сфере.

НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ — числа, заданием которых определяется положение точки на небесной сфере. Поскольку положение точки на сфере задаётся двумя углами, то небесные координаты — это угловые координаты, выраженные в одной из традиционных систем измерения углов — градусная, часовая, радианная и др. При решении разных задач используются различные сферические системы небесных координат. В большинстве случаев это горизонтальная, экваториальная, эклиптическая и галактическая системы координат. Но изредка применяются и другие (например, сверхгалактическая). Горизонтальные и экваториальные небесные координаты определяют из наблюдений, эклиптические и галактические — вычисляют. См. *Горизонтальная система координат, Экваториальная система координат, Галактическая система координат, Эклиптическая система координат.*

НЕБЕСНЫЕ ТЕЛА — планеты, кометы, звёзды, галактики и другие космические объекты, которые изучает астрономия.

НЕБЕСНЫЙ МЕРИДИАН (лат. *meridianus* — полуденный) — большой круг небесной сферы, проходящий через зенит наблюдателя и точки северного и южного полюсов мира. Плоскость небесного меридиана проходит через отвесную линию и ось мира. Небесный меридиан пересекается с горизонтом в точках севера и юга. Полуденная линия — это проекция небесного меридиана на плоскость математического горизонта.

НЕБЕСНЫЙ ЭКВАТОР — большой круг небесной сферы, равноудалённый от северного и южного полюсов мира. Небесный экватор лежит в плоскости земного экватора и служит основанием экваториальной системы небесных координат.

НЕБО — в быту так называют верхнюю область пространства над линией истинного горизонта. На профессиональном языке астрономов этот термин имеет более узкий смысл — «безоблачное небо». Если астроном говорит: «Вчера ночью небо было после 23 часов», он имеет в виду, что в это время небо было безоблачным и условия для наблюдений в телескоп были подходящими.

НЕБУЛИЙ — гипотетический химический элемент, которому в начале XX в. приписывали некоторые яркие линии в спектрах эмиссионных туманностей. После развития квантовой механики, в 1927 г., эти линии были отождествлены с запрещёнными линиями ионизованных кислорода и азота. См. также *Коронний* и *Мистериум.*

НЕБУЛЯРНАЯ ГИПОТЕЗА — гипотеза о том, что Солнце и планеты произошли из вращающегося газового облака: Солнце сконденсировалось в его центральной части, а планеты образовались из оставшихся на периферии газовых колец.

НЕБУЛЯРНЫЙ ФИЛЬТР — узкополосный фильтр, предназначенный для выделения ярких эмиссионных линий в излучении газовых туманностей. Основными из этих линий являются запрещённые линии дважды ионизованного кислорода (495,9 нм и 500,7 нм) и линия водорода Hβ (486,1 нм), для выделения которых предназначены соответственно [OIII]- и Hβ-фильтры. Применение подобных фильтров позволяет использовать длинные экспозиции и получать изображения с улучшенным отношением сигнал/шум, поскольку небулярные фильтры в значительной степени подавляют засветку неба, пропуская большую часть излучения туманности.

НЕВЗАИМОЗАМЕСТИМОСТЬ — падение чувствительности фотографической эмульсии при длительных экспозициях. Название явление происходит от нарушения «закона взаимозаместимости» — обратно пропорциональной зависимости между поверхностной яркостью объекта съёмки (точнее, освещённостью его изображения на фотоэмульсии) и необходимой для получения его снимка длиной экспозиции. В области действия закона взаимозаместимости понижение яркости вдвое можно компенсировать («заместить»), удвоив экспозицию. Но если яркость объекта низка (что особенно часто бывает в астрономии), то понижение яркости в два раза уже не удаётся компенсировать удвоением времени экспози-

ции. Иными словами, при низкой освещённости фотоэмульсии освещённость более эффективна, чем время. У некоторых типов эмульсий, выпускаемых специально для астрономического использования, невзаимозаместимость снижена, но не устранена полностью. В области очень высокой освещённости также наблюдается невзаимозаместимость, однако в этом случае время эффективнее освещённости.

НЕВИДИМЫЕ СПУТНИКИ ЗВЁЗД — тела планетарных размеров и масс, обращающиеся вокруг некоторых звёзд подобно планетам в Солнечной системе. Массы невидимых спутников звёзд меньше минимально необходимой для ядерного самовозгорания в их недрах водорода ($0{,}08\,M_\odot$) и дейтерия ($0{,}01\,M_\odot$). Образоваться такие тела могли из части вещества, не вошедшего в центральную звезду. Больше половины звёзд в Галактике образуют кратные системы (двойные, тройные и т. д.), и, по оптимистическим оценкам, до 10% звёзд могут иметь невидимые спутники. На присутствие невидимых спутников могут указывать периодическое смещение спектральных линий (доплеровский метод) и периодическое смещение положения звезды на небе (астрометрический метод), вызванные её обращением вокруг общего центра масс. Используя уравнения небесной механики, можно оценить массу тёмного компонента и период его обращения.

При удачном совпадении направления наблюдения с плоскостью орбиты невидимого спутника удаётся наблюдать его периодические прохождения на фоне диска звезды, которые удаётся заметить по слабому уменьшению блеска звезды (фотометрический метод). Это, в частности, позволяет определить размер спутника. Фотометрический поиск маловероятного прохождения планеты по диску звезды эффективен лишь при длительном и непрерывном наблюдении большого числа звёзд.

Исторически первым стал использоваться астрометрический метод, позволивший в 1960-е гг. заподозрить присутствие невидимых спутников у звезды Барнарда и звёзд Лаланд 21185, ε Эридана, 61 Лебедя и BD+43°4305. Для подтверждения этих данных и поиска маломассивных спутников звёзд необходимо было повышение точности определений радиальной скорости звезды до 10 м/с, а смещения — до 0,001″. Первым вышел на такой уровень точности доплеровский метод, с помощью которого с 1995 по 2012 г. открыто около 800 планет у иных звёзд. На второе место по продуктивности вышел фотометрический метод (особенно после запуска специализированных орбитальных телескопов). Астрометрические наблюдения пока дают мало информации, но в ближайшие годы запуск высокоточных астрометрических спутников позволит и этому методу стать эффективным.

Поиск невидимых спутников звёзд важен для развития теории происхождения Солнечной системы, а также для решения проблемы внеземной жизни и внеземных цивилизаций. Проведение наблюдений в космосе и ожидаемое в ближайшие годы значительное повышение точности измерений дают основание для расширения программ поиска других планетных систем. Даже отрицательные результаты поиска — доказательство отсутствия невидимых спутников у ряда звёзд — важны для развития представлений об образовании звёзд и планет.

После 2000 г. термин «невидимые спутники звёзд» практически заместился новым термином «экзопланеты» (от англ. *exoplanet*) и эквивалентным ему термином «внесолнечные планеты» (*extrasolar planets*). Однако полного соответствия между ними нет, поскольку термины «экзопланеты» и «внесолнечные планеты» имеют более широкий смысл: они включают в себя «свободные планеты» (*free-floating planets*), не связанные гравитационно со звёздами и движущиеся в галактике по собственным орбитам (иногда их в шутку называют бездомными планетами).

Начиная с 2004 г. получено несколько изображений «невидимых» спутников звёзд. В каталоге таких объектов (http://exoplanet.eu/catalog-imaging.php) к середине 2012 г. содержались изображения 31 планеты в 27 экзопланетных системах. Например, в протопланетном диске, окружающем молодую звезду β Живописца, сфотографирована планета весьма похожая на Юпитер, но более массивная. Своим строением эта система напоминает молодую Солнечную систему, в которой новорождённый Юпитер активно влиял на формирование остальных планет в околосолнечном диске. Наблюдать этот процесс «вживую» мечтали все специалисты по планетной космогонии. Теперь они получили эту возможность.

В 2008 г. космическим телескопом «Хаббл» удалось сфотографировать планету на внутреннем крае пылевого диска, окружающего яркую звезду Фомальгаут (α Южной Рыбы). Хотя эта звезда светит почти в 20 раз мощнее Солнца, она не могла бы настолько сильно осветить свою планету, чтобы сделать её заметной с Земли, поскольку планета удалена от Фомальгаута на 115 а. е. По-видимому, планета окружена гигантским отражающим свет кольцом, намного бо́льшим кольца Сатурна. Вероятно, в нём формируются спутники этой планеты, как в эпоху юности Солнечной системы формировались спутники планет-гигантов.

Не менее важна и фотография сразу трёх планет у звезды HR 8799 в созвездии Пегас. Эта система удалена от нас примерно на 40 пк. Каждая из её планет почти на порядок массивнее Юпитера, но движутся они примерно на тех же расстояниях от своей звезды, что и наши планеты-гиганты: в проекции на небо эти расстояния составляют 24, 38 и 68 а. е. Весьма вероятно, что на месте Венеры, Земли и Марса в той системе тоже обнаружатся землеподобные планеты. Но пока это за пределом технических возможностей.

Получение прямых снимков «невидимых» спутников звёзд — важнейший этап в их изучении. Во-первых, этим окончательно подтверждается их существование. Во-вторых, открыт путь к изучению свойств этих планет: их размеров, температуры, плотности, характеристик поверхности. И самое волнующее — не за горами расшифровка спектров этих планет, а значит, выяснение газового состава их атмосферы. О такой возможности давно мечтают экзобиологи.

НЕВОСХОДЯЩИЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые на данной географической широте в течение суток не поднимаются над математическим горизонтом. См. *Кульминация.*

НЕВЯЗКА — разность между измеренной величиной и её предсказанным значением. Невязки могут возникать из-за ошибок наблюдения или из-за влияния реального фактора, который не был учтён при вычислениях.

НЕГАТИВ — проэкспонированная и проявленная фотографическая пластинка или фотоплёнка, содержащая негативное изображение объекта. Негатив негатива даёт позитивное изображение.

НЕГАТИВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ — изображение, в котором ярчайшие части исходного объекта выглядят как самые тёмные области изображения, а самые тёмные его части выглядят самыми светлыми. Обычный фотографический процесс даёт негативное изображение.

НЕЗАПОЛНЕННАЯ АПЕРТУРА — объектив телескопа (оптического, радио или др.), состоящий из нескольких разрозненных элементов, не покрывающих собой всю площадь, на которой они располагаются. См. *Апертурный синтез.*

НЕЗАХОДЯЩИЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые на данной географической широте в течение суток не опускаются под математический горизонт. См. *Кульминация.*

НЕЙТРИННАЯ АСТРОНОМИЯ — раздел наблюдательной астрономии, связанный с поиском и исследованием потоков нейтрино от внеземных источников (Солнца, звёзд); возникла в 1960-х гг.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР AMANDA — черенковский детектор нейтрино, работа которого основана на регистрации излучения от высокоэнергичных электронов, возникающих во льдах полярной шапки Антарктиды. Детектор AMANDA (Antarctic Muon and Neutrino Detector Array — Антарктическая решётка детекторов мюонов и нейтрино) начал функционировать на полярной станции «Скотт–Амундсен» в районе Южного полюса в 1996 г. На глубину от 1,5 до 1,9 км в лёд были вморожены 19 гирлянд, содержащих 677 оптических модулей с фотоумножителями, регистрирующими вспышки черенковского излучения. Гирлянды располагались по окружности диаметром 200 м. Детектор регистрировал нейтрино с энергией более 50 ГэВ с угловым разрешением около 2°. Эксперимент AMANDA был предшественником эксперимента IceCube и на начальном этапе строительства последнего служил его частью. В августе 2009 г. эксперимент AMANDA был прекращён.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР GALLEX — радиохимический детектор, созданный международной группой физиков из Франции, Германии, Италии, Израиля, Польши и США для регистрации солнечного нейтрино. Работа детектора основана на регистрации событий превращения ядер галлия-71 (^{71}Ga) в ядра радиоактивного германия-71 (^{71}Ge) при захвате нейтрино по схеме $\nu_e + {}^{71}\mathrm{Ga} \to {}^{71}\mathrm{Ge} + e^-$. Нижний порог энергии нейтрино в этой реакции 233,2 кэВ, тогда как верхняя граница энергии нейтрино в основной протон-протонной цепочке термоядерных реакций в недрах Солнца 420 кэВ. Поэтому эксперимент GALLEX (Gallium Experiment) стал первым, способным регистрировать основной поток низкоэнергетичных солнечных нейтрино. В детекторе GALLEX используется мишень в виде ёмкости объёмом 54 м^3, содержащей 101 т раствора хлорида галлия в соляной кислоте, в составе которого 30,3 т чистого галлия. Детектор установлен в тоннеле в недрах горы Гранд Сассо (Италия), на глубине около 3 км от поверхности. Атомы радиоактивного германия (период полураспада 11,43 сут) выделялись из раствора в виде газа $^{71}GeH_4$ и направлялись в счётчик. За время наблюдений (1991–1997 гг.) в среднем регистрировалось $^3/_4$ события (т. е. поглощения электронного нейтрино) в сутки, что впервые прямо доказало протекание pp-реакции в ядре Солнца, но поток нейтрино оказался ниже расчётного. Причина этого расхождения выяснилась позже, когда на других детекторах был обнаружен эффект осцилляции нейтрино, т. е. частичного превращения одного его типа (например, электронного) в два других (мюонное и тау) по пути от Солнца к Земле.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР ICECUBE — черенковский детектор, созданный на Южном полюсе (станция «Скотт–Амундсен»), в толще антарктического льда для регистрации космических нейтрино. Официальное название — IceCube Neutrino Observatory. В создании этой обсерватории принимают участие многие научные организации США, Западной Европы, Японии и других стран. В обсерватории IceCube в объёме 1 км^3 льда находится 5160 чувствительных детекторов света на основе ФЭУ, способных уловить ничтожные следы черенковского излучения, возникающего при прохождении через ледяную среду заряженных частиц, которые могут родиться в том редком случае, если космические нейтрино столкнутся с ядром атома вещества среды. Гирлянды фотодетекторов опущены на глубину от 1,5 до 2,5 км в вертикальные шахты, проделанные с помощью горячей воды. На большой глубине под большим давлением лёд чрезвычайно прозрачен, поэтому черенковские вспышки видны в нём на многие десятки метров. Сооружение детектора началось в 2005 г., а завершилось в конце 2010 г., когда в лёд была замурована последняя гирлянда фотодетекторов. С этого момента IceCube стал крупнейшим нейтринным телескопом в мире.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР IMB — черенковский детектор нейтрино в штате Огайо, совместно используемый университетами Ирвина и Мичигана, а также Брукхейвенской лабораторией. Рабочее тело детектора представляет собой ёмкость большого объёма, заполненную водой. Детектор регистрирует черенковское излучение быстрых электронов, возникающих при рассеянии нейтрино, либо порождаемые нейтрино события обратного β-распада. Детекторы IMB и Камиокандe зарегистрировали нейтринный импульс от взрыва Сверхновой 1987A.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР NESTOR — детектор нейтрино, работа которого основана на регистрации черенковского излучения высокоэнергичных электронов, возникающих в водной толще Средиземного моря. NESTOR Project (Neutrino Extended Submarine Telescope with Oceanographic Research Project) — международный проект, в рамках которого будет создан нейтринный детектор у берегов Греции на глубине более 4 км.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР SAGE — радиохимический детектор, регистрирующий взаимодействие нейтрино с ядрами галлия-71, превращающимися при этом в радиоактивный германий-71. Детектор SAGE (Soviet-American Gallium Experiment) содержит 60 т жидкого галлия и размещён в глубоком тоннеле под Кавказом.

НЕЙТРИНО — элементарная частица с очень малой (долгое время считали, что нулевой) массой покоя, электрически нейтральная, со спином $^1/_2$. Относится к классу лептонов, участвует только в слабом и гравитационном взаимодействиях. Известны три типа нейтрино: электронное (ν_e), мюонное (ν_μ) и тау-нейтрино (ν_τ), соответствующие заряженным лептонам — электрону (e), мюону (μ) и тау-частице, или тритону (τ).

Нейтрино крайне слабо взаимодействует с веществом и поэтому легко проникает сквозь него, например, свободно проходит сквозь Солнце и Землю. Поэтому зарегистрировать нейтрино очень сложно. Рождаясь в ходе ядерных реакций в недрах звёзд, оно несёт прямую информацию о происходящих там физических процессах.

Гипотеза о существовании нейтрино была выдвинута в 1930 г. Вольфгангом Паули (1900–1958) для разрешения проблемы нарушения закона сохранения энергии при β-распаде радиоактивных ядер. Экспериментально нейтрино было впервые надёжно зарегистрировано в 1956 г. С момента открытия нейтрино его масса экспериментально не регистрировалась и поэтому считалась равной нулю. В этом случае частицы должны были двигаться со скоростью света и не могли распадаться или менять свой тип («осциллировать»). Созданный в 1967 г. под руководством Рэя Дэвиса (Брукхейвенская лаборатория, США) первый детектор солнечных нейтрино зарегистрировал поток ν_e в несколько раз ниже ожидаемого. В астрофизике возник «парадокс солнечных нейтрино» (1967–1997 гг.), заключавшийся в том, что либо внутреннее строение Солнца не соответствует расчётам, либо свойства нейтрино иные.

Первое свидетельство нейтринных осцилляций было получено в 1998 г. на установке Супер-Камиоканде (Япония): обнаружилось, что мюонные нейтрино, рождённые космическими лучами в верхних слоях атмосферы, исчезают с вероятностью, зависящей от пройденного ими пути. Оказалось, что мюонные нейтрино, которые детектор Супер-Камиоканде легко регистрирует, в результате осцилляций превращаются в тау-нейтрино, которые в большинстве своём избегают регистрации. Важным достоинством детектора Супер-Камиоканде стала его способность регистрировать направление прихода нейтрино: именно так удалось доказать, что основной поток этих частиц приходит от Солнца. Первый нейтринный портрет Солнца был получен в 1998 г. Для этого потребовалось использовать данные детектора Супер-Камиоканде, накопленные за 500 суток наблюдения (несомненно, это самая длительная экспозиция в истории астрономии). Угловой размер нейтринного изображения Солнца составил около

20°, хотя угловой размер горячего ядра Солнца, откуда выходят нейтрино, имеет на земном небе размер около $^1/_{10}$ градуса. Ясно, что «размазанность» полученного изображения определяется не истинной формой источника нейтрино, а низкой разрешающей способностью детектора. Главное, что центр нейтринного изображения совпадает с центром Солнца.

Парадокс солнечных нейтрино разрешила Садберийская нейтринная обсерватория (Канада) в 2002 г. её детектор, используя тяжёлую воду D_2O, способен регистрировать солнечные нейтрино всех трёх типов. Оказалось, что многие электронные нейтрино, родившиеся в недрах Солнца, изменяют свой тип на пути к Земле, и поэтому они не регистрировались в прошлых экспериментах. Значит, мы правильно представляем источник энергии Солнца, а нейтрино, как и подозревали, обладают массой покоя (пока точно не измеренной, но не более нескольких электронвольт, т. е. $< 10^{-35}$ кг).

НЕЙТРОН — элементарная частица, являющаяся фундаментальной составляющей атомного ядра. В уравнениях ядерных реакций нейтрон обозначают буквой «n». Он электрически нейтрален, его масса $m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ кг, что эквивалентно энергии $m_nc^2 = 939{,}5654$ МэВ. Спин равен $^1/_2$ (фермион). Магнитный момент равен −1,913 ядерного магнетона. Характерное время жизни в свободном состоянии — 886 секунд (период полураспада 614 секунд). Наличие изотопов химических элементов связано с различным количеством нейронов в ядрах соответствующих атомов.

НЕЙТРОННЫЕ ЗВЁЗДЫ — космические тела звёздной массы, в основном состоящие из нейтронов, т. е. нейтральных элементарных частиц, вместе с протонами составляющих атомные ядра. Гипотезу о существовании нейтронных звёзд выдвинули астрономы Вальтер Бааде и Фриц Цвикки сразу после открытия нейтрона в 1932 г. Но наблюдательно подтвердить эту гипотезу удалось лишь после открытия радиопульсаров в 1967 г. Затем было установлено, что нейтронные звёзды проявляют себя также как рентгеновские пульсары (1971) и вспышечные источники рентгеновского излучения — барстеры (1975). Не исключено, что на одной из стадий существования нейтронные звёзды служат источниками гамма-всплесков.

Нейтронные звёзды образуются в результате гравитационного коллапса ядер нормальных звёзд с массами в несколько раз больше солнечной. Плотность нейтронной звезды близка к плотности атомного ядра, т. е. в 10^{14} раз выше плотности воды. Поэтому при своей огромной массе нейтронная звезда имеет радиус всего около 10–20 км.

К 1984 г. было открыто около 400 нейтронных звёзд, из них около 20 в виде рентгеновских пульсаров, около 40 в виде барстеров, а остальные в виде обычных радиопульсаров. К 2012 г. обнаружено более 2000 нейтронных звёзд, в основном это радиопульсары, а также рентгеновские и оптические пульсары и барстеры.

Если придерживаться точного определения (см. *Звёзды*), то «нейтронные звёзды» не являются звёздами, поскольку в их недрах не протекают термоядерные реакции, поддерживающие их светимость. Точнее было бы определять эти продукты эволюции звёзд как гидростатически равновесные небесные тела, вещество которых состоит в основном из нейтронов. В этом смысле удачное название получили белые карлики и чёрные дыры, которые также являются не звёздами, а лишь продуктом их эволюции. Но термин «нейтронная звезда» уже вошёл в обиход, и альтернативы ему не видно.

Плотность и масса нейтронной звезды. Теория строения звёзд приводит к однозначной зависимости массы холодной, невращающейся и немагнитной звезды от её центральной плотности ρ_c. У этой зависимости можно выделить два участка, соответствующих устойчивым равновесным состояниям звёзд с резко различающимися значениями ρ_c. Участок $\rho_c < \rho_{cw}$ описывает белые карлики, а участок $\rho_{c,min} < \rho_c < \rho_{c,max}$ — нейтронные звёзды. Плотность нейтронной звезды монотонно уменьшается от центра к периферии, тем не менее плотность подавляющей части её вещества близка по порядку величины к плотности ядерной материи $\rho_n \approx 2{,}8 \cdot 10^{14}$ г/см^3. Поэтому свойства вещества в недрах нейтронной звезды имеют много общего со свойствами вещества атомных ядер. Однако в целом нейтронную звезду нельзя рассматривать как гигантское атомное ядро. Обычное атомное ядро представляет собой квантовомеханическую систему частиц (нуклонов), существование которой обусловлено действием ядерных сил, тогда как нейтронная звезда — макроскопический объект, находящийся в равновесии благодаря балансу между сжимающей его силой тяжести (совершенно несущественной в атомном ядре) и перепадом давления от центра к поверхности звезды, который противодействует сжатию.

Как известно, нейтрон в свободном состоянии неустойчив: он распадается на протон, электрон и нейтрино. Но при высоких плотностях вещества, характерных для нейтронных звёзд, нейтроны устойчивы и не распадаются, поскольку уже небольшой примеси протонов и электронов достаточно, чтобы в соответствии с принципом Паули воспрепятствовать распаду остальных нейтронов: все вакансии для протонов и электронов уже заняты.

Внутреннее строение нейтронной звезды (радиальное распределение ρ, T и других параметров) определяется зависимостью давления p холодного вещества от ρ, т. е. уравнением состояния $p(\rho)$ при нулевой температуре T, а также условиями гидростатического равновесия с учётом эффектов общей теории относительности (ОТО). Именно такие эффекты ОТО, как способность энергии создавать гравитационное поле и искривление пространства при наличии сильного гравитационного поля, определяют существование максимальной массы нейтронной звезды (так называемая масса Оппенгеймера–Волкова) M_{max} при конечной центральной плотности $\rho_{c,max}$. Численные значения M_{max} и $\rho_{c,max}$ зависят от вида уравнения состояния при сверхъядерных плотностях $\rho \geqslant \rho_n$, поскольку существенная часть вещества нейтронных звёзд с массами, близкими к M_{max}, оказывается сжатой именно до таких больших плотностей. Определение $p(\rho)$ в этом случае представляет очень сложную задачу ядерной физики и физики элементарных частиц, для решения которой необходимы детальные сведения о взаимодействии нейтронов, протонов и появляющихся при сверхъядерных плотностях мезонов и гиперонов.

Различные модели сверхплотного вещества приводят к $M_{max} = (1{,}4–2{,}7)\ M_\odot$ и $\rho_{c,max} = 2 \cdot 10^{15} – 10^{16}$ г/см^3. Без учёта упомянутых эффектов ОТО и в предположении, что $p(\rho)$ определяется при любых плотностях вырожденным газом невзаимодействующих нейтронов, масса нейтронной звезды была бы ограничена значением $M_{max} = 5{,}73\ M_\odot$ — так называемым пределом Чандрасекара для нейтронного газа, причём M_{max} соответствовала бы бесконечной центральной плотности. Решение задачи о структуре нейтронной звезды с тем же уравнением состояния газа нейтронов, но в рамках ОТО, даёт $M_{max} \approx 0{,}7\ M_\odot$ и $\rho_{c,max} \approx 6 \cdot 10^{15}$ г/см^3. В данном случае эффекты ОТО уменьшают предельную массу нейтронной звезды более чем в 8 раз.

Экспериментальные данные физики высоких энергий показывают, что с уменьшением расстояния между нуклонами ядерные силы притяжения сменяются силами отталкивания. Поэтому при плотностях $\rho \geqslant \rho_n$ давление вещества оказывается больше, чем для газа невзаимодействующих нейтронов, способность вещества противодействовать сжимающей его силе тяжести увеличивается. В результате M_{max} повышается до указанных выше пределов, $(1{,}4–2{,}7)\ M_\odot$. Кроме того, отталкивание нуклонов с избытком компенсирует эффект, замедляющий рост давления с увеличением плотности, — рождение новых частиц (мезонов, гиперонов). Разброс предсказываемого значения M_{max} связан с трудностью построения количе-

Характеристики нейтронной звезды с $M \approx 1{,}3 M_\odot$

Радиус	$R = 18-10$ км
Гравитационный радиус	$r_g \approx 4$ км
Плотность в центре	$\rho_c \approx 3 \cdot 10^{14} - 2 \cdot 10^{15}$ г/см^3
Минимальный период вращения	$\tau_{min} = (8-3) \cdot 10^{-4}$ с
Момент инерции	$I = (2-1) \cdot 10^{45}$ г см^2
Гравитационное красное смещение фотонов, покидающих поверхность нейтронной звезды	$z = 0{,}13 - 0{,}3$
Гравитационный дефект массы	$\Delta M \approx 0{,}1-0{,}14\ M_\odot$; $\Delta Mc^2 \approx (1{,}8-2{,}5) \cdot 10^{46}$ Дж

ственной теории сверхплотного вещества. Обычно принимают $M_{max} \approx 2\ M_\odot$.

Минимальная масса нейтронной звезды $M_{min} \approx 0{,}1\ M_\odot$ ($\rho_{c,min} \approx 2 \cdot 10^{14}$ г/см^3). Плотность вещества внутри нейтронных звёзд с массами, близкими к M_{min}, меньше ядерной плотности. Используемое в этом случае уравнение состояния основывается на богатом экспериментальном материале и поэтому даёт достаточно точное значение M_{min}. Существование минимальной массы нейтронной звезды связано с тем, что при низких плотностях нейтроны в силу своей неустойчивости уже не могут быть преобладающим компонентом вещества.

Структура нейтронной звезды. Радиусы нейтронных звёзд уменьшаются с ростом их массы от $R \approx 100$–200 км при $M \approx M_{min}$ до $R \approx 7$–10 км при $M \approx M_{max}$. Основные характеристики типичной нейтронной звезды приведены в таблице. Разброс величин отражает неопределённость уравнения состояния сверхплотного ($\rho \geqslant \rho_n$) вещества. Минимальный период вращения соответствует равенству гравитационной и центробежной сил на экваторе звезды. Гравитационное красное смещение z определяет относительное увеличение всех длин волн излучения с поверхности нейтронной звезды, регистрируемых далёким наблюдателем: энергия фотонов уменьшается в $(1+z)$ раз. Измерение красного смещения в рентгеновских и гамма-спектрах нейтронных звёзд (именно в этих диапазонах можно ожидать наиболее интенсивного излучения с их поверхности) представляет собой очень важную, хотя и трудную, задачу современной астрономии. В силу соотношения $1 + z \approx (1 - r_g/R)^{-1/2}$ величина z однозначно определяет один из главных параметров нейтронной звезды — отношение гравитационного радиуса r_g к фактическому радиусу R. Другой важный параметр — гравитационный дефект массы ΔM — может быть в принципе измерен методами нейтринной астрономии, поскольку соответствующая ему энергия ΔMc^2 выделяется при образовании нейтронной звезды преимущественно в виде нейтрино.

Самые наружные слои нейтронной звезды состоят, по-видимому, из железа с возможной примесью Cr, Ni, Co. Атомные ядра ^{56}Fe в виде кристаллической решётки образуют твёрдую внешнюю кору нейтронной звезды. Плотность вещества быстро увеличивается вглубь звезды и на глубине около 1 км достигает $4 \cdot 10^{11}$ г/см^3. При такой плотности основным компонентом вещества оказываются ядра железа и соседних с ним элементов в таблице Менделеева, сильно переобогащённые нейтронами. Появляется также некоторое количество свободных нейтронов. Поэтому под внешней корой нейтронной звезды находится твёрдая внутренняя кора, образованная атомными ядрами, переобогащёнными нейтронами; в ней присутствуют также вырожденные электроны и малая примесь свободных нейтронов. Снизу внутренняя кора граничит с жидким ядром, состоящим в основном из вырожденных нейтронов с малой примесью вырожденных протонов и электронов.

Если центральная плотность нейтронной звезды превышает 10^{15} г/см^3 (например, у нейтронных звёзд, массы которых близки к M_{max}), то вблизи центра звезды вещество содержит помимо нуклонов и электронов также мезоны, гипероны и другие элементарные частицы. Большое значение для физики нейтронных звёзд имеет сверхтекучесть нейтронного компонента вещества, возможная в жидком ядре и во внутренней коре, а также сверхпроводимость протонного компонента при плотности, близкой к ядерной.

Формирование нейтронной звезды происходит в процессе гравитационного коллапса на конечных стадиях эволюции достаточно массивных звёзд. Медленная, длящаяся десятки и сотни миллионов лет эволюция массивных равновесных звёзд (с массой, по крайней мере в несколько раз превышающей $M_\odot$) может привести к тому, что масса их центральных областей, сильно сжавшихся и исчерпавших запасы ядерного горючего, в некоторый момент окажется больше предела Чандрасекара $M_{Ch} \approx 1{,}4\ M_\odot$ для белых карликов. В таком состоянии центральные области звезды не могут существовать долго: охлаждение и продолжающееся увеличение их массы нарушают баланс между силой тяжести и давлением. В результате очень быстро (за несколько секунд или за доли секунды) центральная область звезды сжимается до ядерных плотностей, подвергаясь одновременно процессу нейтронизации, — рождается нейтронная звезда.

Массы образующихся таким путём нейтронных звёзд могут находиться в пределах $M_{Ch} \leqslant M < M_{max}$. В случае, когда появление нейтронной звезды сопровождается вспышкой сверхновой, значительная часть массы звезды выбрасывается в космическое пространство, что указывает на возможность образования нейтронных звёзд с массами $M < M_{Ch}$. Но образованию нейтронных звёзд, по-видимому, не всегда сопутствует вспышка сверхновой: возможен «тихий» коллапс.

Другую возможность появления нейтронной звезды представляет эволюция белых карликов в тесных двойных звёздных системах. Перетекание вещества со звезды-компаньона на белый карлик постепенно увеличивает его массу, и, когда она достигает M_{Ch}, белый карлик превращается в нейтронную звезду. В этом случае $M < M_{Ch}$ (знак неравенства учитывает возможный сброс внешних слоёв белого карлика). В случае, когда перетекание вещества продолжается и после образования нейтронной звезды, её масса может со временем значительно увеличиться. При $M > M_{max}$ нейтронная звезда потеряет устойчивость и в результате релятивистского гравитационного коллапса превратится в чёрную дыру.

Сильное сжатие центральных областей звезды при её переходе в нейтронную звезду (уменьшение радиуса примерно в 100 раз) сопровождается, в силу законов сохранения момента импульса и магнитного потока, резким возрастанием скорости вращения и величины магнитного поля. Тем самым получают естественное объяснение быстрое вращение пульсаров и их сильное магнитное поле по сравнению с обычными звёздами и белыми карликами. Однако центробежные и магнитные силы не столь велики, чтобы существенно влиять на общую структуру пульсаров. Поэтому строение нейтронных звёзд обычно рассматривают без учёта этих эффектов (например, пренебрегают отклонениями от сферической симметрии), а роль магнитного поля и вращения учитывают в различных процессах потерь энергии нейтронной звездой (таких как изгибное излучение, синхротронное излучение, нейтринное и фотонное охлаждение).

Частота рождения нейтронных звёзд пока ещё известна не очень хорошо, что связано с неопределённостями как в теории эволюции звёзд, так и в статистике пульсаров. Обычно принимают, что в Галактике одна нейтронная звезда возникает в среднем раз в 10 лет. Поскольку возраст Галактики $\sim 10^{10}$ лет, то в ней должно содержаться около миллиарда нейтронных звёзд. К настоящему времени зарегистрирована лишь ничтожная часть нейтронных звёзд Галактики.

Исследование нейтронных звёзд. Определение масс нейтронных звёзд в тес-

ных двойных системах (двойные пульсары, рентгеновские пульсары, барстеры) показало, что их наиболее вероятные значения лежат в пределах (1–2) $M_\odot$. Однако неопределённость в значениях массы ещё велика: для некоторых нейтронных звёзд не исключены массы 0,6 $M_\odot$ и 2,5 $M_\odot$. По-видимому, наиболее точно определена масса нейтронной звезды в системе двойного пульсара PSR 1913+16. В этой двойной системе оба компонента — нейтронные звёзды, причём одна из них — радиопульсар. Наблюдение за его движением (по моментам прихода импульсов) позволили очень точно измерить массы самого пульсара (1,441 $M_\odot$) и его компаньона (1,387 $M_\odot$).

Систематическое измерение периодов радиопульсаров (т. е. периодов вращения τ нейтронных звёзд) показало, что вращение пульсаров постепенно замедляется. Однако на фоне почти монотонного возрастания τ случаются небольшие скачкообразные уменьшения периода, а также наблюдаются совсем малые хаотические вариации τ. Увеличение периодов пульсаров объясняется превращением кинетической энергии вращения в энергию излучения пульсаров. Изменения τ приводят к изменению центробежной силы и к накоплению напряжений в твёрдой коре пульсаров, что время от времени вызывает растрескивание коры, а иногда крупные разломы и звёздотрясения. Эти процессы служат причиной скачкообразных сбоев и незначительных вариаций периодов вращения. Временные характеристики изменений содержат важную информацию о свойствах твёрдой коры нейтронных звёзд и сверхтекучести их вещества (от сверхтекучести, например, зависит степень механического «сцепления» коры и жидкого ядра нейтронной звезды).

Наблюдения в рентгеновском диапазоне позволили определить эффективную температуру $T_{\rm eff}$ нейтронной звезды в Крабовидной туманности и в остатке вспышки сверхновой RCW 103, в обоих случаях $T_{\rm eff} \approx 2 \cdot 10^6$ К. Были также установлены надёжные верхние пределы $T_{\rm eff}$ для нейтронных звёзд в ряде молодых остатков вспышек сверхновых. Эти наблюдения удовлетворительно согласуются с теорией охлаждения нейтронных звёзд, предсказывающей, что нейтронные звёзды после образования очень долго должны оставаться горячими: сохранять $T_{\rm eff} > 10^6$ К в течение нескольких десятков тысяч лет.

Скорость охлаждения нейтронной звезды зависит от влияния на её теплоёмкость и механизмы переноса энергии сверхтекучести, сверхпроводимости, магнитного поля и ряда других свойств сверхплотного вещества. Поэтому сопоставление теории остывания нейтронных звёзд с наблюдениями служит одним из эффективных способов исследования структуры нейтронных звёзд и физических свойств ядерной материи.

Большие перспективы в изучении нейтронных звёзд связываются с успехами нейтринной астрономии, методы которой позволяют определить параметры мощного всплеска нейтринного излучения, сопровождающего рождение нейтронных звёзд в нашей Галактике. Тем самым появляется принципиальная возможность не только непосредственно измерить дефект массы нейтронной звезды, но и проследить в деталях за самим процессом её образования.

Изучение нейтронных звёзд превратилось за последние десятилетия в одну из самых увлекательных и богатых открытиями областей астрофизики. Экстремальные физические условия в нейтронных звёздах делают их уникальными естественными лабораториями, предоставляющими обширный материал для исследования физики ядерных взаимодействий, элементарных частиц и теории гравитации.

«НЕЙЧУР» (Nature) — международный журнал с очень высоким рейтингом, оперативно публикующий результаты исследований в области естествознания. Издаётся в Великобритании.

НЕЛИНЕЙНЫЙ ОТКЛИК — выходной сигнал детектора, меняющийся не прямо пропорционально изменению входного сигнала. Большинство детекторов обеспечивает линейный отклик в пределах рабочего диапазона, но может отклоняться от линейности вблизи границ этого диапазона или при выходе за его пределы, например при приближении к насыщению.

НЕМЕЦКАЯ МОНТИРОВКА ТЕЛЕСКОПА — вариант конструкции экваториальной монтировки телескопа, в которой ось склонения расположена на верхнем конце полярной оси, перпендикулярно к ней (в виде буквы Т). Телескоп крепится на одном конце оси склонения, а уравновешивающий его груз (противовес) — на противоположном конце. Из-за необходимости противовеса, увеличивающего нагрузку на полярную ось, монтировка этого типа применяется только для относительно лёгких телескопов. Её достоинство состоит в том, что длина трубы телескопа может быть заметно больше размера монтировки.

НЕОМЕНИЯ — первое появление лунного серпа на небе после новолуния. Неомения наступает не позднее, чем через трое суток после новолуния (разумеется, в ясную погоду при открытом горизонте). В неомении Луна наблюдается в сумерках на западе за несколько минут до своего захода.

НЕОПОЗНАННЫЙ ЛЕТАЮЩИЙ ОБЪЕКТ (НЛО) — в средствах массовой информации так часто называют любое небесное явление, природу которого сам наблюдатель не может определить. При этом обычно подразумевается, что наблюдался компактный движущийся объект, похожий на летательный аппарат, появление которого связывается с визитом на Землю космических пришельцев. Сам термин и его аббревиатура (НЛО) являются прямым переводом английского выражения unidentified flying object (UFO), вошедшего в употребление в 1950–1955 гг. На русском языке, особенно в работах, пытающихся подвести научную основу под изучение НЛО, иногда используются и другие родственные термины: аномальное атмосферное явление (ААЯ), аномальный аэрокосмический объект (ААО), неотождествленное аэрокосмическое явление (НАЯ).

Наблюдение непонятных атмосферных и небесных явлений не является «изобретением» XX века. В истории человечества известно множество случаев «небесных знамений». Некоторые из них принимали за летательные аппараты даже тогда, когда на Земле ничего подобного ещё не существовало. Особенно много сообщений о наблюдении НЛО поступало от очевидцев (и шутников) в конце XIX и начале XX в., в период создания первых дирижаблей и самолётов. Современная вспышка массового интереса к НЛО началась в эпоху расцвета авиации и создания ракетной техники, сразу после Второй мировой войны 1939–1945 гг.

Первое сообщение об НЛО, вызвавшее огромный общественный интерес и лавину публикаций в прессе, сделал американский пилот и бизнесмен Кеннет Арнольд. Пролетая днём 24 июня 1947 г. близ горы Рейнир (Mount Rainier) в штате Вашингтон, он заметил девять странных объектов. Один из них напоминал полумесяц с небольшим куполом посередине, а восемь других выглядели как плоские диски, блестевшие в лучах Солнца. По оценке Арнольда, поразившие его объекты двигались со скоростью около 2700 км/ч. Говоря об их внешнем виде, Арнольд сравнивал их с «бесхвостыми самолётами». Он отмечал, что движение странных объектов было «как у глиссера, мчавшегося по волнам», или «подобно блюдцу, брошенному по поверхности воды». Именно так возник популярный ныне термин «летающее блюдце», или «летающая тарелка».

Первая публикации случая с Арнольдом была воспринята скептически, но спустя несколько недель прессу заполнили свидетельства и других очевидцев подобных явлений. Стали выходить журналы и книги на эту тему. Поскольку в те годы в армиях некоторых стран испытывались новые средства вооружения, родилось подозрение, что сообщения о непонятных явлениях в атмосфере могут быть

с этим связаны. Военно-воздушные силы США начали в 1948 г. сбор и систематизацию сообщений об НЛО с целью выяснить их военное значение. К этой работе были привлечены также гражданские учёные и инженеры. Несколько раз проводился анализ собранных фактов и подготавливалось заключение для ЦРУ и руководства армии США. Эта работа, известная как «Проект „Синяя книга"», продолжалась с разной степенью активности до 1969 г. и была вначале секретной, а затем открытой для общественности.

Большой резонанс в июле 1952 г. вызвали нескольких сообщений о визуальных и радарных наблюдениях НЛО вблизи Национального аэропорта г. Вашингтон. Учитывая внимание общественности и правительства к этим сообщениям, ЦРУ направило инструкции по сбору фактов в армию и разведку, а также создало для анализа поступающих сообщений группу экспертов, состоявшую из инженеров, метеорологов, физиков и астрономов под руководством физика Х. Робертсона (H. P. Robertson, Калифорнийский технологический институт в Пасадине). Изучив факты, специалисты пришли к выводу, что 90% сообщений об НЛО имеют астрономическое либо метеорологическое объяснение: подавляющее большинство из них связано с наблюдением Луны и ярких планет (особенно Венеры), облаков и полярных сияний, птиц, самолётов, аэростатов, ракет, метеоров, прожекторов и других явлений, понятных для профессионалов, но происходивших в необычных условиях или наблюдавшихся недостаточно квалифицированными очевидцами. Один из членов комиссии, известный американский астроном Дональд Менсел (D. H. Menzel) опубликовал в 1953 г. книгу «Flying Saucers», в которой популярно разъяснил многие сообщения об НЛО на основе упомянутых выше явлений (рус. пер.: Д. Менсел. О «летающих тарелках». М.: Иностр. лит., 1962).

Однако газеты и телевидение продолжали публиковать сообщения об НЛО. Интерес к ним особенно возрос в первые годы космической эры, начиная с 1957 г. Он перекинулся из США в Западную Европу, СССР, Австралию и другие страны. Вторая комиссия по изучению сообщений об НЛО работала в США в феврале 1966 г. и пришла к таким же выводам, как первая. Однако у некоторых учёных и инженеров осталась неудовлетворённость работой этих комиссий; особенно активными противниками «естественной» гипотезы об НЛО были метеоролог Джеймс Мак-Дональд (J. E. McDonald, Аризонский университет в Тусконе) и астроном Аллен Хайнек (J. Allen Hynek, Северо-западный университет в Эвенстоне, Иллинойс). Они считали, что некоторые сообщения об НЛО ясно указывают на деятельность пришельцев. Нужно заметить, что в середине 1960-х гг., после первых полётов в космос и в период подготовки экспедиций на Луну, был всеобщий всплеск интереса к космонавтике и поиску внеземных цивилизаций.

Шумиха, поднятая в газетах по поводу внеземного происхождения НЛО, вызвала жёсткий отпор у большинства учёных. В 1968 г. по заказу ВВС США Колорадский университет организовал группу из 37 экспертов под руководством крупного физика и специалиста по атомной энергии Эдварда Кондона (E. U. Condon). Их отчёт «Научное исследование НЛО» был рассмотрен специальным комитетом Национальной академии наук США и опубликован в начале 1969 г. В нём подробно проанализированы 59 сообщений об НЛО. В «Заключении» Кондон категорически отвергает «внеземную гипотезу» и рекомендует прекратить дальнейшее изучение проблемы.

К этому времени в архиве проекта «Синяя книга» собралось 12 618 сообщений очевидцев НЛО. Все они были либо идентифицированы с одним из известных явлений (астрономическим, атмосферным или искусственным), либо не идентифицированы, часто по причине малой информативности сообщения. На основании «Доклада Кондона» проект «Синяя книга» был закрыт в декабре 1969 г. Единственным официальным и достаточно полным архивом сообщений об НЛО остался тогда канадский, содержавший около 750 сообщений и переданный в 1968 г. из Министерства обороны в Научный совет Канады. Сравнительно небольшие архивы имелись в официальных учреждениях Великобритании, Швеции, Дании, Австралии и Греции.

В целом к таким же выводам, как комиссия Кондона, пришли и другие государственные комиссии, изучавшие сообщения об НЛО. Во Франции это была Группа изучения неопознанных аэрокосмических явлений (GEPAN — Groupe d'Etude des Phenomenes Aerospatiaux Non-Identifies), работавшая с 1977 г. В СССР этот вывод был сделан группой экспертов, работавших по теме «Сетка» Министерства обороны и Академии наук (1978–1990 гг.). Правда, при этом отмечалось, что единичным хорошо документированным наблюдениям НЛО всё же не удалось дать исчерпывающее научное объяснение.

«Доклад Кондона» и заключения других официальных организаций вызвали неоднозначную реакцию общественности. Большая часть публики и некоторые специалисты были склонны продолжать исследование НЛО: одни указывали на малый, но все же реальный шанс установить таким образом контакт с внеземными цивилизациями; другие считали, что сообщения очевидцев НЛО дают новый метод для социально-психологических исследований. Поэтому параллельно с государственными комиссиями во многих странах появились группы энтузиастов и общественные организации по изучению НЛО, проводящие самостоятельный сбор информации и её анализ. Например, в США были организованы Национальный комитет по исследованию атмосферных явлений (National Committee on the Investigation of Aerial Phenomena, NICAP), Организация по исследованию атмосферных явлений (Aerial Phenomena Research Organization, APRO) и др. В 1973 г. группа американских учёных организовала в г. Нортфилд (шт. Иллинойс) Центр по изучению НЛО (CUFOS — Center for UFO Studies). В СССР в составе Всесоюзного совета научно-технических обществ работала Комиссия по аномальным явлениям под руководством член-корр. АН СССР В. С. Троицкого; появились и другие организации.

Сообщения о наблюдениях НЛО в СССР и России собираются в различных частных, общественных и государственных архивах. Одним из первых и наиболее полных в 1960–1980-е гг. был архив московского преподавателя астрономии Ф. Ю. Зигеля. Много писем от очевидцев поступило в астрономические обсерватории и институты, в Академию наук.

Особое место в нашей стране занимает массовое наблюдение НЛО 20 сентября 1977 г. под утро на северо-западе России, известное как «Петрозаводское явление». Его описание дано, например, в газете «Известия» от 23 сентября 1977 г. в заметке «Неопознанное явление природы» (цит. по книге Платова и Рубцова):

«Жители г. Петрозаводска явились свидетелями необычного явления природы. 20 сентября около четырёх часов утра на тёмном небе вдруг вспыхнула огромная „звезда", импульсивно посылавшая на землю снопы света. Эта „звезда" медленно двигалась к Петрозаводску и, распластавшись над ним в виде огромной „медузы", повисла, осыпая город множеством тончайших лучевых струй, которые производили впечатление проливного дождя.

Через некоторое время лучевое свечение прекратилось. „Медуза" обернулась ярким полукругом и возобновила движение в сторону Онежского озера, горизонт которого окутывали серые облака. В этой пелене потом образовалась полукруглая промоина ярко-красного цвета в середине и белая по бокам. Все явление, по свидетельствам очевидцев, продолжалось 10–12 мин».

Это событие вызвало множество публикаций и небывалый всплеск интереса к проблеме НЛО. Оно привлекло внимание и серьёзных учёных (В. В. Мигулин, Н. В. Ветчинкин, Ю. В. Платов, А. А. Макаров, Б. А. Соколов, Л. М. Гиндилис, В. В. Рубцов и др.), которые доказали, что описанное явление в основном было вызвано за-

пуском ракеты (ИСЗ «Космос-955») с космодрома близ г. Плесецк (Архангельская обл.). Однако, доведённый до общественности недостаточно быстро и аргументированно, этот вывод убедил далеко не всех, и ажиотаж по поводу НЛО продолжался ещё несколько лет.

Сообщения о наблюдении НЛО, за редкими исключениями, весьма субъективны и содержат мало фактических данных, таких как точное время наблюдения, угловые размеры и скорость объекта, состояние атмосферы и т. п. Немногочисленные случаи массового наблюдения одного явлениями многими независимыми очевидцами показывают, что оценки углового размера объекта и продолжительности явления у разных людей различаются иногда в десятки раз! Подчеркнём, что важны именно угловые размеры и скорость объекта, поскольку субъективная оценка расстояния и связанного с ним линейного размера объекта вообще не имеет смысла: например, известны случаи, когда расстояние до внеатмосферного объекта (400–600 км) оценивалось очевидцами в 100–150 м; нередки случаи и сильного — в сотни тысяч раз! — завышения расстояний, когда мелкие атмосферные объекты (бабочки, птицы, растительный пух) принимались за гигантские космические конструкции.

Низкая достоверность многих сообщений об НЛО объясняется не только профессиональной неподготовленностью случайных очевидцев, но и вполне объективными физиологическими особенностями нашего зрения и психологии восприятия зрительных образов. Например, вблизи горизонта диск Луны или Солнца кажется значительно больше, чем высоко над горизонтом. Наблюдая далёкий объект из движущегося транспорта, скажем, из окна автомобиля, мы принимаем его за быстро летящий. Сравнительно невысокая разрешающая способность нашего глаза приводит к тому, что далёкую стаю птиц или облако мы принимаем за сплошной предмет с резким краем. Не вполне ясный психологический механизм зрения приводит к эффекту летящей Луны: когда мы боковым зрением замечаем Луну в разрыве быстро бегущих по небу облаков, то кажется, будто облака стоят неподвижно, а яркий объект стремительно летит сквозь них.

Специалисты могут надёжно отождествить НЛО (либо надёжно исключить из рассмотрения известные явления) лишь в том случае, когда в сообщении очевидца указаны точное время и продолжительность события, место наблюдения, направление относительно сторон горизонта или небесных светил, состояние атмосферы, видимость звёзд и Луны. Очень важно указать размер объекта, причём не путём его сравнения с бытовыми объектами («оно было размером с яблоко»), а в угловых единицах — градусах или хотя бы в относительных угловых единицах — в пальцах вытянутой перед лицом руки, наблюдая при этом одним глазом. Все эти данные нужно записать сразу после наблюдения, не полагаясь на память.

Многие небесные явления, кажущиеся необычными для случайных очевидцев, не представляют загадку для специалистов. Вот некоторые типичные явления, воспринимаемые как НЛО.

Астрономические

Как показывает статистика, главные астрономические причины НЛО — это Луна и Венера. У многих людей вызывает удивление тот факт, что Венера — не только «утренняя звезда», но и «вечерняя» (разумеется, не одновременно, а в зависимости от её положения относительно Солнца). Неожиданным фактом является также и то, что яркость Венеры значительно выше, чем у прочих звёзд и планет, и поэтому её можно увидеть одинокой на фоне сумеречного неба или даже сквозь дымку облаков, когда звёзд не видно. Наблюдение Венеры сквозь облака особенно впечатляет, поскольку плывущие облака имитируют полёт яркой точки в противоположную сторону.

Не меньше сообщений об НЛО связано и с Луной, которая в полнолуние в 50 тыс. раз ярче самых ярких звёзд. Конечно, в ясную ночь висящую высоко в небе Луну трудно с чем-нибудь спутать. Но бывают обстоятельства, когда Луна демонстрирует весьма редкие феномены; например, мы уже упоминали о «полёте» Луны в облаках и о её кажущемся огромном размере у горизонта.

Техногенные

а) Аэростаты

Сейчас аэростаты в основном используют для исследования верхних слоёв атмосферы и астрономических объектов, но в ближайшем будущем воздушные шары и дирижабли найдут более широкое применение. Запускают аэростаты во многих странах, а ветер может переносить их практически в любую точку Земли. Например, в 1970 г. был зафиксирован рекорд продолжительности полёта аэростата: находясь в воздухе более четырёх лет, аппарат совершил более ста кругосветных путешествий на высоте почти в 35 км. Аэростаты имеют различный диаметр (от 3–4 до 120 м) и разную форму: например, во Франции часто запускают простые в изготовлении аэростаты, оболочка которых имеет форму тетраэдра. Иногда используются цилиндрические оболочки или связки из нескольких десятков небольших шаров. Появление в воздухе подобного сооружения может вызвать самую неожиданную реакцию у случайных очевидцев (чему есть немало свидетельств).

Особенно эффектно видны аэростаты в сумерки — ярко освещённые солнцем на фоне потемневшего неба. Днём в ясную погоду они тоже легко различимы на небе на расстоянии многих десятков километров. В последние годы частота запуска высотных аэростатов резко увеличилась: кроме традиционных метеорологических задач, на них сейчас возложена новая — наблюдение за разрушающимся озоновым слоем. Поскольку озоносфера расположена на больших высотах, для подъёма аппаратуры используются необычайно крупные баллоны. Например, 4 июня 1990 г. американские учёные запустили шар диаметром 110 м на высоту около 40 км для исследования озона над штатом Нью-Мексико. Для наземного наблюдателя этот шар имел отчётливо различимую форму, поскольку его угловой размер был около 8′ (примерно четверть лунного диаметра).

б) Ракеты

Небольшие геофизические ракеты достигают высоты 60–200 км, а крупная ракета «Вертикаль» поднимается до высот 500–1500 км, Их используют для исследования верхних слоёв атмосферы, а также для астрономических наблюдений и геофизических экспериментов. При проведении этих экспериментов иногда возбуждается сильное свечение атмосферы (обычно шарообразной формы), наблюдаемое на расстоянии в сотни километров от места запуска ракеты.

При запуске военных баллистических ракет или ракет-носителей с космическими аппаратами наблюдается сложный комплекс световых явлений, особенно эффектный в сумеречные часы. В течение первых 10 минут после старта происходит работа двигателей и разделение ступеней ракеты, слив в атмосферу неизрасходованных запасов топлива, выброс огромного количества продуктов сгорания, которые при низкой плотности стратосферы сильно расширяются и видны с расстояния в сотни километров от места старта и траектории полёта ракеты.

Основные наблюдаемые фазы взлёта многоступенчатой ракеты-носителя:

1) низко над горизонтом появляется яркая точка, которая при движении оставляет след, похожий на инверсионный след реактивного самолёта;

2) след удлиняется и становится шире. По форме он напоминает рыбу, в «голове» которой находится яркая точка. Это факел работающего двигателя первой ступени;

3) при выключении двигателя первой ступени и включении второй возможно изменение яркости факела. Если между этими событиями происходит слив гарантированного запаса топлива или отсечка тяги твердотопливного двигателя путём создания нескольких боковых отверстий в стенках ракеты, то возможно появление «медуз», «спиралей», «зонтиков» и прочих крупномасштабных фигур;

4) на больших высотах, где плотность воздуха мала, продукты сгорания расширяются сильнее и приобретают вид полусферы (если наблюдать сбоку) или «цветка», «креста» (если наблюдать вдоль траектории);

5) движение второй ступени происходит с большой скоростью и также напоминает «рыбу» с яркой точкой впереди;

6) в случае отстрела второй ступени возможно появление вспышки в области «рыбьей головы»;

7) «рыба», расширяясь, превращается в полусферу, занимающую значительную часть горизонта. Яркая точка исчезла.

Первая и вторая фазы длятся 3–7 минут. Видимость «рыбы» (работа двигателей) заканчивается через 5–15 минут, а газовый след постепенно меркнет в течение 1–3 часов. Описанная картина может существенно измениться в облачную погоду и в зависимости от условий освещения. С явлениями, сопровождающими запуск ракет, связано множество наблюдений НЛО, в особенности массовых наблюдений, сделанных многими очевидцами на большой территории.

в) Спутники

Движущиеся на околоземных орбитах искусственные спутники и космические станции привлекали особенно пристальное внимание в 1960–1970-е гг. Много сообщений об НЛО вызывали пролёты огромных спутников «Эхо» и «Эхо-2»: эти надувные алюминированные снаружи спутники-баллоны диаметром 30–40 м использовались американскими инженерами как пассивные радиоретрансляторы. Они очень ярко блестели и быстро двигались среди звёзд. Позже не менее эффектно выглядели советские станции «Салют», российский комплекс «Мир», американский многоразовый корабль – шаттл и ныне действующая Международная космическая станция, которые можно заметить даже сквозь лёгкую дымку на небе, скрывающую большинство звёзд.

Иногда и маленький спутник способен послать к Земле яркий «солнечный зайчик», отразив лучи нашего светила панелью солнечных батарей; таковы, например, многочисленные спутники системы связи «Иридиум». Несколько раз такие эксперименты проводили нарочно, желая проверить, можно ли освещать Землю из космоса. В ближайшие годы ожидаются эксперименты с космическими лазерами.

Очень эффектно и загадочно выглядит посадка спускаемых аппаратов на Землю. Нередко их полёт в атмосфере происходит над густонаселёнными территориями и вызывает массовые сообщения об НЛО. Вот несколько описаний полёта спускаемого аппарата ИСЗ «Космос-169», наблюдавшегося из Донецкой, Луганской и других областей СССР вечером 17 июля 1967 г.

«Примерно в 21 час или в начале 22-го часа ночи моё внимание было привлечено светящейся серповидной полосой, летящей с запада на восток. Никакого шума или гула при полёте НЛО не было слышно. Вербицкий И. И., Карачаевского р-на, ст. Красногорская».

«В 21 ч. 15 минут над нашим городом пролетел горящий предмет в виде полумесяца с еле заметным огненным хвостом. Летел он плавно, без всякого шума с юго-запада на северо-восток. Продолжительность полёта была не больше минуты. Первое впечатление было – будто бы летел спутник шарообразной формы с одной стороны ярко светящий. Супруги Малинины, г. Невинномысск».

«В 21 час 30 мин, собирая сети на утреннюю рыбалку и, как всегда, поглядывая на безоблачное небо в ожидании хорошей погоды, мы увидели странный объект, летящий с юго-запада на северо-восток со скоростью примерно реактивного самолёта. Может, это было несколько объектов, но они имели между собой связь и, перемещаясь, находились в постоянном равновесии друг к другу. В центре внимания был большой полумесяц, чуть выше звезда, а впереди на небольшом расстоянии яркая звезда. Создавалось впечатление, что эта звезда тащит за собой полумесяц и вторую звезду, находящуюся рядом с полумесяцем. Полумесяц имел размеры немного больше, чем Луна. Снизу полумесяца как будто бы была струя ракеты. Всё это хорошо вырисовывалось на безоблачном небе и исчезло так же внезапно, как и появилось. Юнда В. М., г. Молодогвардейск Луганской обл.».

Атмосферные

Хотя изредка в сообщениях об НЛО фигурируют полярные сияния и стратосферные серебристые облака, основная доля сенсаций приходится на оптическое явление гало, как солнечного, так и лунного, а также на наблюдение одиночных кучевых облаков, имеющих симметричную форму и резкий край, – так называемых линзовидных облаков (Lenticular cloud). Такие облака часто появляются над вершинами гор и даже выстраиваются над горной грядой в цепочку, напоминающую «эскадрилью НЛО». Весьма вероятно, что историческое наблюдение К. Арнольда у горы Рейнир 24 июня 1947 г. как раз относится к этому типу.

Разумеется, далеко не все сообщения очевидцев, даже вполне квалифицированные, удаётся отождествить. В природе ещё есть неизученные или не до конца понятые явления. Энтузиасты наблюдения НЛО могут помочь в их исследовании.

НЕПРАВИЛЬНАЯ ГАЛАКТИКА – галактика, имеющая асимметричную форму и клочковатую структуру, не характерную для типичных эллиптических или спиральных галактик. В различных системах морфологической классификации галактик неправильные обозначают как I, Ir или Irr (от англ. *irregular* – неправильный). На профессиональном жаргоне астрономы иногда так и называют эти галактики – иррегулярными.

Примером неправильных галактик служат Магеллановы Облака. По сравнению с нашей Галактикой неправильные галактики обычно имеют меньшие размер и массу, содержат много межзвёздного вещества и молодых звёзд. Они медленно вращаются и не демонстрируют сильной концентрации вещества к центру: балдж и ядро у них выражены слабо или вообще отсутствуют.

НЕПРАВИЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ – переменные звёзды, не имеющие определённого периода изменения блеска. Различают два типа таких звёзд: неправильные эруптивные звёзды и неправильные пульсирующие переменные. Механизмы изменения блеска обоих типов этих звёзд пока непонятен.

Неправильные эруптивные переменные делятся на три категории. Группа I (от *irregular* – неправильный) делится на подгруппы IA (спектральные классы от O до A) и IB (спектральные классы от F до M). Так называемые IN переменные наблюдают в звёздообразующих областях, и они могут менять свой блеск на несколько звёздных величин, при этом изменение на 1^m происходит в течение 1–10 сут. Эта группа тоже разделена на подгруппы INA и INB. Кроме того, существуют подгруппы INT для звёзд типа T Тельца (T Tau) и INT(YY) для звёзд типа YY Ориона (YY Ori). Третья категория неправильных эруптивных переменных – это звёзды типа IS, изменение блеска которых на $0{,}5^m$–1^m происходит за несколько суток или даже часов. И эта категория также разделена на подгруппы ISA и ISB.

Неправильные пульсирующие гиганты и сверхгиганты, относящиеся к поздним спектральным классам (K, M, C, S), обозначаются в случае гигантов как L–LB, а в случае сверхгигантов – как LC. Какая часть из них на самом деле является полуправильными переменными, в настоящее время неизвестно, так как это требует дальнейших исследований.

НЕПРЕРЫВНЫЙ СПЕКТР – спектр с непрерывной последовательностью цветов, не имеющий линий поглощения или линий излучения – эмиссионных линий. Спектр, как правило, простирается далее видимых глазом границ, в обе стороны от видимого диапазона длин волн. Непрерывный спектр дают нагретые до высоких температур твёрдые тела, жидкости, а также газы при высоком давлении.

НЕПРОЗРАЧНОСТЬ – мера поглощающей способности полупрозрачной среды. Значение непрозрачности равно отношению интенсивности поглощённо-

го излучения к интенсивности вошедшего излучения. Следовательно, непрозрачность дополняет величину прозрачности до единицы.

НЕПТУН — планета Солнечной системы, восьмая от Солнца, удалённая от него (в среднем) на 4491 млн км = 30,02 а. е. Период обращения вокруг Солнца около 165 лет. Видимая звёздная величина $7{,}6^m$, угловой диаметр 2,4″. Нептун имеет экваториальный радиус (на уровне верхнего слоя облаков) 24 764 км (в 3,88 раза больше радиуса Земли) и массу $1{,}028 \cdot 10^{26}$ кг (в 17,2 раза больше массы Земли). Средняя плотность 1,76 г/см^3. Атмосфера состоит из водорода (85% объёма) и гелия (15%). Температура верхнего облачного слоя −214 °С. Под плотной атмосферой находятся протяжённая ледяная мантия и металло-силикатное ядро. Период осевого вращения 16 час 07 мин; вращение прямое. Нептун окружён тонкими кольцами и системой из 13 спутников (данные 2012 г.). Из них Тритон принадлежит к числу крупнейших в Солнечной системе (радиус 2000 км); он имеет обратное обращение вокруг планеты.

НЕРЕИДА (N II, Nereid) — один из естественных спутников Нептуна. Открыл его 1 мая 1949 г. американский астроном Джерард Койпер. Этот спутник отличается чрезвычайно вытянутой орбитой. Большая полуось его орбиты 5 513 787 км. Орбитальный период 360,1362 сут. Эксцентриситет орбиты 0,7507. Наклонение орбиты к экватору планеты 32,55°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты.

Диаметр Нереиды около 340 км. Период вращения 0,48 сут = 11 час 31 мин. Масса около $3{,}1 \cdot 10^{19}$ кг. Средняя плотность около 1,5 г/см^3. Альбедо 16%. Видимый блеск $18{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 7′39″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 50 К.

НЕСО (N XIII, Neso) — один из естественных спутников Нептуна. Открыли его М. Холман и Б. Гладман 14 августа 2002 г. Большая полуось орбиты 49 285 тыс. км. Орбитальный период 9740,73 сут. Эксцентриситет орбиты 0,5714. Наклонение орбиты к эклиптике 136,44°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления вращения планеты. Средний диаметр около 60 км при альбедо 4%. Видимый блеск $24{,}6^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1° 01′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые характеризуются заметным изменением физического состояния внешних слоёв за сравнительно короткие интервалы времени (как правило, от нескольких минут до нескольких лет), что проявляется в изменении их спектров. Обычно к нестационарным звёздам относят только звёзды с ярко выраженными особенностями спектра, прежде всего с присутствием и изменением со временем эмиссионных линий (т. е. линий излучения). Звёзды, у которых меняются блеск и цвет, принято относить к переменным звёздам. Однако одна и та же звезда может рассматриваться как переменная, когда имеются в виду изменения её блеска, и как нестационарная, когда речь идёт о более тонких спектральных характеристиках. В строгом смысле нестационарными являются даже звёзды, кажущиеся вполне стабильными, как, например, Солнце, поскольку в самых внешних его слоях (хромосфере, короне) постоянно происходят изменения. Но вклад этих слоёв в интегральное излучение Солнца невелик.

К нестационарным звёздам относят весьма различные по свойствам объекты: звёзды спектрального класса В с эмиссионными линиями в спектре (их обозначают Be), звёзды Вольфа–Райе (WR), переменные звёзды типа эруптивных (взрывающихся) — сверхновые звёзды, новые звёзды, вспыхивающие звёзды типов UV Кита, Т Тельца и др. Общее число нестационарных звёзд в Галактике велико. Например, число звёзд Be составляет примерно $^1/_{10}$ долю известных звёзд класса В, а звёзды типа UV Кита вообще составляют значительную часть всех звёзд Галактики.

Процессы, протекающие во внешних слоях звёзд типов Be и WR, отличаются сравнительной простотой и исследованы более полно, чем у других нестационарных звёзд. У этих звёзд наблюдается выброс вещества. У звёзд Be скорость выброса не превышает десятков км/с, и мощность выброса сравнительно невелика — за год звезда теряет массу около $10^{-7}\ M_\odot$. Выбросы вещества приводят к образованию вокруг звёзд Be газовых оболочек. Звёзды класса В горячие, в их излучении содержится много фотонов УФ-диапазона спектра, которые в оболочке «перерабатываются» в фотоны оптического диапазона: УФ-фотоны ионизуют атомы оболочки, а после рекомбинации в атомах происходят каскадные переходы, порождающие оптические линии спектра.

Сходным образом возникают яркие линии в спектрах звёзд Вольфа–Райе. Эти звёзды также имеют оболочки, но поскольку скорости выброса газа из звёзд WR составляют 1–2 тыс. км/с и за год выбрасывается масса до $10^{-5}\ M_\odot$, то их оболочки более плотны и непрозрачны, чем у звёзд Be. В них высокоэнергичные фотоны практически полностью перерабатываются в фотоны оптического диапазона. Поскольку интенсивное выбрасывание вещества не может продолжаться очень долго — масса звезды при этом быстро уменьшается, звёзды типов WR и Be считают молодыми. Возраст первых ~10^6 лет, вторых — ~10^7–10^8. О молодости звёзд WR и Be свидетельствует и нахождение их большей частью в составе молодых систем — звёздных ассоциаций.

В спектрах симбиотических звёзд — сравнительно немногочисленного класса нестационарных звёзд — сочетаются особенности горячих звёзд (эмиссионные линии) с характерными чертами холодных звёзд (молекулярные полосы поглощения). Считается, что эти звёзды представляют собой двойные системы, состоящие из горячего и холодного компонентов. В системе имеется много газа, по-видимому, выброшенного звёздами, так что звёзды системы погружены в общее газовое облако. Излучение горячей звезды возбуждает свечение газа, и эмиссионный спектр облака накладывается на спектр поглощения более холодной звезды. Активность такой системы звёзд выражается в происходящих время от времени вспышках, при которых возрастает блеск горячей звезды и, вероятно, с неё сбрасывается оболочка. Эта оболочка, расширяясь, пополняет вещество околозвёздного газового облака.

Эруптивные звёзды малой светимости типа UV Кита характеризуются быстрыми изменениями блеска. Менее чем за 1 мин блеск звезды возрастает в десятки раз и за 10–15 мин спадает до первоначального. Такие вспышки происходят по несколько раз в сутки, а более слабые — каждые час-полтора. Общее число вспыхивающих звёзд типа UV Кита в Галактике должно быть очень велико, видны же только ближайшие к Солнцу.

Звёзды типа UV Кита — холодные карлики с температурой поверхности 2500–3000 К и радиусом в 5–10 раз меньшим, чем у Солнца. Они находятся в стадии сжатия и выхода на главную последовательность, причём стадия сжатия у таких звёзд (с массой в десятки раз меньше солнечной) продолжается миллиарды лет. Такая звезда излучает всего около 10^{23} Вт, основная доля этой энергии приходится на ИК-диапазон. Дополнительная энергия, излучаемая в оптической области спектра за время сильной вспышки, составляет 10^{26}–10^{27} Дж, т. е. достигает энергии, излучаемой Солнцем за 1 с. По общей энергии вспышки звёзд типа UV Кита на один-два порядка превосходят сильные вспышки на Солнце, но по ряду характеристик эти вспышки очень близки друг к другу. Сходство этих явлений состоит ещё и в том, что они охватывают внешние разреженные слои атмосферы звезды, прозрачные для излучения почти всех длин волн. Поэтому энергия вспышки беспрепятственно уносится излучением из области вспышки, и остыва-

ние атмосферы происходит очень быстро. Если бы вспышка захватывала фотосферу, то нагретая область фотосферы должна была бы охлаждаться гораздо медленнее, чем это наблюдается у звёзд типа UV Кита.

Во время вспышек на Солнце отмечаются всплески радиоизлучения. Аналогичное явление имеет место и при вспышках звёзд типа UV Кита, причём у них энергия радиоизлучения лишь в 100–1000 раз меньше оптической, тогда как при вспышках на Солнце это отношение ~10^5. Данные наблюдений лучше всего согласуются с предположением о том, что излучение при вспышке звезды типа UV Кита представляет собой свечение разреженного нагретого газа. Наиболее же интересный вопрос об источнике энергии вспышки и механизме нагрева газа до конца не выяснен. Возможно, источник вспышки связан с конвекцией, которая очень сильна у сжимающихся холодных звёзд. Конвекция создаёт магнитное поле сложной структуры. Энергия магнитного поля в определённых условиях может освобождаться и трансформироваться в энергию вспышки.

Изменения блеска нестационарных звёзд типа Т Тельца совершенно нерегулярны. Возрастание блеска может происходить с самой различной скоростью, а продолжительность колебания блеска варьирует от нескольких часов до нескольких суток. Эти сравнительно холодные звёзды (с температурой, близкой к солнечной) имеют в спектре много эмиссионных линий. Из звёзд типа Т Тельца происходит выбрасывание вещества, и эти звёзды, как правило, находятся в облаках газа — диффузных туманностях или в непосредственной близости от них.

Причины колебаний блеска звёзд типа Т Тельца полностью не выяснены. Ясно, что освобождение энергии при вспышке происходит не в атмосфере звёзд, а в более глубоких слоях. Особенность звёзд типа Т Тельца в том, что почти все они входят в состав звёздных ассоциаций. Следовательно, они очень молоды: им всего несколько миллионов лет, и их нестационарность может быть вызвана остаточными явлениями звёздообразования. Возможно, их вспышки тоже связаны с конвекцией, которая сильна в этих звёздах, более массивных, чем UV Кита, но также находящихся в процессе сжатия.

НЕТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — электромагнитное излучение, генерация которого происходит в неравновесных условиях. Обычно различают три основных типа неравновесного излучения. Первый тип — это излучение, испускаемое при свободно-свободных, связанно-свободных и связанно-связанных переходах в условиях, когда вещество не находится в локальном термодинамическом равновесии. В равновесных условиях эти же процессы генерируют тепловое излучение. Излучающее вещество всегда оказывается в неравновесном состоянии (и генерирует неравновесное излучение), если время его термализации (характерное время достижения равновесного распределения частиц по энергиям) превышает время потерь энергии на излучение. Излучательная способность неравновесной плазмы отличается от величины, определяемой законом Кирхгофа. Для её определения необходимо знать неравновесную функцию распределения излучающих частиц по энергиям. Неравновесное излучение этого типа может генерироваться при аккреции плазмы на компактные объекты. Спектр неравновесного излучения даже оптически толстого слоя не может быть чернотельным. Однако сам факт отличия спектра от планковского ещё не указывает однозначно на нетепловую природу излучения.

Неравновесное излучение второго типа генерируется процессами, которые происходят только в неравновесных условиях. Оно обычно связано с неустойчивостями и коллективными процессами в плазме. Яркостная температура этого излучения может быть очень велика. Пучковая неустойчивость в короне приводит к генерации нетеплового радиоизлучения Солнца. С плазменными неустойчивостями связывают излучение пульсаров. Оценка его яркостной температуры лежит в пределах 10^{23}–10^{31} К.

Неравновесное излучение третьего типа генерируется при движении релятивистских заряженных частиц во внешних полях. К этому типу относятся синхротронное излучение, изгибное излучение; сюда же следует отнести разные типы переходного излучения. Спектр излучения этого типа определяется распределением релятивистских частиц по энергиям. Источниками синхротронного излучения служат остатки сверхновых, пульсары и другие объекты, в которых происходит ускорение частиц до релятивистских энергий. Считается, что изгибное излучение также играет важную роль в механизме излучения пульсаров.

НЕУЙМИН, Григорий Николаевич (3.01.1886, Тбилиси, Грузия, — 17.12.1946, Ленинград, СССР) — российский астроном. Окончил Петербургский университет (1910) и начал работать в Пулковской обсерватории (с 1912 г. — в её Симеизском отделении, в 1925–1931 и 1936–1941 гг. возглавлял его). В 1941–1943 гг. возглавлял Симеизскую обсерваторию в эвакуации на Китабской широтной станции. В 1944–1946 гг. — директор Пулковской обсерватории.

В Симеизе впервые в нашей стране организовал систематические наблюдения астероидов, сам открыл 63 астероида (один из них, 762 Пулкова, назван в честь Пулковской обсерватории, два других — 779 Нина и 789 Лена — в честь сестры и матери астронома). В течение 1913–1941 гг. открыл 6 новых комет (5 из них оказались короткопериодическими). Разработал метод учёта членов высших порядков при вычислении возмущений орбит комет. Исследовал движение кометы Неуймина 2. Изучал переменные звёзды, открыл 13 переменных. Выполнял микрометрические измерения спутников Нептуна и двойных звёзд, занимался определением собственных движений звёзд. Награждён премиями Русского астрономического общества и шестью медалями Тихоокеанского астрономического общества. В его честь названы лунный кратер Неуймин, малая планета 1129 Неуймина, открытая П. Г. Пархоменко 8 августа 1929 г. в Симеизской обсерватории, и равнина Неуймина на открытом им в 1916 г. астероиде 951 Гаспра.

НИЖНЯЯ ИОНОСФЕРА — область, в которой гирочастота ионов меньше частот столкновений с нейтральными частицами, расположенная ниже 140 км. Гирочастота (гиромагнитная частота, циклотронная частота) — это частота периодического движения заряженной частицы в постоянном магнитном поле H в плоскости, перпендикулярной H. Её значение равно $w = eH/(mc)$, где e и m — заряд и масса частицы, c — скорость света.

НИКОЛЬСОН, Сет Барнз (Nicholson, Seth Barnes) (12.11.1891, Спрингфилд, шт. Иллинойс, США, — 2.07.1963, Лос-Анджелес, шт. Калифорния, США) — американский астроном. Открыл 2 астероида и 4 спутника Юпитера: Синопе (1914), Лиситея и Карме (1938), Ананке (1951). Доказал (1922) спектральными измерениями, что в атмосфере Венеры нет кислорода и воды. Награждён медалью Брюс (1963).

НИКТА (Pluto II, Nix) — один из естественных спутников планеты-карлика Плутон. Открыт в июне 2005 г. с помощью космического телескопа «Хаббл». Большая полуось орбиты 48 708 км. Орбитальный период 24,856 сут. Эксцентриситет орбиты 0,003. Наклонение орбиты к экватору Плутона 0,2°. Таким образом, орбитальное движение происходит в сторону вращения Плутона, но в обратном направлении относительно движения планет Солнечной системы. Средний диаметр Никты от 46 до 136 км. Видимый блеск около 24^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

НИТЯНОЙ МИКРОМЕТР — измерительное устройство, состоящее из окуляра, в фо-

кальной плоскости которого размещены три тонкие нити. Две нити взаимно перпендикулярны и фиксированы, как в окуляре с крестом нитей. Третья нить параллельна одной из фиксированных и может перемещаться посредством микрометрического винта вдоль второй из неподвижных нитей. Устройство можно поворачивать вокруг оптической оси телескопа, отсчитывая угол поворота по круговой шкале. Фокусировка на нити выполняется независимо (окуляром микрометра), что позволяет сфокусироваться одновременно и на нити, и на наблюдаемый объект. Микрометр оснащён подсветкой нитей для измерений на тёмном фоне неба. До недавнего времени для изготовления нитей микрометров использовали специально обработанные паутинки подходящей толщины; в настоящее время для этих целей используют синтетические волокна. Нитяной микрометр используется с телескопом для измерения малых углов — диаметров планет, расстояний между компонентами двойных звёзд, а также их позиционных углов. В настоящее время микрометрические измерения почти повсеместно вытеснены прямыми измерениями по ПЗС-изображениям.

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ за работу по астрономии и астрофизике — полный список:

1936 г. В. Ф. Гесс (Австрия) «За открытие космических лучей».

1970 г. Х. О. Г. Альвен (Швеция) «За фундаментальные работы и открытия в магнитогидродинамике и их применение в различных разделах физики плазмы». Г. А. Бете (США) «За открытия, связанные с проблемами выделения энергии в звёздах».

1974 г. М. Райл (Великобритания) и А. Хьюиш (Великобритания) «За пионерские исследования в радиоастрофизике» (Райл — за результаты научных наблюдений и изобретения, в частности метода апертурного синтеза, Хьюиш — за его определяющую роль в открытии пульсаров).

1978 г. А. А. Пензиас (США) и К. В. Вилсон (США) «За открытие космического микроволнового фонового излучения».

1983 г. С. Чандрасекар (США) «За физические исследования структуры и эволюции звезд». В. А. Фаулер (США) «За теоретические и экспериментальные исследования ядерных реакций, отвечающих за формирование химических элементов во Вселенной».

1993 г. Р. А. Халс (США) и Дж. Н. Тейлор (США) «За открытие пульсара нового типа, давшее новые возможности для исследования гравитации».

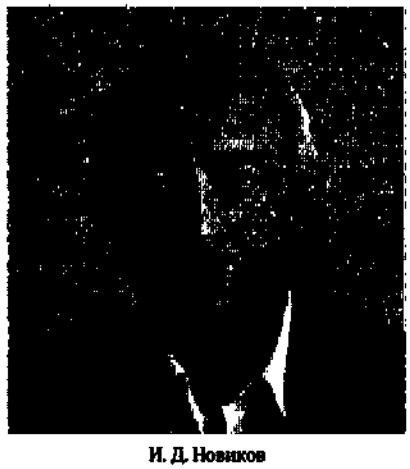
2002 г. Р. Дэвис (США) и М. Косиба (Япония) «За передовые разработки в обнаружении космических нейтрино». Р. Джиаккони (США) «За работы, приведшие к открытию космических источников рентгеновского излучения».

2006 г. Дж. Мазер (США) и Дж. Смут (США) «За открытие чёрнотельной формы спектра космического микроволнового фонового излучения и его анизотропии».

2011 г. С. Перлмуттер (США), Б. Шмидт (США и Австралия) и А. Рисс (США) «За открытие ускоренного расширения Вселенной посредством наблюдения далёких сверхновых».

НОВИКОВ Игорь Дмитриевич (р. 10.11.1935, Москва, СССР) — российский астрофизик, академик Королевской академии наук Дании (1995), член-корреспондент РАН (2000). Директор Центра теоретической астрофизики в Копенгагене (1994), зам. руководителя Астро-космического центра Физического института им. Лебедева РАН. Труды в области релятивистской астрофизики и космологии. Совместно с А. Г. Дорошкевичем указал (1964) на возможность обнаружения реликтового излучения. Предсказал (1964), что источниками энергии квазаров могут быть сверхмассивные чёрные дыры за счёт аккреции на них окружающего вещества. Совместно с Я. Б. Зельдовичем предсказал (1966), что чёрные дыры могут быть рентгеновскими источниками в двойных системах. Разработал теорию внутреннего строения чёрных дыр и их взаимодействия друг с другом и со звёздами.

Автор классических монографий «Релятивистская астрофизика» (1967, с соавт.), «Теория тяготения и эволюция звёзд» (1971, с соавт.), «Строение и эволюция Вселенной» (1975, с соавт.), «Физика чёрных дыр» (1986, с соавт.), «Реликтовое излучение Вселенной» (2003, с соавт.) и др. Автор широко известных научно-популярных книг «Эволюция Вселенной» (1979), «Чёрные дылы и Вселенная» (1985), «Как взорвалась Вселенная» (1988), «Куда течет река времени» (1990) и др. Удостоен многих научных наград.



И. Д. Новиков

НОВОЛУНИЕ — одна из фаз Луны, когда Луна, двигаясь по орбите, находится примерно на одной прямой с Солнцем и Землёй и обращена к Земле своей тёмной (неосвещённой) стороной. Формально моментом новолуния считается момент соединения Луны с Солнцем, когда их эклиптические долготы равны. Периодом новолуния называют несколько дней после соединения, когда Луна имеет форму тонкого растущего серпа.

НОВЫЕ (звёзды) — звёзды, неожиданно, всего за несколько часов увеличивающие свой блеск в тысячи и даже миллионы раз (в среднем на 12^m), а затем в течение нескольких недель тускнеющие и возвращающиеся к своему исходному блеску. Название «новая» (лат. Nova) отражает старинное представление о том, что на небе в этот момент возникает не существовавшая ранее звезда. В действительности явление новой связано со звёздами большого возраста, практически закончившими свою эволюцию. Это явление возникает в тесных двойных системах, где один из компонентов — вырожденная звезда (белый карлик или нейтронная звезда). На определённом этапе эволюции таких систем вещество второго компонента — нормальной звезды — может начать перетекать на соседнюю вырожденную звезду. Когда на поверхности белого карлика (или на магнитосфере нейтронной звезды) накапливается критическая масса вещества, происходит термоядерный взрыв, срывающий со звезды оболочку и увеличивающий её светимость в тысячи раз. По мере накопления новой порции газа взрыв повторяется. Уже наблюдались неоднократные вспышки некоторых новых; их называют повторными новыми.

НОВЫЙ ОБЩИЙ КАТАЛОГ (New General Catalog, NGC) — Каталог незвёздных объектов, т. е. газовых туманностей, звёздных скоплений и галактик, опубликованный в 1888 г. Джоном (Йоханом) Дрейером (1852–1926) и основанный на предшествующих работах Джона Гершеля (1792–1871) и других наблюдателей. С дополнениями, опубликованными позднее, каталог включает данные о более чем 13 тыс. объектов. Многие галактики, туманности, скопления известны по их номерам в NGC. Например, известная Крабовидная туманность обозначается как NGC 1952 (а также M1 по каталогу Мессье).

НОЖ ФУКО — часть оптического прибора для исследования формы вогнутых зеркал; см. *Теневой метод Фуко*.

НОКТЮРН — старинный астрономический прибор для определения времени ночью. Ось ноктюрна направлялась на Полярную звезду, шкала с датой ориентировалась по вертикали, а время считыва-

лось по второй, подвижной шкале, визир которой ориентировался по положению одной из ярких звёзд в околополярной области неба, например, в Ковше Большой Медведицы.

НОМЕНКЛАТУРА – система обозначения астрономических объектов. Единого принципа обозначения астрономических объектов пока не существует, но довольно подробно разработана номенклатура астероидов, комет и переменных звёзд.

НОНИУС – измерительное устройство, позволяющее снимать отсчёты по разделённой шкале с точностью в доли её наименьшего деления. Отметка, по которой производится считывание основной шкалы, при использовании нониуса сама является небольшой шкалой. Для получения отсчётов с шагом в одну десятую деления основной шкалы 10 делений на шкале нониуса должны охватывать такую же длину, как 9 делений основной шкалы. В этом случае деление на шкале нониуса, лучше всего совпадающее с делением основной шкалы, непосредственно даёт количество десятичных долей в отсчёте основной шкалы. Часто для удобства считывания 10 делений на шкале нониуса охватывают не 9, а 19 или даже 29 делений основной шкалы. При этом принцип считывания остаётся тем же.

НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ (в статистике) – то же, что *Распределение Гаусса*.

НОЧНОЕ ЗРЕНИЕ – см. *Чёрно-белое зрение*.

НУЛЬ-КОРРЕКТОР (компенсатор) – вспомогательная оптическая система, используемая для испытания асферической оптики. Нуль-корректор преобразует в сферическую волну тот сложный волновой фронт, который, по расчётам, должна создавать испытуемая оптика. Отклонение формы выходящего волнового фронта от сферы влечёт за собой, в частности, отличие изображения точечного источника света от картины Эри (см. *Разрешающая сила*), что позволяет выявить ошибки асферических поверхностей. При испытании одного асферического зеркала нуль-корректор обычно сначала трансформирует расходящийся сферический фронт в волну, падающую на зеркало вдоль семейства нормалей к его расчётной поверхности. Очевидно, при отсутствии ошибок зеркала форма отражённой волны будет совпадать с формой падающей волны как до обратного прохождения к нуль-корректору, так и после выхода из него.

НУЛЬ-ТЕСТ – испытание, при котором заключение о соответствии исследуемого объекта определённым требованиям делается при получении нулевого выходного сигнала контролирующего устройства. Например, нуль-тест применяется при контроле формы поверхности астрономических зеркал. Так, теневой метод Фуко служит нуль-тестом для контроля сферической поверхности из центра кривизны: при правильной сферической форме поверхности отражённые лучи собираются в едином фокусе, поэтому при малом поперечном сдвиге ножа Фуко зеркало «гаснет» одновременно во всех точках (говорят, что оно имеет «плоский» теневой рельеф). См. *Теневой метод Фуко*.

НУТАЦИЯ (лат. *nutatio* – колебание) – колебательное движение оси собственного вращения тела, происходящее одновременно с прецессией, при котором изменяется угол между осью собственного вращения тела и осью, вокруг которой происходит прецессия. В астрономии нутацией обычно называют небольшие покачивания оси вращения Земли в пространстве, накладывающиеся на её конусообразное прецессионное движение. Как и прецессия, нутация вызвана гравитационным влиянием Луны и Солнца. Основной компонент нутации имеет период 18,6 года и амплитуду 9″. Кроме этого, имеется множество других гармоник малой амплитуды.

«НЬЮ САЙЕНТИСТ» (New Scientist) – еженедельный научно-популярный иллюстрированный журнал, издаваемый с 1956 г. в Великобритании тиражом 82 тыс. экземпляров (2010).

НЬЮКОМ, Саймон (Newcomb, Simon) (12.03.1835, Уоллейс, пров. Нов. Шотландия, Канада, – 11.07.1909, Вашингтон, США) – американский астроном. В детстве проявил математические способности; под руководством отца – школьного учителя – освоил к семи годам курс школьной арифметики, включая извлечение квадратных корней. Регулярного школьного образования не получил; занимался самообразованием. После двух лет ученичества у врача переехал в 1853 г. к своему овдовевшему отцу в шт. Мэриленд (США) и начал самостоятельно изучать естественные науки в библиотеках Вашингтона. Приобрёл особую склонность к астрономии и математике; своими любимыми книгами считал «Американские эфемериды» и «Морской ежегодник» – астрономические справочники по навигации, указывающие предвычисленное положение небесных светил. В 1857 г. Ньюком нашёл работу вычислителя в Бюро Американского морского ежегодника (в те годы располагалось в Кембридже, шт. Массачусетс). Тогда же он поступил в Лоуренсовскую научную школу Гарвардского университета, диплом которого получил уже в 1858 г. В 1861–1877 гг. – сотрудник Морской обсерватории в Вашингтоне и профессор математики Морской академии (занятие этих должностей подразумевает вступление в офицерский корпус Военно-морских сил США).

Более 10 лет Ньюком определял положение небесных светил с меридианными инструментами Морской обсерватории, и ещё два года – с новым 26-дюймовым рефрактором. В 1877–1897 гг. возглавлял вычислительное бюро Американского морского ежегодника (тогда в Вашингтоне). Достигнув в 1897 г. пенсионного возраста в звании капитана, он в порядке редчайшего исключения был отправлен на пенсию в звании контр-адмирала.

Кроме этого, в 1884–1893 гг. он – профессор математики и астрономии в университете Дж. Хопкинса в Балтиморе. В течение многих лет был редактором Американского математического журнала; был одним из основателей Американского астрономического общества и его первым президентом (1899–1905). В 1869 г. избран в Национальную АН США и с 1881 г. занимал в ней высокие посты (академик-секретарь, вице-президент, руководитель иностранного отдела).

Научные работы Ньюкома относятся к небесной механике, астрометрии, навигационной астрономии. Он выполнил фундаментальные исследования движения планет, в частности разработал теорию движения Нептуна. Определив заново и получив наиболее достоверные значения всех астрономических постоянных, характеризующих движение Земли и планет, составил чрезвычайно точные таблицы движения четырёх ближайших к Солнцу планет; использовал при этом наблюдения, произведённые с 1750 по 1890 г. в различных обсерваториях мира. Под его руководством составлены таблицы движения Урана и Нептуна. Вычисленными Ньюкомом астрономическими постоянными пользовались практически в течение всего XX в., на них основывались все исследования по теоретической астрономии и астрометрии.

Ньюком внёс большой вклад в теорию движения Луны. Он собрал и обработал все наблюдения Луны начиная с древнейших времён. Эти данные легли в основу наиболее совершенной теории и таблиц движения Луны Э. У. Брауна, изданных в 1919 г. Ньюком построил фундаментальную систему звёздных положений и оформил её в виде известного фундаментального каталога, составленного на основе наблюдений 21 обсерватории и содержащего 1597 опорных звёзд. Совместно с А. Майкельсоном определил скорость света методом Физо. Дал объяснение расхождению между определённым С. К. Чандлером периодом свободных колебаний полюсов Земли и периодом, вычисленным Л. Эйлером.

Список трудов Ньюкома содержит более 500 названий. Кроме этого он был талантливым популяризатором науки, автором известных книг «Астрономия в общепонятном изложении» (1878, 1910; рус. пер. 1896), «Звёзды» (1901), «Астрономия для всех» (1902, 1942; рус. пер. 1905). Член Лондонского королевского общества (1877), Парижской АН, иностранный почётный член Санкт-Петербургской АН (1896), Награждён Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1874), медалью им. Х. Гюйгенса Нидерландского научного общества (1878), медалью им. Копли Лондонского королевского общества (1890); первый лауреат медали им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1898). Его имя занесено на карты Луны и Марса.

НЬЮТОН, Исаак (Newton, Sir Isaac) (04.01.1643, Вулсторп близ Грантема, Англия, – 31.03.1727, Кенсингтон, ныне часть Лондона, Англия) – английский физик, астроном и математик, один из основоположников современного естествознания. Замечание: Ньютон родился 25 декабря 1642 г. и умер 20 марта 1727 г. по юлианскому календарю, действовавшему в Англии до 1752 г.; или 4 января 1643 г. – 31 марта 1727 г. по григорианскому календарю, уже действовавшему в то время в большинстве западноевропейских стран.

Ньютон родился в семье фермера. Его отец умер незадолго до рождения сына. В 12 лет Ньютон начал учёбу в школе в Грантеме, в 19 лет поступил в Тринити-колледж Кембриджского университета, который окончил в 22 года со степенью бакалавра, в 1668 г. получил степень магистра. В 1669–1701 гг. возглавлял физико-математическую кафедру Кембриджского университета. Член Лондонского королевского общества (1672), его президент (с 1703). В 1695 г. назначен смотрителем, в 1699 г. – директором Монетного двора, где провёл большую работу по перечеканке монеты, привёл в порядок монетное дело в Англии.

Наиболее плодотворный период творческой деятельности Ньютона относится к 1660–1680 гг. В это время сложились важнейшие идеи Ньютона, приведшие к блестящим открытиям. Основные его труды были опубликованы позднее. Величайший труд Ньютона – «Математические начала натуральной философии» (сокращённо «Начала») – был издан в 1687 г. В нём сформулированы основные понятия и принципы механики в виде трёх законов: закона инерции, закона изменения импульса пропорционально приложенной силе, закона равенства действия и противодействия. На их основе Ньютон вывел законы движения тел в поле центральных сил не только в вакууме, но и в сопротивляющейся среде.

В «Началах» изложены основы теории всемирного тяготения, с большим успехом применённой к определению движения тел Солнечной системы. Ньютон показал, что Кеплеровы эллипсы, по которым движутся планеты, являются частным случаем траекторий небесных тел, движущихся под влиянием центральных сил. Более общим видом этих траекторий являются конические сечения – эллипс (в частности, окружность), парабола, гипербола. В этой же книге были впервые объяснены главные особенности движения Луны, явление прецессии, приливы в океанах, сжатие Юпитера; дана теория фигуры Земли и решён ряд вопросов гидромеханики.

Ньютон написал много замечательных работ по оптике, в частности фундаментальный труд «Оптика» (1704). В этих работах он показал, что с помощью стеклянной призмы можно разложить белый свет на лучи разных цветов с различной степенью преломляемости, и объяснил этим хроматическую аберрацию линз. Ошибочно полагая эту аберрацию неустранимой, создал в 1668 и 1671 гг. телескопы-рефлекторы, основанные на явлении отражения световых лучей от вогнутого зеркала. Изучил интерференцию света, измерил длину световой волны и сделал ряд других открытий в оптике. Считал свет потоком мельчайших частиц (корпускул), хотя и не отрицал возможности волновой природы света. Ньютон создал математику непрерывных процессов. Разработал (одновременно с Г. В. Лейбницем) основы дифференциального и интегрального исчислений. Занимался алгеброй, аналитической геометрией, поставил ряд проблем вариационного исчисления.

Труды Ньютона и его последователей составили эпоху в развитии естествознания. На основе его работ в области механики и его теории всемирного тяготения П. С. Лапласом была блестяще развита небесная механика, давшая миру замечательные примеры научного предвидения (предсказание существования Нептуна). В результате опытов Ньютона по разложению белого света призмой стало возможным открытие в 1859 г. Кирхгофом и Бунзеном спектрального анализа, одного из основных методов исследования в астрофизике. Открытия Ньютоном интерференции и периодических свойств света были фундаментальными для оптики и в конечном счёте привели к пониманию природы изображения в телескопе. Первый маленький отражательный телескоп Ньютона стал прообразом мощных рефлекторов нашего времени. Наконец, от ньютоновской механики и теории всемирного тяготения был совершён переход к релятивистской механике А. Эйнштейна и современной космологии. Вклад Ньютона в естествознание навсегда вошёл в сокровищницу человеческого разума.

Похоронен Ньютон в Вестминстерском аббатстве.

О

ОБЕРОН (U IV, Oberon) – естественный спутник Урана. Его открыл Вильям Гершель 11 января 1787 г. Большая полуось орбиты 583 520 км. Орбитальный период 13,463234 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0014. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,058°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Диаметр 1523 км. Масса около $3 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,63 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 35 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 726 м/с. Геометрическое альбедо 31%, альбедо Бонда 14%. Видимый блеск 13,7^m и максимальное угловое расстояние от планеты 43″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 65 К.

ОБЗОР НЕБА ПАЛОМАРСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ – *см. Паломарский обзор неба.*

ОБИЛИЕ (химических элементов) – относительное содержание химических элементов. В астрономии обычно приводят отношение концентрации элемента (числа атомов и ионов данного элемента в единице объёма) к концентрации наиболее распространённого во Вселенной элемента – водорода. Иногда обилие выражают в долях массы единицы объёма вещества, т. е. как отношение массы данного элемента в единице объёма к полной массе вещества в этом объёме. В этом случае обилие водорода часто обозначают буквой X, обилие гелия – буквой Y и суммарное обилие более тяжёлых элементов – буквой Z. По определению, $X+Y+Z=1$. К примеру, в фотосфере Солнца $X = 0{,}735$; $Y = 0{,}249$; $Z = 0{,}017$.

ОБЛАСТЬ HII – пространство вокруг горячей звезды, в пределах которого основной компонент межзвёздной среды – водород (H) – практически полностью ионизован ультрафиолетовым излучением этой звезды. Название связано с тем, что в спектроскопии нейтральный атом обозначают цифрой I, а однократно ионизованный – цифрой II. Если плотность ионизованного водорода в облаке достаточно высока (10^2–10^4 атомов/см^3), то оно ярко светится в оптическом диапазоне и его называют эмиссионной туманностью. Например, такова туманность Ориона, поперечником около 8 пк, ионизованная несколькими находящимися внутри неё горячими молодыми звёздами.

Заметную область HII способны создать вокруг себя только звёзды спектрального класса O и B, имеющие тем-

пературу более 20 тыс. К. Если в недрах крупного межзвёздного облака рождается сразу много звёзд, то область HII вокруг них может приобрести гигантский размер. Например, в соседней галактике Большое Магелланово Облако вокруг очень крупного скопления молодых массивных звёзд наблюдается эмиссионная туманность Тарантул поперечником более 400 пк и массой несколько миллионов масс Солнца. В любой галактике области HII указывают места массового формирования звёзд.

ОБЛАСТЬ ИЗОПЛАНАТИЗМА — область на небесной сфере, в пределах которой адаптивная оптика способна компенсировать отрицательное влияние атмосферной турбулентности, «размывающее» изображение объекта. Типичный радиус области изопланатизма в видимом диапазоне составляет несколько угловых секунд.

ОБЛУЧАТЕЛЬ — антенна, помещаемая в фокусе радиотелескопа для преобразования приходящих радиоволн в электрический сигнал. В качестве облучателей часто используются полуволновой диполь или антенна Яги.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ЗВЁЗД ПО ФЛЕМСТИДУ — система звёздной номенклатуры, впервые введённая в каталоге Джона Флемстида (1646–1719), опубликованном в 1725 г. В пределах каждого созвездия Флемстид обозначил звёзды номерами в порядке увеличения прямого восхождения этих звёзд, например 57 UMa, 88 Leo, 15 Pic. Это создало удобство (в отличие от обозначений по Байеру) при наблюдении последовательного прохождения звёзд данного созвездия через небесный меридиан.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД — существуют различные системы для обозначения переменных звёзд, поэтому некоторые переменные звёзды зачастую имеют несколько обозначений. Наиболее распространённый подход — расширение системы обозначений звёзд по Байеру. В этом случае переменные в пределах данного созвездия обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, начиная с R для самой яркой переменной. По исчерпании латинских заглавных букв (которых от R до Z всего девять) используются удвоенные заглавные буквы: следующие девять переменных в созвездии обозначаются сочетаниями от RR до RZ, затем — от SS до SZ, затем — от TT до TZ, и так далее до ZZ, что даёт в сумме 54 варианта. После исчерпания этих вариантов используются двухбуквенные последовательности от AA до AZ, от BB до BZ, от CC до CZ, ..., от QQ до QZ. Таким образом, общий «резерв» обозначений переменных для созвездия составляет 334 наименования; к обозначению переменной звезды добавляется сокращённое латинское название созвездия, например S Cyg, RR Lyr, FG Sge и т. п. При большем количестве переменных используется упрощённая нумерация, в которой переменная обозначается латинским V и порядковым номером переменной, начиная с 335, например V861 Sco, V444 Cyg, V432 Her и т. п.

Для обозначения пульсаров и других специальных групп переменных объектов иногда используются другие системы обозначений. Обычно используются обозначения, показывающие тип объекта, с добавлением цифр, являющихся приближёнными экваториальными координатами объекта. Например, из обозначения пульсара PSR 1257+12 следует, что его приближённые координаты равны $\alpha \approx 12^h\,57^m$ и $\delta \approx +12°$.

ОБОРАЧИВАЮЩАЯ ЛИНЗОВАЯ СИСТЕМА — одиночная линза или система линз, единственным назначением которой является изменение ориентации изображения — его переворот. Применяется, например, в конструкции зрительных труб, которые, в отличие от телескопов, показывают объект в его естественной ориентации — вниз ногами.

ОБОРАЧИВАЮЩАЯ ПРИЗМА — призма, вводимая в оптическую схему для получения прямого изображения. Например, пара скрещённых прямоугольных призм, в которых лучи входят и выходят через их длинные грани, часто используется как оборачивающая система в биноклях. Эта комбинация призм позволяет также уменьшить общую длину инструмента (см. *Призма Порро*). Подобным образом работает пентапризма в зеркальных фотоаппаратах.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ — общее название разнообразных (в большинстве своём — математических) методов, позволяющих извлекать тот или иной вид информации из исходных данных, полученных в эксперименте или при наблюдениях, например, на телескопе. Обработку данных подразделяют на редукцию данных и анализ данных.

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ — преобразование электронной записи изображения с использованием компьютера с целью представить это изображение в желаемой форме. Применяется множество способов обработки изображений, например настройка полутонов, повышение резкости, сглаживание, представление в псевдоцветах и т. п. Их все можно разделить на обработку данных и оптимизацию представления изображения. Обработка данных направлена на исправление заранее известных недостатков изображения, например выравнивание чувствительности по полю приёмника, исправление геометрических искажений и т. п. После выполнения процедур обработки данных применяется оптимизация представления изображения с целью выделить его части, представляющие интерес в данном исследовании. Оптимизацию представления одного и того же изображения для различных целей можно выполнить различными способами (см. *Метод нерезкой маски*). Например, фотография Солнца содержит как факелы, так и пятна. При визуализации на дисплее оптимальное представление структуры пятен, представляющих собой тёмные, контрастные образования, будет существенно отличаться от оптимального представления ярких и низкоконтрастных факелов.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА — проблема интерпретации результатов наблюдений в некоторых науках, в частности в астрономии, не имеющих возможности непосредственно экспериментально исследовать объект. Например, измеренному значению блеска звезды может соответствовать бесконечное количество вариантов распределения тёмных и светлых пятен на её поверхности. В математическом смысле решение обратной задачи заключается в том, чтобы по значению интеграла восстановить вид подынтегральной функции. Проблема усугубляется наличием шума и погрешностей измерений. Одним из часто используемых методов решения обратной задачи является создание теоретической модели объекта наблюдения, основанной на некоторых аналогиях и предположениях, и исследование этой модели на предмет её наблюдаемых характеристик (прямая задача). Нередко при этом получается сразу несколько вариантов интерпретации данных, дающих одинаково верные предсказания. Хотя единственного способа для исключения возникающей неоднозначности и не существует, при решении обратных задач достаточно широко используются такие подходы, как бритва Оккама (т. е. выбирается наиболее простая из моделей, дающих одинаковые наблюдательные проявления) и метод максимальной энтропии.

ОБРАТНОЕ ДВИЖЕНИЕ — то же, что *Попятное движение*.

ОБРАЩЕНИЕ — техника получения позитивного фотографического изображения посредством одной цепочки химических процессов. Применяется, например, для получения цветных слайдов на «обратимой» фотоплёнке. Один из вариантов обращения — соляризация.

ОБСЕРВАТОРИЯ — научная организация или её отделение, проводящая регуляр-

ные наблюдения за каким-либо природным явлением. Примеры — метеорологическая обсерватория, геомагнитная обсерватория, сейсмологическая обсерватория, астрономическая обсерватория. Часто термин «обсерватория» используют в узком смысле — для обозначения здания (башни или павильона), в котором установлен научный прибор, обеспечивающий наблюдения, например телескоп. Обсерваториями называют и специализированные космические аппараты, предназначенные для выполнения астрономических наблюдений, такие как рентгеновская обсерватория «Чандра», инфракрасная обсерватория «Спитцер».

Профессиональные астрономические обсерватории в настоящее время имеют тенденцию к концентрации на немногих высокогорных площадках, обеспечивающих оптимальные условия наблюдений. Сведения о крупнейших оптических и радиоастрономических обсерваториях приводятся в астрономических ежегодниках.

ОБСЕРВАТОРИЯ БОЛОНЬИ (Osservatorio Astronomico di Bologna) — оптическая обсерватория в Болонье (Италия), подразделение Национального астрофизического института. Имеет телескопы диаметром 152 и 60 см. Участвует в международных проектах по сооружению крупных телескопов, например, Большого бинокулярного телескопа LBT.

ОБСЕРВАТОРИЯ ВАТИКАНА — оптическая обсерватория (итал. Specola Vaticana), расположенная в замке Гандольфо (высота 430 м) близ Рима, и имеющая свою наблюдательную станцию на обсерватории Маунт-Грэхем в Аризоне (США), где размещён очень интересный 1,8-метровый Ватиканский телескоп перспективной технологии (VATT). Ватиканская обсерватория берёт начало с григорианской реформы календаря в XVI в., а ныне действует как научная и учебная организация.

ОБСЕРВАТОРИЯ ВЕРХНЕГО ПРОВАНСА (Observatoire de Haute Provence) — астрономическая обсерватория; расположена на юге Франции, в 90 км к востоку от Авиньона и в 100 км к северу от Марселя, близ деревни Сан-Мишель-Обсерватуар, (департамент Alpes-de-Haute-Provence), на высоте 650 м. Основана в 1937 г. для астрономических и геофизических исследований. В 1943 г. начались наблюдения с 1,2-метровым рефлектором постройки 1872 г., перевезённым из Парижской обсерватории. Позже были установлены телескопы диаметром 0,8; 1,52 и 1,93 м, а также несколько телескопов других организаций, например 1-метровый рефлектор Женевской обсерватории. Крупнейший инструмент обсерватории — кассегреновский 1,93-метровый рефлектор — установлен в 1958 г. на экваториальной монтировке английского типа (с двумя колоннами, поддерживающими часовую ось).

Наибольшую известность обсерватории принесло открытие в 1995 г. первой экзопланеты 51 Peg, которое совершили швейцарские астрономы Мишель Майор и Дидье Келоз, используя 1,93-метровый телескоп и уникальный эшелеспектрограф ELODIE, созданий ими совместно с André Baranne (Марсельская обсерватория). Спектрограф установлен в термостатированном помещении и получает свет по оптоволоконной линии из кассегреновского фокуса телескопа. Уникальная система цифровой кросскорреляции позволяет дистигать на нём точности измерения лучевой скорости ±7 км/с. С его помощью было обнаружено более 20 экзопланет. В 2006 г. его заменил более современный спектрограф SOPHIE. На обсерватории Верхнего Прованса проводятся и активные исследования всех слоёв атмосферы с помощью зондирующих лазеров — лидаров.

ОБСЕРВАТОРИЯ ДИ БРЕРА — астрономическая обсерватория в замке Брера (Милан, Италия), построенная в 1764 г. иезуитами и перешедшая в 1773 г. под контроль правительства. Нынешнее название — Osservatorio Astronomico di Brera, или Brera Astronomical Observatory. Основным направлением работ в наши дни является рентгеновская астрономия и разработка оборудования для неё.

ОБСЕРВАТОРИЯ КАЛАР-АЛЬТО — оптическая обсерватория, расположенная на высоте 2200 м на горе Калар-Альто (Андалузия, Испания). На обсерватории установлено несколько больших телескопов, в том числе рефлекторы диаметром 3,5 и 2,2 м.

ОБСЕРВАТОРИЯ КИТТ-ПИК — национальная обсерватория США, расположенная на горе Китт-Пик (Kitt Peak) в штате Аризона на высоте 2100 м. Обсерватория располагает 4-метровым телескопом «Мейол» системы Ричи–Кретьена, 3,5-метровым телескопом WIYN системы Ричи–Кретьена, 2,1-метровым оптическим телескопом, а также рядом других оптических и радиотелескопов, принадлежащих нескольким различным организациям. Среди них крупнейший в мире солнечный телескоп «МакМат-Пирс» (McMath-Pierce) в наклонной башне с главным зеркалом диаметром 1,6 м.

ОБСЕРВАТОРИЯ ЛА-ПЛАТА — оптическая обсерватория в городе Ла-Плата (La Plata). провинция Бузнос-Айрес, Аргентина. Основана в 1880-е гг. Крупнейший инструмент — рефлектор 2,2-м в Сан-Хуане.

ОБСЕРВАТОРИЯ ЛА-СИЛЬЯ — астрономическая обсерватория, на которой большая часть инструментов принадлежит Европейской южной обсерватории. Расположенная на горе Ла-Силья (La Silla) в Чили, на высоте 2400 м. Начала работу в 1963 г. Крупнейшие телескопы — рефлекторы диаметром 3,6 м и 3,5 м (Телескоп новой технологии, NTT), а также несколько инструментов диаметром от 1 до 2,2 м и шведский радиотелескоп SEST субмиллиметрового диапазона диаметром 15 м.

ОБСЕРВАТОРИЯ ЛАС-КАМПАНАС — астрономическая обсерватория Института Карнеги (Вашингтон), расположенная на горе Серро Лас-Кампанас в Чилийской пустыне Атакама на высоте 2400 м. Работает с 1971 г. Крупнейшие инструменты обсерватории: два рядом расположенных телескопа «Магеллан» диаметром по 6,5 м каждый, 100-дюймовый (2,5 м) телескоп «Дюпон», 1,3-метровый рефлектор Варшавского университета, 4-метровый радиотелескоп миллиметрового диапазона и др. На обсерватории Las Campanas планируется построить к 2018 г. «Гигантский телескоп Магеллана» (Giant Magellan Telescope), у которого на единой монтировке будет 7 зеркал диаметром по 8,4 м каждое, что по светособирающей площади эквивалентно объективу диаметром 21,4 м, а по угловому разрешению — объективу диаметром 24,5 м. Система адаптивной оптики позволит ему достигнуть углового разрешения 0,2–0,3″ на длине волны 500 нм.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАК-ДОНАЛЬД — астрономическая обсерватория Техасского университета, расположенная на двух вершинах близ форта Дэвис (Техас), на высоте 2100 м. Крупнейший инструмент обсерватории, работающий с 1997 г., — неполноповоротный телескоп «Хобби–Эберли» с составным зеркалом размером 11×9,8 м, имеющим действующую апертуру диаметром 9,2 м. Кроме того, имеются 2,7-метровый рефлектор «Харлан Смит» и 2,1-метровый рефлектор «Отто Струве». В обсерватории действует Центр для посетителей, предоставляющий возможность экскурсии и наблюдения на телескопах днём и ночью. Специально для посетителей выделен телескоп диаметром 0,7 м, но иногда предоставляется возможность визуальных наблюдений на более крупных инструментах. Обсерватория названа именем банкира Уильяма Мак-Дональда (William Johnson McDonald, 1844–1926), пожертвовавшего деньги на её создание.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНА-КЕА — астрономическая обсерватория, на которой размещены многие крупные телескопы оптического, миллиметрового и радиодиапазонов, включая оптические телескопы «Кек», «Джемини Северный», «Субару» диаметрами 8–10 м, а также 15-метровый

радиотелескоп «Джеймс Клерк Максвелл» субмиллиметрового диапазона. Там находится одна из 25-метровых параболических антенн межконтинентального радиоинтерферометра VLBA, 3,8-метровый инфракрасный телескоп UKIRT (United Kingdom InfraRed Telescope). Обсерватория расположена на вершине древнего потухшего вулкана Мауна Кеа (Mauna Kea) на острове Гавайи (США), на высоте 4200 м. Это место считается практически идеальным для астрономических наблюдений на поверхности Земли: оно расположено близ экватора, выше основного облачного слоя, имеет низкую влажность и минимальную засветку неба. Чистый и спокойный воздух позволяет получить прекрасное качество изображений.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНТ-ГРЭХЕМ — оптическая и радиоастрономическая обсерватория, расположенная на горе Маунт-Грэхем (Mount Graham) на юго-востоке Аризоны (США), на высоте 3300 м. Её официальное название — Mount Graham International Observatory (MGIO). Это отделение Стюардовской обсерватории, принадлежащей Аризонскому университету. Крупнейший инструмент обсерватории Маунт-Грэхем, для которого она и создавалась, — Большой бинокулярный телескоп LBT, имеющий два монолитных зеркала диаметром по 8,4 м каждое, укреплённых на одной монтировке. Он создан усилиями Национального астрофизического института Италии, нескольких крупных университетов США и Научного общества им. Макса Планка Германии. Телескоп LBT начал наблюдения одним зеркалом в 2005 г., а полноценные наблюдения начались в 2008 г. С этого момента, имея эквивалентный диаметр объектива около 12 м, он стал крупнейшим в мире телескопом.

На обсерватории Маунт-Грэхем размещается и очень интересный 1,8-метровый Ватиканский телескоп перспективной технологии (VATT), имеющий чрезвычайно светосильное (*f*/1,0) боросиликатное главное зеркало. Вторичное вогнутое зеркало (схема Грегори) обеспечивает эквивалентный фокус *f*/9 и высокую чёткость изображения по полю диаметром 15′. На обсерватории работает и субмиллиметровый радиотелескоп «Генрих Герц» с антенной диаметром 10 м.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНТ-МЕГАНТИК (Observatoire du Mont-Mégantic, OMM) — оптическая обсерватория на горе Мегантик в провинции Квебек (Канада), на высоте 1111 м. Основана в 1978 г. Крупнейший инструмент — телескоп системы Ричи—Кретьена диаметром 1,6 м. Главное направление работ — спектроскопия и поляриметрия.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНТ-ПАЛОМАР — оптическая обсерватория Калифорнийского технологического института (США), частично финансируется Лабораторией реактивного движения и Корнелльским университетом. Обсерватория расположена на горе Маунт-Паломар (Mount Palomar) в Калифорнии, в 140 км к юго-востоку от обсерватории Маунт-Вилсон, на высоте 1700 м. Крупнейший инструмент — 200-дюймовый (5 м) телескоп «Хейл», сооружённый по инициативе Джорджа Хейла на средства Фонда Рокфеллера. Этот телескоп начал работать в 1948 г. и в течение трёх десятилетий оставался крупнейшим телескопом в мире. С ним связано множество открытий в галактической и внегалактической астрономии. Фактически он был самым эффективным телескопом вплоть до 1992 г., когда начали работать телескопы «Кек». Модернизация приёмной аппаратуры 200-дюймового телескопа позволяет ему и в начале XXI в. оставаться весьма эффективным инструментом. Паломарская обсерватория располагает также 60-дюймовым (1,5 м) рефлектором и 48-дюймовой (1,2/1,8 м) камерой Шмидта, выполнившей в середине XX в. первый глубокий обзор неба — Паломарский обзор, который открыл эру массового изучения галактик. В 1995–2009 гг. на обсерватории работал Опытный звёздный интерферометр ближнего инфракрасного диапазона — прообраз более крупного интерферометра, созданного на базе телескопов «Кек».



Вид 200-дюймового телескопа «Хейл» с юго-востока. Рисунок Р. У. Портера, выполненный по рабочим чертежам в 1939 г.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНТ-СТРОМЛО — оптическая и солнечная обсерватория близ Канберры (Австралия), на горе Mount Stromlo высотой 770 м. Принадлежит Исследовательской школе астрономии и астрофизики Национального австралийского университета. Активно работала во второй половине XX в. Сильно пострадала от лесного пожара 2003 г.

ОБСЕРВАТОРИЯ ОКАЯМА (Okayama Astrophysical Observatory) — астрофизическая обсерватория в Окаяма (Okayama), Япония, на высоте 370 м. Основана в 1960 г. как отделение Токийской астрономической обсерватории. В 1988 г. вошла в состав Национальной астрономической обсерватории Японии (NAOJ). Крупнейшие инструменты: рефлекторы диаметром 188, 91 и 50 см, а также солнечный телескоп диаметром 65 см. В момент установки в начале 1960-х гг. рефлектор диаметром 188 см был крупнейшим в Азии. Он создан известной английской фирмой «Грабб & Парсонс», имеет английскую монтировку и фокусы Ньютона, Кассегрена и куде.

С этим телескопом связана интересная история. Случайным свидетелем транспортировки крупных частей телескопа из порта на обсерваторию оказался японский мальчик. Это произвело на него такое впечатление, что он увлекся астрономией и ныне стал известным профессиональным астрономом.

ОБСЕРВАТОРИЯ ОНДРЖЕЙОВ — обсерватория Астрономического института Академии наук Чешской Республики. Расположена близ местечка Ондржейов (Ondrejov), в 35 км к юго-востоку от Праги, на высоте 500 м. Основана в 1898 г. как частная обсерватория, а в 1928 г. передана в дар государству. Крупнейший инструмент — цейсовский 2-метровый рефлектор.

ОБСЕРВАТОРИЯ ОНСАЛА (Onsala Space Observatory) — национальная шведская радиоастрономическая обсерватория в местечке Онсала, в 45 км к югу от Гётеборга (Швеция). Радиотелескоп дециметрового диапазона диаметром 25,6 м на экваториальной монтировке работает с 1963 г. на частотах ниже 7 ГГц, наблюдая как самостоятельно, так и в составе межконтинентального интерферометра VLBI. 20-метровый радиотелескоп миллиметрового диапазона работает с 1976 г. на частотах ниже 116 ГГц самостоятельно и в составе VLBI. Его параболическая антенна накрыта радиопрозрачным куполом. С его помощью изучают молекулы в кометах, межзвёздной среде и околозвёздных оболочках. Как элемент интерферометра он принимает участие в изучении ядер галактик и геодезических наблюдениях за вращением Земли и движением материков.

Обсерватория принимает активное участие в международном проекте ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) в Чили, в частности в его пилотном проекте APEX (Atacama Pathfinder Experiment), в рамках которого на высоте 5100 м в пустыне Атакама (Чили) функционирует 12-метровый телескоп субмиллиметрового диапазона. А на Европейской южной обсерватории Ла-Силья на высоте 2300 м находится 15-метровый те-

лескоп SEST (Swedish-ESO Submillimetre Telescope) субмиллиметрового диапазона, созданный в 1987 г. обсерваторией Онсала в кооперации с финскими и австралийскими коллегами. В диапазоне 70–365 ГГц он выполнил большой объём наблюдений, в том числе используя матричный (гексагональный) 37-канальный облучатель болометра SIMBA на волне 1,2 мм. В 2003 г. работа телескопа SEST была приостановлена, но его антенна в нормальном состоянии сохраняется на обсерватории Ла-Силья.

Уникальным прибором на обсерватории Онсала является радиотелескоп SALSA (Such A Lovely Small Antenna) с двумя 2,3-метровыми параболическими антеннами, обеспеченный чувствительными приёмниками, в частности для регистрации линии излучения водорода (21 см). Этот телескоп специально предназначен для любителей радиоастрономии – школьников, студентов и учителей, которые могут заказывать себе наблюдательное время для исследования распределения водорода в Галактике.

ОБСЕРВАТОРИЯ РОЖЕН (Rozhen observatory) – национальная астрономическая обсерватория Болгарии, принадлежащая Институту астрономии Болгарской академии наук. Расположена в 90 км к югу от г. Пловдива, на высоте 1800 м. Крупнейший телескоп – 2-метровый рефлектор системы Ричи–Кретьена с фокусами Кассегрена и куде. Имеется также кассегреновский рефлектор диаметром 60 см (Цейс-600), камера Шмидта 50/70 см и солнечный коронограф 15 см. В штате около 50 астрономов. Обсерватория активно занимается поиском экзопланет методом покрытий.

ОБСЕРВАТОРИЯ РОКА-ДЕ-ЛОС-МУЧАЧОС (Observatorio del Roque de los Muchachos, ORM) – международная оптическая обсерватория на вулканическом острове Ла Пальма (Канарские острова, Испания), высота 2400 м. Действует с 1979 г., когда там был установлен английский 2,5-метровый телескоп «Исаак Ньютон». Позже были установлены телескопы «Ливерпуль» (2 м), «Вильям Гершель» (4,2 м), «Северный оптический» (2,6 м), итальянский Национальный телескоп «Галилео» (3,6 м) и несколько инструментов метрового калибра, среди которых башенный Шведский солнечный вакуумный телескоп (1 м). Крупнейший инструмент – Большой канарский телескоп (Gran Telescopio Canarias) с мозаичным зеркалом диаметром 10,4 м начал наблюдения в 2009 г. На обсерватории с 1987 по 2002 гг. функционировала система черенковских детекторов гамма-лучей HEGRA (High-Energy-Gamma-Ray Astronomy), которую в 2004 г. заменил черенковский телескоп MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope) с коллектором диаметром 17 м. В 2009 г. на расстоянии 85 м от него установлен ещё один такой же инструмент. Эта стереосистема картирует космическое гамма-излучение в диапазоне энергий от 50 ГэВ до 30 ТэВ.

ОБСЕРВАТОРИЯ РЭДКЛИФФ (Radcliffe Observatory) – астрономическая обсерватория Оксфордского университета, созданная на средства знаменитого английского врача Джона Рэдклиффа (1652–1714). Обсерватория была построена в 1772–1794 гг. в Оксфорде (Англия) и действовала до начала XX в., когда из-за ухудшения условий наблюдения практически перестала функционировать. В 1934 г. её двойной 24/18-дюймовый рефрактор был передан учебной обсерватории Лондонского университета, а сама Рэдклиффская обсерватория в 1939 г. была переведена в Преторию (Южная Африка). В 1970-е гг. она вошла в состав Южно-Африканской астрономической обсерватории (SAAO).

Рэдклиффская обсерватория получила известность в основном в связи с работами Дэвида Теккерея (A. D. Thackeray, 1910–1978), бывшего её директором с 1951 по 1974 г. В 1950 г. в эмиссионной туманности IC 2944 (созвездие Кентавр) он открыл так называемые глобулы Теккерея – небольшие тёмные облака межзвёздного газа с массами порядка солнечной. Природа этих и подобных им глобул до сих пор не ясна: являются ли они протозвёздными объектами или остатками более крупных разрушенных облаков, которым предстоит испариться под действием окружающих их горячих звёзд. Исследуя переменные звёзды в Магеллановых Облаках, в 1952 г. Теккерей пересмотрел значение постоянной Хаббла и показал, что возраст и размер Вселенной вдвое больше принятых в те годы.

В последние годы огромный интерес прикован к одному из объектов, впервые описанному в каталоге «Ярчайших звёзд Магеллановых Облаков», составленном М. Фистом, Д. Теккереем и А. Весселинком на Рэдклиффской обсерватории в 1960 г. Самый знаменитый объект в нём – RMC 136 (здесь RMC – Radcliffe obs., Magellanic Clouds), имя которого обычно сокращают до R136. Он находится внутри гигантской эмиссионной туманности «Тарантул» (30 Dor) и представляет собой очень массивное и плотное скопление молодых звёзд. Оно настолько компактное, что поначалу считалось одной звездой. Возраст этого скопления всего 2–3 млн лет, поэтому среди сотни тысяч его звёзд сохранилось много массивных светил. В ядре скопления, обозначенного как объект R136a, сосредоточена группа сверхмассивных звёзд, с массами более 150 масс Солнца! Масса одной из них (R136a1) сейчас составляет около 265 масс Солнца, а в момент рождения – около 2 млн лет назад – она была около 320 масс Солнца! Теория эволюции звёзд пока не может объяснить существование таких объектов.

ОБСЕРВАТОРИЯ САЙДИНГ-СПРИНГ – астрономическая обсерватория, которая вместе с обсерваторией Маунт-Стромло принадлежит Национальному австралийскому университету. Расположена в горах Siding Spring близ Кунабарабран (Новый Южный Уэльс, Австралия) на высоте 1165 м. Среди её 12 инструментов крупнейшие: 3,9-метровый Англо-австралийский рефлектор, 2-метровый Южный телескоп Фолкеса, 1,24/1,8-метровая камера Шмидта, 2,3-метровый Телескоп прогрессивной технологии. При этом Англо-австралийский телескоп и камера Шмидта находятся под управлением Австралийской астрономической обсерватории.

ОБСЕРВАТОРИЯ САКРАМЕНТО ПИК (Sacramento Peak observatory) – *см. Национальная солнечная обсерватория США.*

ОБСЕРВАТОРИЯ СЕРРО-ПАРАНАЛ (Cerro Paranal observatory) – астрономический комплекс Европейской южной обсерватории на горе Серро-Паранал (высота 2640 м) в Чилийских Андах, где с 2000 г. функционирует Очень большой телескоп (VLT) с четырьмя 8-метровыми инструментами и несколькими вспомогательными. Там же с 2010 г. работает телескоп VISTA диаметром 4 м, а также Обзорный телескоп VLT (VLT Survey Telescope, VST) диаметром 2,6 м, созданный в кооперации ESO и Астрономической обсерваторией Каподимонте (Неаполь, Италия).

ОБСЕРВАТОРИЯ СЕРРО-ПАЧОН (Cerro Pachon observatory) – астрономическая обсерватория, расположенная на высоте 2730 м на горе Серро-Пачон в Чилийских Андах, в 10 км на юго-восток от Межамериканской обсерватории Серро-Тололо. Функционируют два больших телескопа: Джемини-южный диаметром 8,1 м и Южный астрофизический исследовательский телескоп (Southern Astrophysical Research Telescope, SOAR) диаметром 4,1 м. Строится Большой обзорный телескоп (Large Synoptic Survey Telescope, LSST) диаметром 8,4 м, имеющий уникальную оптическую систему и поле зрения диаметром 3° при угловом разрешении 0,7".

ОБСЕРВАТОРИЯ ТАРТУ (Tartu observatory) – крупнейшая астрономическая обсерватория Эстонии. Историческая часть – Старая обсерватория – находится в г. Тарту, рядом с университетом. Она основана в начале XIX в., в ней работал молодой В. Я. Струве, установивший там в 1824 г. 9-дюймовый рефрактор Фраунгофера, в то время лучший в

мире; инструмент до сих пор в отличном состоянии. Современная часть обсерватории расположена в местечке Тыравере (Tõravere), в 20 км к юго-западу от Тарту. Там установлены 1,5-метровый рефлектор АЗТ-12 и 60-сантиметровый рефлектор Цейса.

ОБСЕРВАТОРИЯ ТЕЙДЕ (Observatorio del Teide) — астрономическая обсерватория Института астрофизики на Канарах (Испания), расположенная на острове Тенерифе (Канарские острова, Испания), на высоте 2390 м. Основана в 1964 г. как международная научная площадка, имеющая исключительно благоприятный астроклимат. Крупнейшие солнечные инструменты: немецкий вакуумный телескоп «Solar Vacuum Tower Telescope» (VTT) диаметром 70 см и франко-итальянский телескоп THEMIS (90 см). Крупнейшие ночные инструменты: английский инфракрасный телескоп (1,52 м), немецкие телескопы-роботы STELLA I и II (1,2 м) и телескоп Европейского космического агентства для связи со спутниками (1 м). Кроме этого, функционирует несколько радиоинтерферометров микроволнового диапазона и оптические телескопы малого диаметра.

ОБСЕРВАТОРИЯ «ФРЕД ЛОУРЕНС УИППЛ» — оптическая обсерватория, ранее известная как Обсерватория Маунт Хопкинс. Расположена на горе Хопкинс в Аризоне, на высоте 2600 м. Названа в честь известного американского астронома Фреда Уиппла (Fred Lawrence Whipple, 1906–2004). Начала функционировать в 1968 г. Крупнейший инструмент обсерватории — телескоп MMT с зеркалом диаметром 6,5 м. Название телескопа напоминает о том, что с 1979 по 1998 г. его объектив состоял из шести зеркал диаметром по 1,8 м каждое (MMT = Multi-Mirror Telescope, Многозеркальный телескоп) по площади эквивалентных одному 4,5-метровому зеркалу. В то время он был третьим в мире по размеру объектива, вторым на альт-азимутальной монтировке (после БТА) и первым многозеркальным инструментом в истории. С новым монолитным 6,5-метровым зеркалом, установленным в 2000 г., телескоп входит в дюжину крупнейших инструментов мира и называется теперь «Magnum Mirror Telescope» («Выдающийся зеркальный телескоп»). На нём испытываются новые технологии изготовления главного зеркала и системы адаптивной оптики. На обсерватории имеются также три рефлектора диаметром 1,2–1,5 м и черенковские гамма-телескопы с коллекторами диаметром 10 и 12 м.

ОБСЕРВАТОРИЯ ХАЙСТЕК (Haystack observatory) — группа обсерваторий Массачусетского технологического института (США). Располагается в местечке Вестфорд (шт. Массачусетс). Занимается исследованиями в области астрономии, геодезии и физики атмосферы в основном радиоастрономическими методами. Крупнейший инструмент — параболический радиотелескоп диаметром 37 м (изготовлен в 1964 г.), целиком накрытый радиопрозрачным куполом. Работает в диапазоне 85–115 ГГц и как радар на частоте 95 ГГц.

Обсерватория Хайстек обладает уникальным радиотелескопом для наблюдения сверхтонкого перехода дейтерия на частоте 327 МГц (аналог линии 21 см лёгкого основного изотопа водорода — протия). По другим линиям очень трудно разделить излучение дейтерия и протия, поскольку изотопический сдвиг спектральных линий, связанный с различием масс ядер, составляет всего 0,03%. Но их сверхтонкие переходы различаются по энергии очень сильно, поскольку сильно, более чем втрое, различаются магнитные моменты протона и ядра дейтерия. Измерение точного значения отношения D/H в межзвёздной и межгалактической среде очень важно для космологических исследований, в частности для определения полной плотности материи во Вселенной, включая тёмную материю.

Рядом с главным кампусом обсерватории Хайстек расположено её отделение — ионосферная обсерватория Millstone Hill Observatory, имеющая неподвижную, направленную в зенит антенну диаметром 67 м и полноповоротную 46-метровую антенну радара для исследования некогерентного рассеивания в ионосфере. В честь обсерватории Хайстек названа цепочка кратеров на Меркурии — Haystack Vallis.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ — теория гравитации, выражающая тяготение через геометрию пространства-времени. Создана А. Эйнштейном.

ОБЩИЙ КАТАЛОГ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД (General catalogue of variable stars) — классический каталог переменных звёзд, созданный и регулярно обновляемый сотрудниками Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ) и Института астрономии Российской академии наук (ИНАСАН) в Москве. Каталог содержит данные о более чем 40 тыс. галактических переменных звёзд, более чем 10 тыс. внегалактических объектов, около 1000 сверхновых. Бумажная версия каталога последний раз публиковалась в 1985–1995 гг. Текущая электронная версия доступна по адресу http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs.

ОБЪЕКТ ДАЛЬНЕГО КОСМОСА — любой объект за пределами Солнечной системы. Обычно этот термин используется для внегалактических объектов малой поверхностной яркости.

ОБЪЕКТ ПОСЛЕДНЕЙ ГЕЛИЕВОЙ ВСПЫШКИ — звезда на поздней стадии эволюции, когда на диаграмме Герцшпрунга–Рассела она движется по нисходящей ветви остывания белого карлика. В этот период в ней происходят мощные тепловые колебания, связанные с неустойчивостью термоядерного горения гелия в слоевом источнике. В результате развиваются колебания, и гелиевая оболочка воспламеняется, что приводит к её быстрому расширению и повторному рождению планетарной туманности. Эта фаза эволюции звезды очень короткая и длится от нескольких десятилетий до нескольких столетий, поэтому наблюдается очень редко. Известно всего несколько кандидатов в такие объекты, например переменные звёзды FG Стрелы (FG Sge) и V605 Орла (V605 Aqu), а также Объект Сакураи.

ОБЪЕКТИВ — основной оптический компонент телескопа (а также фотокамеры, зрительной трубы, бинокля и многих других оптических приборов), служащий для сбора света и построения изображений объектов наблюдения. Объективом телескопа-рефрактора служит комбинация линз, телескопа-рефлектора — вогнутое зеркало, в зеркально-линзовых (катадиоптрических) системах роль объектива играет комбинация линзовых и зеркальных элементов.

ОБЪЕКТИВ КЛЕРО — вариант конструкции ахроматического объектива, в котором вторая и третья поверхности линз имеют одинаковые радиусы кривизны. Равенство радиусов позволяет склеивать вместе линзы небольших объективов, что делает конструкцию более жёсткой и не подверженной разъюстировкам.

ОБЪЕКТИВ ЛИТТРОВА — ахроматический объектив конструкции австрийского астронома Йозефа Литтрова (1781–1840), в которой положительным компонентом объектива служит двояковыпуклая линза с равными радиусами кривизны поверхностей.

ОБЪЕКТИВНАЯ ПРИЗМА — тонкая стеклянная призма с небольшим углом при вершине, помещённая перед объективом астрографа и покрывающая всю площадь объектива. При этом изображения всех фотографируемых объектов малого углового размера — звёзд и далёких галактик — превращаются в их короткие спектры, которые можно использовать для массовой спектральной классификации. Такой приём позволяет получить за одну экспозицию спектры множества объектов. Но из-за низкой дисперсии качество этих спектров невысокое.

ОБЪЕКТИВНАЯ РЕШЁТКА — грубая дифракционная решётка (например, из параллельно натянутых проволочек), покрывающая всю площадь объектива телескопа. Такая решётка даёт два коротких спектра, расположенных симметрично относительно основного изображения звезды. Для использования в целях спектрофотометрии эти спектры слишком коротки, но их применяют в фотометрии для расширения эффективного динамического диапазона фотографической эмульсии, поскольку при длительной экспозиции, когда основное изображение яркой звезды уже попадает в область передержек, изображения дополнительных, более слабых спутников ещё находятся в линейной части характеристической кривой.

ОБЪЕКТЫ, СБЛИЖАЮЩИЕСЯ С ЗЕМЛЁЙ (ОСЗ, near-Earth objects, NEO), — астероиды и кометы, орбиты которых имеют перигелийное расстояние $q < 1{,}3$ а. е. По данным NASA, к маю 2012 г. был зарегистрирован 8971 такой объект, из них 91 комета, остальные — астероиды.

ОБЪЕКТЫ ТИПА BL ЩИТА (BL Lac) — см. *Лацертиды.*

ОВЕН — осенне-зимнее созвездие, лежащее к западу от Тельца. Овен (т. е. баран) — одно из наиболее известных созвездий Зодиака, хотя в нём нет звёзд ярче второй величины. Причина в том, что в античные времена именно в Овне лежала точка весеннего равноденствия, которую до сих пор отмечают знаком Овна (♈). Но в нашу эпоху Солнце входит в созвездие Овна уже не 21 марта, как раньше, а 18–19 апреля. Шумеры называли Овен «созвездием барана». Этот златорунный баран, согласно древнегреческому мифу, спас царских детей Фрикса и Геллу от их мачехи Ино. Они собирались добраться на нём до Колхиды, но Гелла утонула в водах пролива, получившего в её честь имя «Геллеспонт» (ныне Дарданеллы); Фрикс добрался до Колхиды, принёс в жертву барана, а золотое руно подарил приютившему его царю Ээту, который повесил шкуру на дереве в роще, охраняемой драконом. Именно за этим руном путешествовали аргонавты.

Три главные звезды — Гамаль («голова барана»), Шератан («след» или «знак») и Месартхим (соответственно α, β и γ Овна) легко найти: они лежат к югу от Треугольника. Звезда четвёртой величины Месартхим стала одной из первых двойных, открытых при помощи телескопа; сделал это Роберт Гук в 1664 г. Два её одинаковых белых компаньона разделены углом в 8″; их без труда можно различить в небольшой телескоп или хороший бинокль.

ОДНОКРАТНЫЙ ИСКАТЕЛЬ — искатель нулевой оптической силы (т. е. без увеличения), в котором для наведения телескопа на объект служит изображение светящейся красной точки (или концентрических окружностей) на прозрачном экране, сквозь который виден участок звёздного неба.

ОДНОРОДНОСТЬ ВСЕЛЕННОЙ — наблюдаемое однородное распределение вещества во Вселенной в масштабах, превышающих ~50 Мпк. В любой объём ~125 тыс. Мпк^3 в среднем попадает около 6000 галактик, и плотность их «размазанного» вещества всюду оказывается примерно одинаковой.

ОЗОНОВАЯ ДЫРА — разрыв озоносферы (диаметром свыше 1000 км), возникший над Антарктидой и перемещающийся в населённые районы Австралии. Озоновая дыра возникла предположительно в результате антропогенных воздействий, в том числе широкого использования в промышленности и быту хлорсодержащих хладонов (фреонов), разрушающих озоновый слой. Озоновая дыра представляет опасность для живых организмов, поскольку озоновый слой защищает поверхность Земли от чрезмерных доз ультрафиолетового излучения Солнца. Озоновую дыру обнаружил английский исследователь Дж. Фарман в 1982 г. В 1985 г. была принята Венская конвенция об охране озонового слоя, в 1987 г. — Монреальский протокол.

В 1992 г. озоновая дыра открыта также над Арктикой.

ОЗОНОСФЕРА — область атмосферы Земли на высотах от 15 до 40 км, отличающаяся повышенным содержанием озона.

ОКНА ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ — диапазоны длин волн, в пределах которых электромагнитное излучение в существенной степени проникает через атмосферу к поверхности Земли. Оптическое окно прозрачности простирается от ближнего УФ- до ближнего ИК-диапазона. Окно радиопрозрачности простирается от длины волны 10 мм до приблизительно 30 м.

ОКНО ЛЕНФИРА — оптическое окно, вмонтированное в створку или забрало купола башни телескопа и позволяющее выполнять наблюдения при закрытых створках (забрале). Окно Ленфира (Lanphier shutter) используется при наблюдениях в условиях холодного климата, когда внутренняя часть башни может быть (слегка!) подогрета, а также в жарком и влажном климате, для возможности охлаждения внутренней части башни и защиты от насекомых.

ОКНО РАДИОПРОЗРАЧНОСТИ — диапазон длин волн, в пределах которого радиоизлучение проникает сквозь атмосферу и достигает поверхности Земли; простирается от 10 мм до приблизительно 30 м. См. также: *Окна прозрачности атмосферы; Оптическое окно.*

ОКОЛОЗЕМНОЕ ПРОСТРАНСТВО — область пространства, ограниченная сферой радиусом, равным среднему расстоянию Луны от Земли.

ОКОЛОПОЛЯРНЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые в процессе суточного движения никогда не заходят за горизонт; их угловое расстояние от полюса мира не должно превышать географическую широту наблюдателя. То же, что *Незаходящие звёзды.*

ОКТАНТ — небольшое южное созвездие, введённое Н. Лакайлем. Угломерный инструмент октант — «меньший брат» секстанта, имеющий оцифрованную шкалу в $^1/_8$ окружности. А созвездие Октант — «побратим» Малой Медведицы, поскольку именно в Октанте лежит южный полюс мира (а вовсе не в Южном Кресте, как иногда думают). На старых небесных картах его можно найти под названием Отражательный Октант, ибо, как и морской секстант, он был снабжён зеркальцем. Созвездие невыразительное; оно не содержит звёзд ярче 4-й величины. Южный полюс мира располагается приблизительно между двумя его ярчайшими звёздами — β и δ, а ближайшая к полюсу звезда, удалённая от него примерно на 1° и едва различимая глазом, — σ Oct, блеск которой 5,5^m. Ярчайшая звезда в Октанте — ν Oct, двойная с орбитальным периодом всего 2,8 года, но в любительский телескоп её не разделить, ибо расстояние между компонентами всего 0,05″. Любопытно, что звезда α в этом созвездии — далеко не самая яркая, звёзды μ и π представлены в двух, а звезда γ — даже в трёх экземплярах. Вообще созвездие Октант оставляет впечатление «неухоженности».

ОКТАНТ — сектор, равный $^1/_8$ части полной окружности. Октантом называют также старинный прибор для угловых измерений на небе. Он состоял из сектора, разделённого на градусы и их доли, и двух планок с визирами для наведения на звёзды. Развитие идеи октанта привело к появлению современного секстанта.

ОКУЛЯР — оптическое устройство, состоящее из одной или нескольких линз, через которое рассматривается изображение объекта, построенное объективом телескопа. Увеличение изображения зависит от фокусных расстояний окуляра и объектива телескопа: увеличение конкретного телескопа возрастает с уменьшением фокусного расстояния окуляра. Существуют многочисленные вариан-

ты конструкции окуляров, отличающиеся степенью исправления аберраций, размерами поля зрения и величиной выноса выходного зрачка. В зависимости от качества исполнения и стоимости окуляры делят на три класса – A, B, C.

Класс C: простейшие окуляры – Долланда, Рамсдена и Гюйгенса. Имеют малое поле зрения и недостаточное исправление некоторых аберраций, в частности кривизны поля. Сравнительно недорогие, но из-за указанных недостатков не заслуживают серьёзного внимания.

Класс B: окуляры Кельнера, ортоскопический, моноцентрический, сплошной и симметричный (Плёссла). У окуляров класса B, как правило, исправлена аберрация, большее поле зрения (от 45 до 65°), и они незначительно превосходят по цене окуляры класса C. Окуляры класса B являются основными у большинства наблюдателей и пригодны практически для всех видов наблюдений.

Класс A: группа наиболее дорогих, хорошо исправленных окуляров. Включает широкоугольные окуляры Кёнига, Эрфле и Неглера, а также паноптический, сверхширокоугольный, лантановый и др. Поле зрения у окуляров этой группы может достигать 85° (поле зрения глаза около 50°).

Нет смысла приобретать дорогой короткофокусный широкоугольный окуляр, поскольку при рассматривании объекта с большим увеличением его обычно приводят в центр поля зрения; в этой ситуации окуляр класса B также способен обеспечить хорошее качество изображения. Однако длиннофокусные широкоугольные окуляры весьма полезны при поиске объектов и при наблюдении слабых протяжённых объектов с увеличениями, близкими к равнозрачковому. Окуляр с переменным фокусным расстоянием удобен для оперативного рассматривания объекта с разными увеличениями, хотя, как правило, его оптические характеристики хуже окуляра сравнимой силы с фиксированным фокусным расстоянием.

ОКУЛЯР ГЮЙГЕНСА — окуляр, состоящий из двух плоско-выпуклых линз, причём фокусное расстояние полевой линзы равно удвоенному фокусному расстоянию глазной линзы, а расстояние между линзами равно половине суммы их фокусных расстояний. Полезное поле зрения окуляра составляет около 25°, хроматическая аберрация пренебрежимо мала, но кривизна поля значительна. Фокальная плоскость окуляра находится между линзами, что усложняет размещение креста нитей. Окуляр Гюйгенса относится к простейшим окулярам (класс C).

ОКУЛЯР КЕЛЬНЕРА — окуляр, состоящий из одной плоско-выпуклой линзы и дублета. Является модификацией окуляра Рамсдена, в котором глазная плоско-выпуклая линза заменена ахроматическим дублетом (поэтому окуляр Кельнера иногда называют ахроматическим окуляром Рамсдена). Изобретен немецким оптиком Карлом Кельнером (Carl Kellner, 1826–1855). Полезное поле зрения окуляра Кельнера составляет 40–45°, при этом вынос выходного зрачка достаточно большой. У окуляра Кельнера практически отсутствует хроматическая аберрация, а кривизна поля существенно меньше по сравнению с окуляром Рамсдена.

Окуляру Кельнера отдают предпочтение многие наблюдатели, поскольку он является хорошим компромиссом между качеством и стоимостью (класс B). Однако он плохо работает с телескопами, имеющими относительное фокусное расстояние менее 6. Но существует ряд модификаций окуляра Кельнера, в которых используются особые сорта стёкол: их можно использовать при несколько меньших относительных фокусных расстояниях.

ОКУЛЯР КЁНИГА — окуляр, состоящий из толстого выпукло-вогнутого дублета и простой плоско-выпуклой линзы. Предложен немецким оптиком Альбертом Кёнигом (Albert König, 1871–1946). Является упрощённым вариантом ортоскопического окуляра Аббе. Относится к классу дорогих качественных окуляров (класс A). Окуляры этого типа обычно имеют значительное поле зрения (65°) и качество изображения, сравнимое с окулярами Эрфле.

ОКУЛЯР НЕГЛЕРА — современный окуляр класса A, состоящий из 7–8 линзовых компонентов. Полезное поле зрения достигает 82° при умеренной величине выноса выходного зрачка. Аберрации в целом исправлены хорошо. К недостаткам окуляров Неглера (Nagler) можно отнести большое количество линз, что приводит к ощутимым потерям света. Эти окуляры весьма массивны и могут быть слишком тяжелы для небольших телескопов. У окуляров типа Неглер-II лучше исправлены аберрации.

ОКУЛЯР ОРТОСКОПИЧЕСКИЙ — окуляр класса B, состоящий из ахроматического триплета и плоско-выпуклой линзы. Этот окуляр практически свободен от всех видов аберраций, имеет полезное поле зрения около 50° и вынос выходного зрачка порядка фокусного расстояния. Единственным недостатком окуляра являются внутренние отражения от поверхностей линз, дающие паразитные изображения – блики. Их влияние можно в значительной степени снизить путём нанесения на линзы просветляющего покрытия.

ОКУЛЯР ПАНОПТИЧЕСКИЙ — современный окуляр класса A (т. е. дорогой), состоящий из шести элементов, имеющий поле зрения до 68°. Вынос выходного зрачка паноптических окуляров составляет около $^2/_3$ фокусного расстояния. У этого окуляра хорошо исправлены все аберрации.

ОКУЛЯР РАМСДЕНА — окуляр класса C (т. е. довольно дешёвый), состоящий из двух плоско-выпуклых линз равного фокусного расстояния, разделённых промежутком, также равным фокусному расстоянию. Окуляр имеет полезное поле зрения около 25° и небольшой вынос выходного зрачка. У него заметны остаточная хроматическая аберрация и кривизна поля. Фокальная плоскость окуляра Рамсдена находится перед полевой линзой, поэтому в нём возможна установка креста нитей. В стандартной схеме полевая линза находится в фокусе глазной линзы, поэтому любые соринки или пыль на полевой линзе отчётливо видны. Чтобы избежать этого, на практике расстояние между линзами окуляра делают несколько меньше их фокусного расстояния.

ОКУЛЯР ЭРФЛЕ — окуляр класса A (т. е. дорогой), состоящий из двух ахроматических линз и третьей линзы, которая также может быть одиночной или ахроматической. Этот окуляр имеет значительное полезное поле зрения – от 60° до 70° – и большой вынос выходного зрачка. Главным недостатком окуляров Эрфле (Erfle) является недоисправленный астигматизм, поэтому их рекомендуется использовать с телескопами, имеющими относительное фокусное расстояние не менее 6.

ОКУЛЯР UWA — сверхширокоугольный (Ultra-Wide Angle) окуляр.

ОКУЛЯРНАЯ ПРОЕКЦИЯ — установка окуляра телескопа в положение, при котором он строит на расположенной за ним плоскости действительное изображение объекта. Окулярную проекцию часто используют для безопасного наблюдения Солнца на белом экране, а также для получения увеличенного изображения на светоприёмнике фотокамеры.

ОКУЛЯРНАЯ СЕТКА — система тонких линий в фокальной плоскости окуляра, позволяющая выполнять точные измерения координат или моментов времени при наблюдении астрономических объектов. Сетка линий формируется путём травления на поверхности оптически плоского стекла или путём натягивания тонких нитей (например, паутинок) на рамку, помещаемую в поле зрения окуляра. Расположение нитей или линий может быть самым различным – простой крест нитей (перекрестье), несколько параллельных линий, сетка, концентрические окружности и т. п.

ОКУЛЯРНЫЙ МИКРОМЕТР — прибор, устанавливаемый на окулярном конце те-

лескопа и позволяющий измерять угловой размер наблюдаемого объекта и его ориентацию относительно меридиана. По конструкции различают нитяные микрометры, микрометры со звездой сравнения, микрометры двойного изображения, звёздные интерферометры и др. Простейший из них — нитяной микрометр. У него в фокальной плоскости окуляра располагаются две параллельные нити (обычно из паутины): одна неподвижная, а вторая натянута на рамке, которая перемещается поворотом микрометрического винта. Раздвигая нити, измеряют размер объекта, например расстояние между компонентами двойной звезды. А поворачивая весь прибор вокруг оптической оси телескопа, измеряют ориентацию объекта относительно направления на полюс мира.

ОКУЛЯРНЫЙ УЗЕЛ — устройство, позволяющее устанавливать окуляр в правильное положение вблизи фокальной плоскости телескопа и обеспечивающее его перемещение вдоль оптической оси для фокусировки. Наиболее важная часть окулярного узла — фокусировочное устройство. Это может быть простая трубка или более сложная конструкция на основе резьбовой пары или кремальеры, допускающая плавное перемещение и точный отсчёт положения окуляра. Иногда окулярный узел снабжают револьверным устройством с несколькими гнёздами под окуляры для их быстрой смены путём поворота «револьвера»; в этом случае желателен набор парфокальных окуляров, позволяющий сохранять фокусировку. Большинство современных окуляров для телескопов имеют стандартный внешний размер оправы, вставляемой с малым зазором в соответствующую трубку окулярного узла: 1,25 дюйма (31,75 мм) или 2 дюйма (50,8 мм). Окуляры микроскопов выпускают с другим стандартом посадочной части оправы — 0,9 дюйма (22,9 мм). В старых инструментах, выпущенных до введения метрической системы, для перемещения окуляра применяется дюймовая резьба, имеющая шаг $^1/_{16}$ дюйма (1,59 мм) и диаметр 1,25 дюйма (31,75 мм).

ОКУЛЯРЫ ПАРФОКАЛЬНЫЕ — набор окуляров, имеющих одинаковое положение фокуса относительно корпуса. С подобным набором можно выполнять смену окуляров в процессе наблюдений без подстройки фокусировки телескопа.

ОЛЬБЕРС, Вильгельм (полное имя — Генрих Вильгельм Маттиас; Olbers, Heinrich Wilhelm Matthäus) (11.10.1758, Арберген близ Бремена, Германия, — 2.03.1840, Бремен, Германия) — немецкий астроном и врач. Изучал медицину в Гёттингенском университете. Математические и астрономические знания приобрёл самостоятельно. В 1777 г. вычислил и наблюдал солнечное затмение. В 1780 г. открыл свою первую комету; позже обнаружил ещё несколько, а открытая им в 1815 г. комета была названа его именем (периодическая комета 13P Ольберса). В 1781 г. стал практикующим врачом в Бремене, достигнув впоследствии весьма солидного положения. В верхнем этаже своего дома оборудовал обсерваторию, где начал регулярно проводить астрономические наблюдения. В 1797 г. опубликовал новый способ определения орбит комет, разработанный им за много лет до этого. В 1802 г. на основании вычислений К. Ф. Гаусса Ольберс обнаружил первый астероид (Цереру), открытый в 1801 г. Дж. Пиацци, но вскоре потерянный. Продолжая наблюдения, Ольберс в 1802 г. открыл второй астероид (Палладу), в 1807 г. — четвёртый (Весту). Он предложил гипотезу о происхождении астероидов в результате разрыва большой планеты, обращавшейся некогда между орбитами Марса и Юпитера.

В 1811 г. высказал предположение о том, что причиной появления у комет хвостов и их вытягивание в сторону от Солнца служит отталкивающая сила самого Солнца, которая, возможно, имеет электрическую природу. В 1832 г. предсказал по своим наблюдениям и расчётам, что Земля пройдёт через хвост кометы Биелы. Это известие вызвало большое волнение в Европе, однако никаких заметных эффектов этот пролёт не вызвал. В 1833 г. наблюдался великолепный «звёздный дождь» с радиантом в созвездии Льва. Подобное явление наблюдал и А. Гумбольдт во время путешествия по Южной Америке в 1799 г. Поэтому в 1837 г. Ольберс предположил, что это явление имеет периодический характер и связано с движущимся по орбите плотным роем космических частиц. Он предсказал, что через 34 года звёздный дождь Леониды должен повториться, и это действительно случилось.

Ольберс был членом Лондонского королевского общества (1804) и Парижской АН (1810). См. также *Фотометрический парадокс Ольберса.*

ООРТ, Ян Хендрик (Oort, Jan Hendrik) (28.04.1900, Франекер, Голландия, — 5.11.1992, Лейден) — голландский астроном, член Нидерландской АН, президент Международного астрономического союза (1958–1961 гг.). Окончил Гронингенский университет, где обучался у Я. К. Каптейна. С 1924 по 1970 гг. работал в Лейденской обсерватории, с 1945 г. — её директор; в 1926–1970 гг. преподавал в Лейденском университете, с 1945 г. — профессор.

Основные работы посвящены исследованию строения и динамики Галактики и вопросам космогонии. В 1927 г. на основе статистического изучения лучевых скоростей и собственных движений



Ян Оорт

звёзд обосновал гипотезу Б. Линдблада о вращении Галактики вокруг её центра. Показал, что Галактика вращается не как твёрдое тело: внутренние её части вращаются быстрее, угловая скорость уменьшается с расстоянием от центра. Определил величину эффекта дифференциального вращения (постоянная Оорта), скорость галактического вращения (220 км/с в окрестности Солнца) и период вращения (220 млн лет в окрестности Солнца). Работы Оорта положили начало изучению динамики Галактики.

Детально рассмотрел роль диффузного вещества в кинематической и динамической картине Галактики. В 1932 г. впервые оценил плотность диффузного межзвёздного вещества с помощью z-компоненты скоростей звёзд (перпендикулярной плоскости Галактики) и нашёл её предел: $3 \cdot 10^{-24}$ г/см^3. В 1938 г. показал, что большая часть поглощающего вещества в Галактике сосредоточена в слое толщиной по 200 пк с обеих сторон галактической плоскости; показал также, что звёздная плотность растёт в направлении к галактическому центру и что Солнце расположено в области пониженной звёздной плотности.

После 1945 г. Оорт стал одним из пионеров изучения Галактики радиоастрономическими методами — участвовал в установлении крупномасштабной структуры, в исследованиях облаков межзвёздного газа. Он во многом содействовал развитию радиоастрономии на европейском континенте: способствовал сооружению радиотелескопа в Вестерборке, а также Южной европейской обсерватории.

Оорт — автор теории протяжённой области на периферии Солнечной системы, которая служит источником наблюдаемых комет. Это облако Оорта простирается до расстояния 150 тыс. а. е. от Солнца, и кометы большую часть времени находятся вдали от Солнца, потому они невидимы. Под влиянием возмущающего действия ближайших звёзд скорости отдельных комет могут меняться настолько, что последние попадают в окрестности Солн-

ца и становятся видимыми; здесь они в результате планетных возмущений меняют свои орбиты и могут становиться периодическими.

Совместно с Л. Спитцером предложил механизм образования протозвёзд в межзвёздных облаках (сжатие газа под действием давления излучения ранее образовавшихся горячих звёзд). Совместно с Х. ван де Хюлстом разработал теорию образования межзвёздных пылевых частиц путём аккреции межзвёздного газа. Обнаружил, что излучение Крабовидной туманности поляризовано и имеет синхротронную природу.

ОППОЗИЦИЯ – то же, что *Противостояние*.

ОПРАВА ЗЕРКАЛА – часть телескопа, предназначенная для удержания зеркала и его закрепления в трубе (монтировке) телескопа. В правильно сконструированной оправе зеркало не испытывает деформирующих нагрузок и сохраняет положение относительно трубы при изменении ориентации телескопа. Для зеркал небольших телескопов обычно достаточно простой оправы с разгрузочной системой на трёх точках опоры. Для зеркал крупных телескопов применяются более сложные конструкции оправ и разгрузочных систем, позволяющие исключить деформации поверхности под влиянием собственного веса. Правильная форма тонких сплошных зеркал крупных современных телескопов поддерживается путём приложения управляемых нагрузок через систему многочисленных актюаторов.

ОПТИКА – общее название любых оптических компонентов и их систем, например линзы, зеркала и т. п., а также наука, описывающая прохождение света через оптические системы.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ – использование в антенне радиотелескопа рупорного облучателя, пропускающего только главный лепесток диаграммы направленности. Хотя такой облучатель немного снижает общую чувствительность и угловое разрешение инструмента, но его применение позволяет подавить шумовой вклад от боковых лепестков. Оптимизация диаграммы направленности радиоантенны аналогична процедуре аподизации объектива оптического телескопа.

ОПТИЧЕСКАЯ ГЛУБИНА – то же, что *Оптическая толща*.

ОПТИЧЕСКАЯ ДВОЙНАЯ – две звезды, случайно расположенные на небе рядом друг с другом, не имеющие между собой физической связи и находящиеся на разном расстоянии от нас.

ОПТИЧЕСКАЯ МОЩЬ ТЕЛЕСКОПА – выигрыш, который даёт телескоп при наблюдении небесных объектов по сравнению с невооружённым глазом. Обычно выражается в звёздных величинах: если в телескоп видны звёзды до 14^m, а без телескопа – до 6^m, то оптическая мощь этого телескопа составляет 8^m. Для небольших телескопов оптическую мощь можно оценить как $5\lg(D/d)$, где D – диаметр объектива телескопа, d – диаметр зрачка глаза (ночью около 6 мм).

ОПТИЧЕСКАЯ ОСЬ – прямая линия, проходящая через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзы или зеркала оптической системы. Как правило, является главной осью симметрии центрированной оптической системы. Наилучшее качество изображений обычно наблюдается на оптической оси и вблизи неё.

ОПТИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ – преобразование Фурье от функции рассеяния точки (аппаратной функции) системы. Модуль оптической передаточной функции есть частотно-контрастная характеристика.

ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОСКОСТЬ – зеркальная поверхность, уклоняющаяся от идеальной плоскости не более чем на $^1/_8$ рабочей длины волны. Оптически плоское зеркало используется, например, как вторичное зеркало в телескопах системы Ньютона.

ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ – характеристика, применяемая для описания оптических фильтров и изображений на фотографической эмульсии; часто обозначается как D или A. Обычно показывает уменьшение интенсивности излучения, прошедшего через фильтр, в виде степени 10, т. е. оптическая плотность – это десятичный логарифм непрозрачности, взятый с обратным знаком: $A=\lg(I_0/I)$, где I_0 – интенсивность падающего (входящего в фильтр) потока, а I – интенсивность прошедшего (выходящего из фильтра) потока. Однако желательно каждый раз уточнять определение оптической плотности, поскольку в некоторых областях оптики (например, в лазерной спектроскопии) для её выражения используется не десятичный, а натуральный логарифм: $A=\ln(I_0/I)$. Кроме того, необходимо учитывать, что численное значение оптической плотности среды может существенно меняться в зависимости от спектрального диапазона. Поэтому при указании оптической плотности необходимо указывать и диапазон спектра, в котором она измерена.

Для характеристики светофильтров в фотографии и защитных фильтров в масках сварщиков часто используется кратность фильтра (shade number), равная $(7/3)A+1$. Однако нередко кратностью светофильтра фотографы называют само отношение I_0/I, которое показывает, во сколько раз выдержка при съёмке с данным светофильтром должна быть увеличена против выдержки без фильтра (разумеется, в линейной области чувствительности фотоматериала и для определённого типа эмульсии с учётом цвета фильтра). Обычно именно это число со знаком кратности указывается на оправе светофильтра (например, 1,4× или 2×). Если фильтр «серый», то он в одинаковое число раз ослабляет поток во всех диапазонах спектра. Учитывая отмеченные выше неоднозначности, желательно в каждом случае выяснять точное определение терминов «оптическая плотность» и «кратность светофильтра».

ОПТИЧЕСКАЯ СИЛА – величина, обратная фокусному расстоянию линзы, выраженному в метрах. Измеряется в диоптриях (дп, D). Например, оптическая сила положительной линзы с фокусным расстоянием 0,5 м равна 2 дп. Оптическую силу удобно использовать при рассмотрении оптических систем из нескольких компонентов, расположенных близко друг к другу. Общая оптическая сила такой системы является алгебраической суммой оптических сил её компонентов. Изредка понятие «оптическая сила» применяют и к зеркалам.

ОПТИЧЕСКАЯ ТОЛЩА (или **оптическая толщина**) – безразмерная величина, характеризующая степень непрозрачности среды для проходящего сквозь неё излучения. Обозначается символом τ и определяется как $\tau=-\ln(\text{непрозрачность})$. Иными словами, если оптическая толща среды $\tau=1$, проходящее сквозь неё излучение ослабляется в $e=2{,}718...$ раза. В общем случае ослабление происходит в e^τ раз. Среду называют оптически тонкой при $\tau\ll 1$ и оптически толстой при $\tau>1$. Видимой поверхности полупрозрачных объектов, например солнечной фотосферы, соответствует оптическая толща $\tau=1$–2.

Обычно оптическая толща определяется по отношению к конкретному процессу взаимодействия излучения с веществом (например, оптическая толща по томсоновскому рассеянию, оптическая толща по тормозному поглощению, оптическая толща по поглощению света межзвёздной пылью). В общем случае оптическая толща зависит от частоты излучения ω. Если в некоторой оптически тонкой области происходит генерация теплового излучения, то его интенсивность равна $I(\omega)=[1-e^{-\tau(\omega)}]B_\omega(T)$, где $B_\omega(T)$ – интенсивность излучения абсолютно чёрного тела. Если оптическая толща излучающей области $\tau\gg 1$, то свойства выходящего излучения определяются поверхност-

ным слоем, оптическая толща которого ≈ 1, и $I(\omega)$ близка к $B_\omega(T)$ с температурой T, характерной для этого слоя.

Частотная зависимость сечения взаимодействия излучения с веществом может иметь резонансы, обусловленные рассеянием или поглощением в линиях. Обычно оптическая толща в линии много больше, чем в непрерывном спектре. Спектр излучения, прошедшего сквозь такую среду, имеет линии поглощения. Напротив, спектр излучения оптически тонкой среды имеет эмиссионные линии. Если оптическая толща в линии превышает 1, то интенсивность излучения в центре линии имеет порядок $B_\omega(T)$ и линия будет насыщенной. При дальнейшем увеличении оптической толщи интенсивность в центре линии не меняется, а её ширина возрастает (см. *Кривая роста*). Если оптически толстая среда имеет температуру, уменьшающуюся к поверхности, то излучение на частотах спектральных линий выходит из более холодной области. В этом случае в спектре выходящего излучения должны наблюдаться линии поглощения.

ОПТИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН – область спектра электромагнитного излучения, охватывающая ближний инфракрасный, видимый и ближний ультрафиолетовый диапазоны. Длина волны излучения оптического диапазона лежит в пределах от 300 нм до примерно 5 мкм. Для наблюдений в оптическом диапазоне используется такое же (или близкое по конструкции) оборудование, как и в видимом диапазоне спектра, – телескопы, оптические системы, детекторы и т. п.

ОПТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП – астрономический телескоп, работающий в видимом, ближнем инфракрасном или ближнем ультрафиолетовом диапазонах электромагнитного спектра. Основными типами оптических телескопов являются рефракторы, рефлекторы и катадиоптрические системы. Они различаются типом используемых оптических элементов: это могут быть линзы (см. *Рефрактор*), зеркала (см. *Рефлектор*) или то и другое (см. *Катадиоптрический телескоп* и *Зеркально-линзовый телескоп*). Чрезвычайно широк диапазон специализации телескопов: визуальные, фотографические, солнечные, обзорные (широкоугольные), длиннофокусные, спектральные, спутниковые камеры, меридианные инструменты, телескопы-роботы и т. п.

Отдельную группу представляют телескопы большого диаметра, в которых воплощаются наиболее прогрессивные технические достижения своего времени и благодаря которым обычно происходят самые громкие открытия в астрономии. Наблюдения галактик, квазаров, нестационарных звёзд и звездоподобных объектов достигли такой стадии, когда получение нового высококачественного научного материала возможно только с я наиболее крупных оптических телескопов-рефлекторов с диаметром зеркала свыше 4–6 м. Проницающая сила таких телескопов достигает $25–28^m$ при прямом фотографировании и $20–22^m$ при получении спектров. Для получения столь высокой и ещё большей проницающей силы должно быть найдено место с оптимальным астроклиматом установки телескопа, создан необходимый тепловой режим башни телескопа, рассчитана и изготовлена его точная оптика и механика, разработана навесная аппаратура (спектрографы, фотометры, поляриметры и т. д.) и светоприёмники, а также аппаратура для анализа данных наблюдений. Все эти задачи настолько тесно связаны между собой, что неудовлетворительное решение одной из них может свести на нет все труды по созданию высокоэффективного оптического телескопа.

Эффективность телескопа определяется предельной звёздной величиной, достижимой с данным оптическим комплексом:

$$m_{\text{lim}} = 2{,}5 \lg \left[\frac{D}{\beta} \sqrt{\frac{Kt}{s}} \right] + \text{const}, \qquad (1)$$

где D – диаметр главного зеркала телескопа, β – угловой диаметр изображения звезды, K – квантовый выход, равный отношению зарегистрированных фотонов к числу пришедших на приёмник излучения, t – время экспозиции, s – яркость фона ночного неба.

Оптика телескопа

При создании оптического телескопа наиболее сложной и длительной операцией является изготовление оптической поверхности главного зеркала, так как отклонение её от теоретически рассчитанной формы не должно по амплитуде превышать $^1/_8$ рабочей длины волны (критерий Рэлея). Для расчёта оптической схемы необходимо задать светосилу инструмента (отношение диаметра телескопа D к его фокусному расстоянию F). Светосила должна быть такой, чтобы при проектируемых приёмниках изображения фон от ночного неба выявлялся на приёмнике за 2 часа. Увеличение времени экспозиции свыше 2 часов для рядовых экспериментов связано с неоправданными техническими трудностями. Уменьшение экспозиции, согласно формуле (1), ведёт к потере информации. Наилучшим образом этим условиям удовлетворяет светосила основного фокуса Ричи–Кретьена 1:8. Кроме наблюдений в основном фокусе со светосилой 1:8, на всех крупных телескопах можно производить наблюдения в прямом фокусе со светосилой 1:3 и в фокусе куде со светосилой 1:30–1:45.

Размер поля зрения инструмента определяется его назначением. До последнего времени большое поле зрения требовалось в основном только для поисковых программ. Примером такой программы может служить составление «Паломарского атласа звёздного неба» по фотографиям, полученным на 1,2-метровом телескопе системы Шмидта. При детальном исследовании индивидуальных объектов используют небольшое поле зрения около оптической оси телескопа. Однако современные фотометры и спектрографы имеют столь высокую чувствительность, что способны зарегистрировать объект, который не наблюдается визуально в данный телескоп. Контроль за наведением телескопа на такие объекты можно осуществлять лишь по двум (или более) ярким звёздам, расположенным на значительном расстоянии от оптической оси телескопа, для чего и необходимо большое поле зрения. Наилучшим образом этому требованию отвечает оптическая схема Ричи–Кретьена, которая соединяет в себе достоинства классической схемы Кассегрена (хорошие изображения на оси для фотометрии и спектроскопии одиночных объектов) и камеры Шмидта (большое поле зрения для получения прямых фотографий неба).

Расчёт оптической схемы для каждого телескопа производится с помощью специальных компьютерных программ трассировки лучей. Согласно расчётам, в прямом фокусе поле зрения может иметь угловой размер 0,3–1,0°, в фокусе Ричи–Кретьена угловой размер 1–3°, а линейный – от 30 до 50 см, что прежде соответствовало самым большим астрономическим фотопластинкам, а теперь – крупнейшим мозаикам ПЗС-матриц. На краю поля зрения расчётный диаметр изображения не превышает 0,5″. Фокус куде предназначен для работы с одиночными объектами, и размер поля в нём равен нескольким угловым минутам.

Расчётное изображение во всех фокусах на оси делается меньше теоретического предела, определяемого дифракцией. Диаметр центрального максимума дифракционного изображения звезды теоретически равен

$$\beta = 2{,}44\lambda/D \text{ (радиан)}, \qquad (2)$$

где λ – рабочая длина волны. В кружке такого диаметра зеркало с идеальной поверхностью собирает 84% света от звезды. Реальные зеркала из-за отклонений от теоретически рассчитанной формы поверхности хуже концентрируют свет. Так, главное зеркало 3,6-метрового телескопа системы Ричи–Кретьена Европейской южной обсерватории в Чили собирает 60% света в кружке диаметром 0,1″, что примерно вдвое ниже теоретического предела, определяемого формулой (2).

Механика телескопа

Высокая точность оптических поверхностей предъявляет столь же высокие тре-

бования к точности механики современного телескопа. Большое зеркало не обладает достаточной жёсткостью и прогибается под действием собственного веса. Эти деформации компенсируются системой разгрузки, устанавливаемой в оправе зеркала. В результате зеркало как бы плавает в оправе, и его отражающая поверхность сохраняет свою форму с требуемой точностью при всех положениях инструмента (см. *Активная оптика*).

Оптические оси главного и вторичного зеркал телескопа не должны смещаться друг относительно друга на величину более 0,1 мм. Изготовить жёсткую трубу, изгибающуюся не более чем на 0,1 мм при весе главного зеркала в несколько десятков тонн, в принципе невозможно. Влияние деформаций устраняют при помощи специальной фермы, закреплённой в центре тяжести. Длинный конец её несёт лёгкое вторичное зеркало, а короткий – тяжёлое главное. Жёсткость фермы рассчитывается так, что оба конца трубы прогибаются на одинаковую величину и взаимное положение зеркал не меняется.

Оптические телескопы с зеркалами диаметром 4–5 м имеют симметричную полярную монтировку: слежение за небесным объектом (компенсация суточного движения объекта) осуществляется вращением телескопа вокруг оси, направленной в полюс мира. Однако для более крупных телескопов, диаметром 6 м и более, выгодно делать альт-азимутальную монтировку, одна из осей которой вертикальна, а другая горизонтальна. В такой монтировке слежение за звездой требует вращения инструмента вокруг двух осей одновременно с переменной скоростью.

Механические оси телескопа закреплены в масляных подшипниках. Масляная плёнка толщиной ≈100 мкм резко снижает трение, и труба телескопа, как и вся конструкция (монтировка) в целом, легко поворачивается. Например, 530-тонный 5-метровый рефлектор Паломарской обсерватории (США) без особых усилий поворачивают рукой, а слежение за звёздами осуществляется маломощным двигателем (60 Вт).

Башня телескопа

Современные достижения в расчётах и изготовлении оптических телескопов позволяют создавать инструменты с разрешением (в цеховых условиях) ≈0,1″. Но добиться столь же высокого разрешения в реальных условиях наблюдений мешают два фактора: астроклимат места установки и башня телескопа (см. *Астроклимат*). Башня из-за неравномерного нагрева или остывания в течение ночи создаёт температурные неоднородности воздуха, а следовательно, и неоднородности его показателя преломления на луче зрения. Эти неоднородности приводят к размытию изображения звезды в фокальной плоскости телескопа: диаметр изображения может увеличиться вдвое и даже в большее число раз.

Выделяют два основных источника температурных неоднородностей: 1) радиационное выхолаживание поверхности купола в течение ночи (без принятия специальных мер его температура опускается на 3–10 °С ниже температуры окружающего воздуха, что создаёт в области смотровой щели значительные оптические неоднородности); 2) нагрев воздуха в башне работающей аппаратурой управления (нагреваемый воздух поднимается вверх и, выходя через смотровую щель, создаёт на луче зрения оптические неоднородности).

Для предотвращения выхолаживания купола его делают двойным, между оболочками располагают систему подогрева, которая поддерживает температуру наружной оболочки купола на уровне температуры окружающего воздуха. Днём при закрытом куполе эта же система выполняет прямо противоположную функцию. Она отводит теплоту от наружной поверхности купола, препятствуя проникновению тепловых потоков внутрь купола и сохраняя в подкупольном пространстве температуру ночного воздуха. Поддержание постоянной температуры в башне исключает термические деформации оптики и механики телескопа. Отвод тепла от различных приборов, находящихся в башне, осуществляется мощной системой вентиляции, которая засасывает воздух извне через открытую щель купола и по вентиляционному каналу, проходящему через всю башню сверху вниз, выбрасывает тёплый воздух на расстоянии 50–100 м от башни.

Перспективы развития оптических телескопов

Комплексное решение задач конструирования, размещения и эксплуатации оптического телескопа может дать суммарный выигрыш в проницающей силе в $2–3^m$. Этот подход к проблеме повышения эффективности телескопа наиболее экономичен.

Повышение эффективности оптического телескопа за счёт увеличения диаметра зеркала телескопа связано с крупными капиталовложениями и техническими трудностями. Однако для исследования светового потока от слабого космического объекта за строго ограниченное время такой телескоп будет иметь преимущества даже перед космическим телескопом с не очень большой собирающей площадью.

Наблюдается существенный прогресс в разработке следующего поколения оптических телескопов с эффективной площадью зеркал ≈500 м^2, что эквивалентно одиночному телескопу с диаметром зеркала 25 м. Зеркало такого телескопа нельзя сделать монолитным диском. Согласно одному из проектов, главное зеркало должно состоять из множества (до 500) зеркал меньшего диаметра, установленных в единой оправе на альт-азимутальной монтировке (см. *Сегментированное зеркало*). В другом проекте 6 труб телескопов диаметром 4–10 м устанавливаются на единой монтировке с общим фокусом куде. Прототипом такого многозеркального инструента был телескоп MMT (Multy Mirror Telescope) на горе Хопкинс (США), имевший 6 телескопов диаметром 1,8 м с общим фокусом. С 2008 г. действует телескоп LBT (Large Binocular Telescope) на горе Грэхем в Аризоне (США), имеющий на одной монтировке два монолитных главных зеркала диаметром 8,4 м каждое (см. *Большой бинокулярный телескоп*). На Южной европейской обсерватории в Чили начинается строительство 40-метрового телескопа E-ELT (European Extremely Large Telescope) с сегментированным зеркалом площадью около 1000 м^2.

С появлением радиоинтерферометров со сверхдлинной базой угловое разрешение в радиодиапазоне стало на два порядка выше разрешения в оптическом диапазоне. В связи с развитием электроники и техники регистрации света, а также прогрессом в исследовании атмосферной турбулентности появилась возможность создания оптических интерферометров с базой от 100 м до 1 км и разрешением 0,001–0,0001″. Уже действуют такие интерферометры на основе телескопов VLT (см. *Очень большой телескоп*) и «Кек» с базой около 200 м, доказывая возможность реализации проекта крупного наземного интерферометра (см. *Интерферометр*).

В конце XX в. получили развитие адаптивные оптические системы, позволяющие исправлять деформации волнового фронта, возникающие на пути от источника до телескопа (главным образом в атмосфере). Теоретически адаптивная оптика может довести разрешение оптического телескопа до предельно возможного (т. е. разрешения, обусловленного дифракцией света в объективе). Частично эта задача уже решена на некоторых крупнейших телескопах, но только для ярких звёзд и только при их наблюдении в ближнем ИК-диапазоне. Но если ограничить задачу только компенсацией наклонов волнового фронта, то можно примерно вдвое улучшить разрешение оптического и при наблюдении слабых звёзд. Такие адаптивные системы сравнительно легко реализуются даже на малых инструментах. (См. *Адаптивная оптика*.)

Чрезвычайно эффективными показали себя космические оптические телескопы. Кроме очевидных преимуществ, таких как широкий спектральный диапазон и высокая чёткость изображения в большом поле зрения, они демонстрируют также очень высокую точность астро-

метрических и фотометрических измерений (см. *Космические обсерватории*). В некоторых случаях эти преимущества оказываются решающими, несмотря на высокую стоимость космических телескопов.

ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР – оптический прибор, в котором создаются условия для интерференции лучей света, пришедших разными путями от одного источника. См. *Интерферометр*.

ОПТИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ – компонент оптической системы, изменяющий характер распространения излучения; например, линза, зеркало, призма, дифракционная решётка и т. п.

ОПТИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО – настолько высокое качество изготовления оптического элемента, что чёткость создаваемого им изображения ограничена лишь явлением дифракции, связанным с волновой природой света.

ОПТИЧЕСКОЕ ОКНО – 1. Диапазон длин волн электромагнитного излучения, в котором атмосфера Земли практически прозрачна. Оптическое окно прозрачности простирается от 300 нм до приблизительно 2 мкм с дальнейшим рядом узких окон в инфракрасном диапазоне (между полосами поглощения молекул). См. также *Окна прозрачности атмосферы*, *Окно радиопрозрачности*.

2. Окно из стекла или другого оптически прозрачного материала, обе поверхности которого являются плоскостями с точностью до 1/8 рабочей длины волны и параллельны друг другу. Подобные окна используют для закрывания (герметизации) входной апертуры инструмента. См. также *Окно Ленфира*.

ОПЫТ МАЙКЕЛЬСОНА—МОРЛИ – физический опыт, впервые выполненный в 1888 г. Альбертом А. Майкельсоном и Эдвардом У. Морли и показавший, что в мировом пространстве нет «светоносного эфира», служащего средой, в которой распространяются электромагнитные колебания и относительно которого движется Земля.

ОРБИТА (*лат. orbis* – круг, *orbitus* – круговой) – траектория небесного тела в пространстве. Термин остался с античных времен, когда пути небесных тел выводили из движений по окружностям. Хотя в буквальном смысле орбитой можно называть траекторию любого тела, обычно имеют в виду относительное движение взаимодействующих между собой тел: например, орбиты планет вокруг Солнца, спутников вокруг планеты или звёзд в сложной звёздной системе относительно общего центра массы. Искусственный спутник «выходит на орбиту», когда начинает двигаться по циклической траектории вокруг Земли или Солнца. Термин «орбита» используется также в атомной физике при описании электронных конфигураций.

Различают абсолютные и относительные орбиты. Абсолютной орбитой называют путь тела в системе отсчёта, которую в каком-то смысле можно считать универсальной, уникальной и потому абсолютной. Такой системой считают Вселенную в большом масштабе, взятую как целое, и называют её «инерциальной системой». Относительной орбитой называют путь тела в такой системе отсчёта, которая сама движется по абсолютной орбите (по искривлённой траектории с переменной скоростью). Например, у орбиты искусственного спутника обычно указывают размер, форму и ориентацию относительно Земли. В первом приближении это эллипс, в фокусе которого находится Земля, а плоскость неподвижна относительно звёзд. Понятно, что это относительная орбита, поскольку она определена по отношению к Земле, которая сама движется вокруг Солнца. Удалённый наблюдатель скажет, что спутник движется относительно звёзд по сложной винтовой траектории; это его абсолютная орбита. Таким образом, форма орбиты зависит от движения системы отсчёта наблюдателя.

Необходимость различать абсолютную и относительную орбиты возникает потому, что законы Ньютона верны только в инерциальной системе отсчёта, поэтому их можно использовать только для абсолютных орбит. Однако мы всегда имеем дело с относительными орбитами небесных тел, ибо наблюдаем их движение с обращающейся вокруг Солнца и вращающейся Земли. Но если абсолютная орбита земного наблюдателя известна, то можно либо перевести все относительные орбиты в абсолютные, либо представить законы Ньютона уравнениями, верными в системе отсчёта Земли.

Абсолютную и относительную орбиты можно проиллюстрировать на примере двойной звезды. Например, Сириус, представляющийся невооружённому глазу как одиночная звезда, при наблюдении с большим телескопом оказывается парой звёзд – Сириус А и Сириус В. Путь каждой из них можно проследить отдельно по отношению к соседним звёздам (принимая во внимание, что и сами они движутся). Наблюдения показали, что две звезды Сириуса не только обращаются одна вокруг другой, но и перемещаются в пространстве так, что между ними всегда есть точка, движущаяся по прямой линии с постоянной скоростью. Эту точку называют центром массы системы. Практически с ней связана инерциальная система отсчёта, а траектории звёзд относительно неё представляют их абсолютные орбиты. Чем дальше отходит звезда от центра массы, тем она легче. Знание абсолютных орбит позволило астрономам вычислить по отдельности массы Сириуса А и Сириуса В.

Если же измерять положение Сириуса В относительно Сириуса А, то получим относительную орбиту. Расстояние между этими двумя звёздами всегда равно сумме их расстояний от центра масс, поэтому относительная орбита имеет ту же форму, что и абсолютные, а по размеру равна их сумме. Зная размер относительной орбиты и период обращения, можно вычислить лишь суммарную массу звёзд, используя третий закон Кеплера.

Более сложный пример представляет движение Земли, Луны и Солнца. Каждое из этих тел движется по своей абсолютной орбите относительно общего центра масс, который лежит внутри Земли, на 1700 км ниже её поверхности. Но поскольку Солнце значительно превосходит эти тела по массе, принято изображать Луну и Землю в виде пары, центр масс которой движется по относительной эллиптической орбите вокруг Солнца. Однако в первом приближении эта относительная орбита весьма близка к абсолютной. Отношение масс Земли и Луны составляет 81,3007. Зная их суммарную массу, найденную по параметрам относительной орбиты, легко можно найти и массу каждого из тел.

Абсолютные орбиты Земли и Луны уникальны в одном отношении: обе они всегда вогнуты в сторону Солнца. Причина в том, что притяжение Луны к Солнцу всегда больше, чем к Земле. Все прочие планеты притягивают свои спутники сильнее, чем это делает Солнце.

Говоря об относительном движении, мы можем произвольно выбирать точку отсчёта: относительная орбита Земли вокруг Солнца в точности такова, как относительная орбита Солнца вокруг Земли. Проекцию этой орбиты на небесную сферу называют «эклиптикой». В течение года Солнце передвигается по эклиптике приблизительно на 1° в сутки, а если смотреть от Солнца, то так же точно движется Земля. Плоскость эклиптики – это плоскость земной орбиты. Она наклонена к плоскости небесного экватора на 23°26′, т. е. таков угол между земным экватором и её орбитальной плоскостью. Все орбиты в Солнечной системе указывают относительно плоскости эклиптики.

Орбиты Луны и планет. Покажем, как описывается орбита, на примере Луны. Это относительная орбита, плоскость которой наклонена примерно на 5° к эклиптике. Этот угол называют «наклонением» лунной орбиты. Плоскость лунной орбиты пересекает эклиптику по «линии узлов». Продолженная до пересечения с небесной сферой, эта линия указы-

вает две диаметрально противоположные точки — «узлы» лунной орбиты. Наблюдая из центра Земли, мы видим, что Луна пересекает эклиптику именно в этих точках. Ту из них, где Луна проходит с юга на север, называют «восходящим узлом», а другую — «нисходящим узлом».

Если бы Земля и Луна были изолированы от гравитационного влияния других тел, узлы лунной орбиты всегда имели бы неизменное положение на небе. Но из-за влияния Солнца на движение Луны происходит обратное движение узлов, т. е. они перемещаются по эклиптике на запад, совершая полный оборот за 18,6 года. Подобно этому, узлы орбит искусственных спутников перемещаются из-за возмущающего влияния экваториального вздутия Земли.

Земля расположена не в центре лунной орбиты, а в одном из её фокусов. Поэтому в некоторой точке орбиты Луна ближе всего к Земле; это «перигей» (q). В противоположной точке она дальше всего от Земли; это «апогей» (Q). Соответствующие термины для Солнца — «перигелий» и «афелий». Полусумму расстояний в перигее и апогее обычно называют средним расстоянием; оно равно половине наибольшего диаметра (большой оси) орбиты, поэтому его называют «большой полуосью» (a). Перигей и апогей называют «апсидами», а соединяющую их линию, — большую ось, — «линией апсид». Если бы не возмущения от Солнца и планет, линия апсид имела бы фиксированное направление в пространстве. Но из-за возмущений линия апсид лунной орбиты движется к востоку с периодом 8,85 года. То же происходит с линиями апсид искусственных спутников под влиянием экваториального вздутия Земли. У планет линии апсид (между перигелием и афелием) движутся вперед под влиянием других планет.

Размер орбиты определяется длиной большой полуоси, а её форма — величиной, называемой эксцентриситетом. Эксцентриситет лунной орбиты (e) вычисляется по формуле: $e=(Q-a)/a=(a-q)/a$. Для планет апогей и перигей в этих формулах заменяют на афелий и перигелий. Эксцентриситет круговой орбиты равен нулю; у всех эллиптических орбит он меньше 1,0; у параболической орбиты он в точности равен 1,0; у гиперболических орбит он больше 1,0.

Орбита полностью определена, если указаны её размер (среднее расстояние), форма (эксцентриситет), наклонение, положение восходящего узла и положение перигея (для Луны) или перигелия (для планет). Эти величины называют элементами орбиты. Элементы орбиты искусственного спутника задаются так же, как для Луны, но обычно по отношению не к эклиптике, а к плоскости земного экватора.

Луна обращается вокруг Земли за время, называемое «сидерическим периодом» (27,32 сут); по истечении его она возвращается на исходное место относительно звёзд; это её истинный орбитальный период. Но за это время Солнце перемещается по эклиптике, и Луне требуется ещё двое суток, чтобы оказаться в исходной фазе, т. е. в прежнем положении относительно Солнца. Этот промежуток времени называют синодическим периодом Луны (около 29,5 сут). Так же и планеты обращаются вокруг Солнца за сидерический период, а проходят полный цикл конфигураций — от «вечерней звезды» до «утренней звезды» и обратно — за синодический период.

Орбитальная скорость. Среднее расстояние спутника от главного компонента (точнее, большая полуось его орбиты) определяется его скоростью на некотором фиксированном расстоянии. Например, Земля обращается по почти круговой орбите на расстоянии 1 а. е. от Солнца со скоростью 29,8 км/с; любое другое тело, имеющее на этом же расстоянии такую же скорость, будет также двигаться по орбите со средним расстоянием от Солнца 1 а. е., независимо от формы этой орбиты и направления движения по ней. Таким образом, для тела в заданной точке размер орбиты зависит от значения скорости, а её форма — от направления скорости. Это имеет непосредственное отношение к орбитам искусственных спутников. Чтобы вывести спутник на заданную орбиту, необходимо доставить его на определённую высоту над Землёй и сообщить ему определённую скорость в определённом направлении, причём сделать это нужно с высокой точностью. Например, если требуется, чтобы орбита проходила на высоте 320 км и не отклонялась от неё более чем на 30 км, то на высоте 310–330 км скорость спутника не должна отличаться от расчётной (7,72 км/с) более чем на 5 м/с, а направление скорости должно быть параллельно земной поверхности с точностью 0,08°.

Это имеет отношение и к кометам. Обычно они движутся по очень вытянутым орбитам, эксцентриситеты которых нередко достигают 0,99. И хотя их средние расстояния и орбитальные периоды очень велики, в перигелии они могут приближаться к большим планетам, например к Юпитеру. В зависимости от направления, с которого комета подлетает к Юпитеру, он может своим притяжением либо увеличить, либо уменьшить её скорость. Если скорость уменьшится, комета перейдёт на орбиту меньшего размера; в этом случае говорят, что она «захвачена» планетой. Все кометы с периодами менее нескольких миллионов лет, вероятно, были захвачены именно таким образом.

Если же скорость кометы относительно Солнца увеличится, то и орбита её вырастет, причём с приближением скорости к определённому пределу рост орбиты стремительно ускоряется. На расстоянии 1 а. е. от Солнца эта предельная скорость равна 42 км/с. С большей скоростью тело движется по гиперболической орбите и никогда уже не возвращается к перигелию. Поэтому данную предельную скорость называют «скоростью убегания» с земной орбиты. Ближе к Солнцу скорость убегания выше, а вдали от Солнца — меньше.

Если комета приближается к Юпитеру с большого расстояния, её скорость близка к скорости убегания. Поэтому, пролетая вблизи Юпитера, комете достаточно лишь немного увеличить свою скорость, чтобы превысить предел и никогда больше не вернуться в окрестности Солнца. Такие кометы называют «выброшенными».

Понятие о скорости убегания очень важно. Нередко её называют также скоростью ухода или ускользания, а также параболической или второй космической скоростью. Последний термин применяют в космонавтике, когда речь идёт о запусках к другим планетам. Как уже было сказано, для движения спутника по низкой круговой околоземной орбите ему нужно сообщить скорость около 8 км/с, которую называют «первой космической». (Точнее, если бы не мешала атмосфера, то у самой поверхности Земли она была бы равна 7,9 км/с.) С увеличением скорости спутника у земной поверхности его орбита становится всё более вытянутой: её большая полуось возрастает. Когда будет достигнута скорость убегания, аппарат покинет Землю навсегда.

Рассчитать эту критическую скорость довольно просто. Вблизи Земли кинетическая энергия тела ($mV^2/2$) должна быть равна работе силы тяжести при перемещении тела с поверхности Земли «на бесконечность», т. е. очень далеко. Поскольку притяжение быстро убывает с высотой (обратно пропорционально квадрату расстояния), то можно ограничиться работой постоянной силы тяжести на расстоянии радиуса Земли: $mV^2/2=mgR$. Из этого уравнения найдём скорость: $V=(2gR)^{1/2}$. Заметим, что это не приближённое, а точное выражение (которое получилось случайно, но удачно).

Поскольку радиус Земли R = 6371 км, а ускорение свободного падения у поверхности Земли составляет g = 9,8 м/с^2, скорость убегания будет равна 11,2 км/с. Это минимальная скорость, которую должен иметь межпланетный аппарат.

Само Солнце вместе с окружающими его планетами и малыми телами Солнечной системы движется по своей галактической орбите. По отношению к ближайшим звёздам Солнце летит со скоростью 20 км/с в направлении точки в созвездии Геркулеса. Эту точку называют апексом солнечного движения. А в целом вся

группа ближайших звёзд, включая Солнце, обращается вокруг центра Галактики по орбите радиусом около 8 кпк со скоростью около 220 км/с и периодом около 220 млн лет. Эта орбита имеет довольно сложный вид, поскольку движение Солнца постоянно подвергается возмущению со стороны других звёзд и массивных облаков межзвёздного газа.

ОРБИТА ЗЕМЛИ – путь в пространстве, по которому Земля движется вокруг Солнца (см. *Орбита*). Проекцию орбиты Земли на небесную сферу называют эклиптикой. В плоскости эклиптики орбита Земли имеет форму, близкую к эллипсу с эксцентриситетом $e = 0{,}01671123$ и большой полуосью $a = 149\,598\,261$ км (данные 2010 г.). Под влиянием притяжения других планет параметры земной орбиты постоянно (но не сильно) изменяются. В 2010 г. значение a было чрезвычайно близко к принятому значению астрономической единицы (1 а. е. = 149 597 870 700 ± 3 м), но всё же не совпадало с ним: $a = 1{,}00000261$ а. е. Орбитальный период составляет 365,256363004 сут = 1,000017421 тропического года. Земля проходит перигелий орбиты в начале января и афелий в начале июля. Средняя скорость движения по орбите – 29,78 км/с. К плоскости экватора Солнца орбита Земли наклонена на 7,2°.

ОРБИТА СОЛНЦА – путь, про которому Солнце вместе с планетной системой движется вокруг центра Галактики. Солнце расположено на расстоянии около 8 кпк (около 26 тыс. св. лет) от центра Галактики. Орбита Солнца в целом близка к окружности. Солнце обращается вокруг галактического центра со скоростью около 220 км/с по орбите, заключённой в пределах диска Галактики. Период орбитального обращения Солнца («галактический год») около 220 млн лет.

ОРБИТАЛЬНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ – астрономические обсерватории на околоземной орбите. Пилотируемые орбитальные обсерватории обычно входят в состав орбитальных станций («Салют», «Скайлэб», «Мир» и др.). Беспилотные обсерватории работают в полуавтоматическом режиме по командам с Земли. В целом для астрономических целей предпочтительнее беспилотные обсерватории, поскольку их запуск и обслуживание обходится значительно дешевле. Например, из опыта эксплуатации российского сегмента Международной космической станции масса расходуемых материалов оценивается в 3,5 т в год на человека. В то же время крупная современная беспилотная орбитальная обсерватория (SOHO, Kepler, Spitzer и др.) имеет массу 1–2 т и способна работать многие годы, а порой десятилетия. Даже самые массивные беспилотные обсерватории, такие как «Chandra» и «Хаббл» массой 5–10 т, требуют значительно меньших затрат, чем эквивалентные по возможностям пилотируемые станции.

ОРБИТАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ – крупные космические сооружения на околоземных орбитах, рассчитанные на длительную работу экипажей космонавтов. Используются для проведения научных и технических экспериментов, невозможных в земных условиях, для развития методов внеатмосферной астрономии и для решения многочисленных прикладных задач, связанных с наблюдением Земли из космоса. Примеры: станции «Салют», «Алмаз», «Мир» (СССР), «Скайлэб» (Skylab, NASA, США), Международная космическая станция (МКС).

ОРБИТЫ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ – пути в пространстве, по которым планеты обращаются вокруг Солнца. Формы орбит больших (классических) планет близки к круговым, а ещё точнее – к эллиптическим с небольшими эксцентриситетами ($e < 0{,}10$), за исключением Меркурия, орбита которого имеет весьма заметный эксцентриситет ($e \approx 0{,}21$). Плоскости орбит больших планет близки друг к другу, соответственно – к плоскости эклиптики, за исключением Меркурия, наклонение орбитальной плоскости которого к эклиптике составляет 7°.

Орбиты планет-карликов (Плутона, Эриды, Цереры и др.) и малых тел Солнечной системы (астероидов и комет) в среднем имеют значительно большую эллиптичность и наклонение.

ОРЁЛ – красивое экваториальное созвездие в Млечном Пути, к юго-западу от Лебедя. Его легко узнать по трём ярким звёздам, расположенным почти точно вдоль прямой линии на шее, спине и левом плече «орла»: Альтаир, Таразед и Альшаин (α, γ и β Орла). Основное «тело птицы» лежит в восточной ветви Млечного Пути, а две звезды её «хвоста» лежат в западной ветви «молочной реки». Ещё 5 тысячелетий назад шумеры называли это созвездие Орлом. Греки видели в нём орла, посланного Зевсом для похищения Ганимеда, и называли его Птицей Зевса. Ярчайшее светило в Орле – белая звезда Альтаир, что по-арабски означает «летящий ястреб». При расстоянии всего 17 св. лет от Солнца Альтаир имеет в 11 раз большую светимость, чем у Солнца, и поэтому является одной из ярчайших звёзд на небе. В результате быстрого вращения, скорость которого на экваторе превышает 250 км/с, Альтаир сильно сжат вдоль полярной оси. В 7° к югу от Альтаира расположена классическая переменная звезда-цефеида η Aql, изменяющая свой блеск от 3,8 до 4,7 звёздной величины с периодом 7,2 сут. Яркие новые звёзды вспыхивали в Орле в 389 и 1918 гг. Первая из них появилась вблизи Альтаира, была яркой, как Венера, и наблюдалась три недели, а вторая, замеченная 8 июня 1918 г., достигла в максимуме блеска $-1{,}4^m$ и оказалась самой яркой новой с начала XVII в. (когда в 1604 г. вспыхнула Новая Кеплера).

ОРЕОЛ – диффузное гало, окружающее изображение яркого объекта, возникает в результате рассеяния света. На астрономических фотопластинках ореолы вокруг ярких звёзд возникают из-за рассеяния света внутри фотоэмульсии, а также из-за частичного отражения света от передней и задней поверхностей стеклянной пластинки, на которую нанесена эмульсия. Появление ореола приводит к непропорциональному увеличению размеров ярких звёзд на зарегистрированном изображении. Частично избежать этого эффекта помогает противоореольный слой, нанесённый на заднюю поверхность пластинки для поглощения света, прошедшего сквозь эмульсию и стекло.

ОРИОН – зимнее экваториальное созвездие. Многие считают его красивейшим на всём небосводе. В расположении его ярких звёзд легко угадывается фигура великого охотника Ориона, сына Посейдона. К юго-востоку от фигуры охотника сияет голубой Сириус, а к северо-западу – красный Альдебаран. Но и в самом сравнительно небольшом созвездии Орион много ярких звёзд, причем среди ярчайших есть переменные. Созвездие легко разыскать по трём великолепным бело-голубым звёздам в поясе охотника – справа Минтака (δ Ori), что по-арабски значит «пояс», в центре – Альнилам (ε Ori) – «жемчужный пояс», а слева Альнитак (ζ Ori) – «кушак». Они отстоят друг от друга на одинаковое расстояние и расположены в линию, указывающую одним концом на голубой Сириус в Большом Псе, а другим – на красный Альдебаран в Тельце.

Красный сверхгигант Бетельгейзе (α Ori), что по-арабски значит «рука близнеца», – полуправильная переменная звезда, пульсирующая с периодом около 2070 сут; при этом её блеск изменяется от 0,2 до 1,4 звёздной величины и в среднем составляет около 0,7. Её расстояние – 390 св. лет, светимость в 8400 раз больше солнечной. Бетельгейзе не напрасно называют сверхгигантом: её относительно скромная светимость обусловлена невысокой температурой поверхности (около 3000 К). Зато это одна из крупнейших среди известных астрономам звёзд: если её поместить на место Солнца, то при минимальном размере она заполнит орбиту Марса, а при максимальном достигнет орбиты Юпитера!

В отличие от холодной и красной звезды Бетельгейзе изумительный бело-голу-

бой сверхгигант Ригель, что по-арабски значит «левая нога гиганта», имеет температуру поверхности 12 тыс. К; его светимость почти в 50 тыс. раз выше солнечной. Столь мощных звёзд в Галактике очень мало, а среди доступных невооружённому глазу – лишь Денеб (в Лебеде) и Ригель.

Но Орион – не только украшение зимнего неба, но и настоящая астрономическая лаборатория, позволяющая изучать процессы рождения звёзд и планет. Ниже Пояса Ориона располагается группа звёзд и туманностей – Меч Ориона. Средняя звезда в Мече – θ Ori, известная кратная система: четыре её ярких компонента образуют маленький четырёхугольник – Трапецию Ориона; там же видны 4 более тусклые звезды. Все эти звёзды очень молоды, они недавно сформировались из межзвёздного газа в очень холодном и невидимом облаке, занимающем всю восточную часть созвездия Орион. Лишь малая часть этого гигантского облака, нагретая молодыми звёздами, видна в Мече Ориона в небольшой телескоп и даже в бинокль как зеленоватое облачко. Это самый интересный объект в созвездии – Большая туманность Ориона (M42), удалённая примерно на 1500 св. лет и имеющая диаметр 20 св. лет. Она была первой сфотографированной туманностью; сделал это американский астроном Генри Дрэпер в 1880 г. На 0,5° к югу от восточной звезды Пояса (ζ Ori) расположилась широко известная тёмная туманность Конская голова (B33), легко заметная на ярком фоне туманности IC 434.

ОРИОНИДЫ – ежегодный метеорный поток, демонстрирующий быстрые и яркие метеоры. Поток активен в период приблизительно с 17 по 26 октября каждого года. Максимальная активность наблюдается около 21 октября. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Орион, т. е. метеоры выглядят летящими со стороны созвездия Орион, из северо-восточной его части, близ границы с созвездием Близнецы (около звезды γ Близнецов). Для наблюдателя в средней полосе России после полуночи созвездие Орион в это время располагается в восточной части неба. Геоцентрическая скорость частиц потока 66 км/с; именно поэтому его метеоры очень быстрые и яркие. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности около 30. Родоначальницей потока считается периодическая комета 1P/Галлея.

ОРТОЗИЕ (J XXXV, Orthosie) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 20 568 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 602,619 сут. Эксцентриситет орбиты 0,2433. Наклонение орбиты к эклиптике 142°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск $23{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $2°19'46''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ОРТОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА – оптическая система, в которой полностью исправлены все виды аберраций.

ОРТОХРОМАТИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ – фотографическая эмульсия, спектральная чувствительность которой близка к чувствительности зрения человека.

ОСКУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ – элементы мгновенной орбиты тела, т. е. кеплеровой орбиты (эллипса, параболы или гиперболы), наилучшим образом представляющей движение тела в данный момент времени. Использование оскулирующих элементов – это удобный способ описания орбитального движения тел в двойной системе, подверженной гравитационному возмущению со стороны третьих тел. В этом случае значение каждого оскулирующего элемента является функцией времени. Если использовать мгновенные (фиксированные) значения оскулирующих элементов для прогноза движения тела, то с течением времени действительное положение тела будет постепенно отклоняться от предвычисленного.

ОСТАТКИ СВЕРХНОВЫХ – расширяющиеся газовые туманности, обязанные своим рождением взрывам сверхновых звёзд. Состоят частично из выброшенных взрывом верхних слоёв звезды, а частично – из околозвёздного (сброшенного звездой до взрыва) и межзвёздного вещества, сгребённого, уплотнённого и разогретого разлетающимися продуктами взрыва. Самый известный пример – Крабовидная туманность (M1) в созвездии Телец, остаток сверхновой 1054 г. (с. 16 цветной вкладки). Молодые остатки сверхновых расширяются со скоростями 10–20 тыс. км/с. Наталкиваясь по пути на межзвёздное вещество, сгребая и уплотняя его перед собой, сброшенная взрывом оболочка звезды тормозится.

Столкновение расширяющейся оболочки с неподвижным межзвёздным газом порождает ударную волну, в которой газ нагревается до миллионов кельвинов и становится источником рентгеновского излучения. Кроме этого, остаток сверхновой – мощный источник радиоволн, имеющих синхротронную природу: распространение ударной волны в газе приводит к появлению быстрых заряженных частиц (космических лучей), которые, двигаясь в сжатом и усиленном этой же волной межзвёздном магнитном поле, излучают в радиодиапазоне. Остатки сверхновых видны и в оптическом диапазоне: источником света служат плотные газовые конденсации – волокна, имеющие сравнительно низкую температуру ($\sim 10^4$ К). Через десятки тысяч лет расширения остаток сверхновой достигает диаметра в десятки (иногда в сотни) парсеков, постепенно остывает и смешивается с межзвёздной средой.

В Галактике обнаружено около 300 остатков вспышек сверхновых звёзд, большая их часть наблюдается пока только в радиодиапазоне. Примерно 50 остатков, находящихся не далее 4–5 кпк от Солнца, отождествлены с оптическими туманностями, свет остальных поглощается газово-пылевой средой Галактики. Многие остатки сверхновых наблюдаются в рентгеновском диапазоне. Шесть молодых остатков сверхновых наблюдаются в области «исторических» сверхновых, вспыхнувших за последнее тысячелетие в Галактике.

Самым радиоярким объектом на нашем небе, расположенным за пределами Солнечной системы, является остаток сверхновой Кассиопея А. Взрыв породившей его звезды должен был наблюдаться три века назад, однако не был замечен (впрочем, есть подозрение, что его всё же заметил как звезду 3 Cas седьмой величины Джон Флемстид 16 августа 1680 г.). Это неудивительно, учитывая большое расстояние (3,4 кпк) и малую галактическую широту (~2°) объекта, что указывает на сильное межзвёздное поглощение света. К тому же взорвавшаяся звезда была, вероятно, очень массивной, а такие звёзды в конце жизни теряют много вещества, окружая себя плотной непрозрачной оболочкой.

Самый молодой остаток G1.9+0.3 был обнаружен по его радиоизлучению в 1984 г. в окрестности центра Галактики. Затем было замечено его рентгеновское излучение, а в 2008 г. радиоастрономы окончательно подтвердили быстрое расширение остатка. Породивший его взрыв звезды должен был наблюдаться около 1868 г., но он не был замечен из-за сильного поглощения света в этом направлении (галактические координаты источника указаны в его обозначении: $l = 1{,}9°$ и $b = +0{,}3°$).

Быстро растёт число остатков сверхновых, открытых в близких галактиках: в Магеллановых Облаках уверенно идентифицировано около 60 остатков и в соседних крупных галактиках (M31, M33, M81, M101 и др.) также найдено множество остатков сверхновых. Наблюдения в оптическом, рентгеновском и радиодиапазоне не обнаруживают существенных различий в природе и эволюции этих объектов, принадлежащих разным галактикам.

В нескольких галактических остатках сверхновых обнаружены звёздные остат-

ки – пульсары (например, Крабовидная туманность, Паруса XYZ, MSH 15-52). В центре W50 и G109.1-1.0 наблюдаются двойные системы: в первом, вероятно, массивная чёрная дыра в паре с B-звездой, во втором – нейтронная звезда с маломассивным спутником. Ещё в нескольких остатках (Кассиопея A, RCW 103, 3C 58, CTB 80) найдены точечные рентгеновские источники, которые, скорее всего, обусловлены тепловым излучением горячей поверхности нейтронной звезды. В остатках сверхновых 1006 г., Тихо Браге (1572) и Кеплера (1604) компактные рентгеновские источники, не обнаружены.

По кривым блеска сверхновых и наблюдениям остатков их можно разделить на три группы.

1. Остатки сверхновых 1006 г., Тихо Браге и Кеплера образовались при вспышках сверхновых типа Ia; они характеризуются сферически-симметричной структурой выброшенной при вспышке оболочки и отсутствием звёздного остатка.

2. Крабовидная туманность (1054 г.) и 3C 58 (1181 г.) возникли при вспышках сверхновых II типа; вспышка сопровождалась образованием пульсара, поставляющего релятивистские электроны, ответственные за синхротронное излучение остатка в радио-, рентгеновском и оптическом (в Крабовидной туманности) диапазонах.

3. Кассиопея A и сходные с ней объекты: (G 292.0+1.8, N132D и G0540-69.3 в БМО; IE 0102.2-7219 в ММО, а также остаток в NGC 4449) образовались при вспышках массивных ($20–25\,M_\odot$) звёзд; они характеризуются тороидальной структурой выброса, состоящего преимущественно из кислорода и продуктов его термоядерного горения, звёздный остаток не наблюдается.

Среди молодых остатков сверхновых наиболее изучены Крабовидная туманность и Кассиопея A – ярчайший радиоисточник на небе. Связанная с Кассиопеей A оптическая туманность состоит из сотен так называемых быстрых волокон и стационарных конденсаций, разлетающихся из центра оболочки. Линейный радиус оболочки около 2,5 пк.

Собственные движения волокон составляют 0,2–0,5″ в год, лучевые скорости заключены в пределах 4000–9500 км/с. По скорости разлёта волокон и размерам туманности получается, что вспышка произошла в 1658 г. (±3 года).

Химический состав быстрых волокон резко отличается от нормального: они практически лишены водорода, обилие O, Ar, S примерно в 30 раз выше нормы. Высокие скорости и химический состав свидетельствуют о том, что быстрые волокна выброшены при вспышке. Стационарные конденсации имеют лучевые скорости в среднем около 300 км/с, их собственные движения не превышают 0,02″ в год. Химический состав близок к нормальному космическому, но содержание He повышено, отношение N/O также выше нормы. Стационарные конденсации представляют собой сгустки вещества, сброшенного звездой на поздних стадиях эволюции до вспышки, а затем сжатые и ускоренные при взаимодействии с разлетающейся оболочкой сверхновой. Полная масса всех видимых волокон и конденсаций Кассиопеи A составляет около $0{,}1\,M_\odot$. Основная масса остатка – около $10\,M_\odot$ – представляет собой горячую разреженную плазму и излучает в рентгеновском диапазоне.

Большинство галактических остатков сверхновых – старые объекты, возраст которых составляет десятки тысяч лет. Среди старых остатков наиболее детально исследованы Петля в Лебеде, IC 443, Парус X, Корма A. Эти тонковолокнистые туманности имеют линейные размеры 20–40 пк, расширяются со средней скоростью 100–300 км/с. Тонкие волокна старых остатков погружены в диффузный газ.

Спектр свечения старых остатков сверхновых свидетельствует о том, что химический состав волокон близок к нормальному космическому, температура в области ярких волокон $T_e=(1–5)\cdot10^4$ K, плотность $n\approx10^2–10^3$ частиц/см^3. Яркие волокна старых остатков представляют собой области высвечивания сжатого газа за фронтом ударной волны, распространяющейся по относительно плотным ($n\approx5–10$ см$^{-3}$), небольшим облакам межзвёздной среды.

Рентгеновское излучение старых остатков наблюдается в диапазоне энергий фотонов от 0,1 до 10 кэВ. Спектр излучения имеет тепловую природу: излучает плазма с температурой $\sim10^6–10^7$ K, нагретая ударной волной, распространяющейся со скоростью $3\cdot10^2–10^3$ км/с в разреженной ($n\approx0{,}2–0{,}5$ см$^{-3}$) межоблачной среде. Тепловая природа рентгеновской эмиссии подтверждается присутствием в спектрах линий высокоионизованных атомов Fe, Si, S, O и др.

Рентгеновские спектры Крабовидной туманности и 3C 58 имеют синхротронную природу (*см. Синхротронное излучение*). Тепловой компонент рентгеновского излучения Крабовидной туманности также обнаружен, но его мощность значительно ниже. Спектр рентгеновского излучения других молодых остатков чисто тепловой, но имеет два максимума при $T_e=(5–8)\cdot10^6$ K и $T_e\approx5\cdot10^7$ K. Такой спектр и двухоболочечная структура рентгеновских изображений остатков Тихо Браге, Кассиопея A и др. соответствуют двум компонентам излучающей плазмы: сгребённому межзвёздному газу или газу ветра предсверхновой, нагретому ударной волной, и выбросу, нагретому возвратной ударной волной.

Радиоизлучение остатков сверхновых имеет синхротронную природу. Спектр радиоизлучения старых остатков хорошо представляется законом $F_\nu\sim\nu^{-\alpha}$ со средним значением спектрального индекса $\alpha=0{,}5$ и дисперсией $\sigma(\alpha)=0{,}2$ в широком диапазоне частот (20–10^4 МГц). Ослабление потока на низких частотах у ряда остатков объясняется поглощением излучения межзвёздными облаками. У нескольких объектов, например Петли в Лебеде, обнаружен перегиб спектра в области $\nu\approx10^3$ МГц, изменение α составляет $\approx0{,}5$.

Радиоизображения старых остатков сверхновых говорят об их оболочечной структуре, синхротронная эмиссия усилена в области ярких оптических волокон. Степень линейной поляризации излучения составляет 3–10%. Радиоизлучение самых старых остатков представляет собой, по всей вероятности, излучение релятивистских частиц в межзвёздном магнитном поле, усиленном за фронтом ударной волны. Радиоисточники, отождествляемые с молодыми остатками, делятся на два класса. К первому относятся оболочечные объекты, такие как Кассиопея A, Тихо и Кеплер, характеризующиеся резкой внешней границей, низкой степенью поляризации (≈5%) и крутым радиоспектром ($\alpha\approx0{,}4–0{,}8$). Их радиоизлучение объясняется усилением магнитного поля и ускорением релятивистских частиц в конвективном слое, возникающем на границе выброшенного и нагребённого вещества. Ко второму классу относятся плерионы, т. е. остатки, подобные Крабовидной туманности. Они характеризуются аморфной структурой, повышением яркости к центру, плоским спектром ($\alpha=0–0{,}2$) и более высокой степенью поляризации (≈10–20%). Радиоизлучение плерионов связывают с активностью звёздного остатка: быстровращающаяся нейтронная звезда служит источником магнитного поля и релятивистских частиц. По мере замедления вращения нейтронной звезды яркость плерионов падает. Вероятно, они постепенно (за характерное время $5\cdot10^3–10^4$ лет) превращаются сначала в комбинированные (плерион + оболочка) радиоостатки, такие как Паруса *XYZ*, а затем в оболочечные остатки.

Поверхностная радияркость остатков сверхновых падает по мере их расширения. По объектам, расстояние до которых измерено независимым методом, построена эмпирическая зависимость радияркости Σ_ν от линейного диаметра D остатка. Эта зависимость служит для оценки расстояния до остатка по его угловому размеру и яркости. Хотя точность метода невелика, для большинства галактических остатков это единственная возможность оценки расстояния.

Для проверки зависимости $\Sigma_\nu(D)$ используются как галактические остатки сверхновых, так и объекты в Магеллановых Облаках. Особый интерес представляют крупномасштабные «петли» галактического радиоизлучения: Петля I (Северный Полярный Отрог), Петля II (Арка Кита), Петля III и Петля IV. Тот факт, что петли хорошо ложатся на эмпирическую зависимость $\Sigma_\nu(D)$, подтверждает их интерпретацию как старых остатков сверхновых в близкой околосолнечной области. Их аномально большой линейный размер объясняется тем, что вспышки, породившие петли, произошли в среде низкой плотности.

Подсчёт числа радиоостатков диаметром $D \leq 30$ пк с учётом их времени жизни в межзвёздной среде разной плотности даёт средний интервал между вспышками сверхновых в Галактике около 20–30 лет. Такую же частоту дают вспышки «исторических» сверхновых, наблюдавшихся в последнее тысячелетие на расстоянии $r \leq 5$ кпк от Солнца.

Эволюция остатка сверхновой определяется взаимодействием оболочки, выброшенной при взрыве звезды, с межзвёздной средой. Теория выделяет четыре идеализированные стадии эволюции остатка, определяемые кинетической энергией выброшенной оболочки E_0, её массой и плотностью окружающего газа ρ_0. Масса выбрасываемой при вспышке оболочки $M_0 \approx 0{,}2–2\,M_\odot$ и начальная скорость выброса $v_0 = (3–10)\cdot 10^3$ км/с соответствуют $E_0 \sim 10^{43}–10^{44}$ Дж. Первая стадия – разлёт оболочки с постоянной скоростью v_0. Торможение начинается, когда масса выметенного газа сравнивается с массой выброшенного вещества: $(4\pi/3)R_s^3\rho_0 \approx M_0$, здесь R_s – радиус фронта ударной волны. В этот момент возникают возвратная ударная волна, движущаяся внутрь выброшенного вещества (её появление вызвано уменьшением давления в адиабатически расширяющейся оболочке), и конвективный слой на границе выброшенного и сгребаемого газа. Вторая стадия – адиабатическое расширение – продолжается, пока радиационные потери малы по сравнению с E_0. По мере торможения оболочки становятся существенными потери энергии на излучение, и остаток вступает в третью, радиативную стадию: образуется тонкая, плотная, холодная оболочка массой $10^2–10^3\,M_\odot$ при концентрации частиц газа $\approx 10^3$ см$^{-3}$ и температуре 10^3 К. Приблизительно через 10^5 лет наступает последняя фаза эволюции: давление газа в остатке сравнивается с давлением невозмущённого межзвёздного газа, и скорость расширения приближается к скорости хаотического движения газовых облаков в Галактике, ≈ 10 км/с. Остаток становится кинематически неотличимым от межзвёздной среды. Наблюдения показывают, что физические условия и кинематика в целом удовлетворяют этой идеализированной модели, но более строгая теория требует учёта неоднородности межзвёздной среды, процессов испарения, теплопроводности, влияния магнитного поля и ряда других факторов.

Оценки времени жизни и частоты вспышек сверхновых в Галактике показывают высокую вероятность взаимного слияния старых остатков. Горячий разреженный газ слившихся остатков сверхновых с $T_e \approx 5\cdot 10^5$ К и $n_e \approx (3–15)\cdot 10^{-3}$ см$^{-3}$ занимает 50–80% объёма галактического диска. Возможно, «всплывание» горячих газовых пузырей, каковыми являются остатки сверхновых, даёт существенный вклад в галактический корональный газ. Остатки сверхновых влияют и на пылевую составляющую межзвёздной среды: с одной стороны, при вспышках образуются пылевые частицы, с другой стороны, происходит их эффективное разрушение при прохождении ударных волн, вызванных разлётом оболочки. Столкновение расширяющихся остатков с плотными газово-пылевыми облаками может инициировать процесс звёздообразования.

ОСЬ МИРА – прямая, проходящая через центр небесной сферы параллельно оси вращения Земли. Вокруг оси мира совершается видимое суточное движение небесных светил.

ОСЬ СКЛОНЕНИЯ – ось экваториальной монтировки телескопа, вращение вокруг которой позволяет изменять направление оптической оси телескопа по склонению. Ось склонения перпендикулярна полярной оси монтировки.

ОТЖИГ – процедура, применяемая при производстве заготовок из оптического стекла и подобных материалов. После разливки расплавленной стеклянной массы в формы будущие заготовки необходимо медленно охладить для предотвращения возникновения внутренних напряжений. При быстром охлаждении силы внутреннего напряжения могут сильно деформировать или даже разрушить заготовку. Вредное влияние внутренних напряжений плохо отожжённого стекла может проявиться и в процессе изготовления оптических деталей. Отжиг заготовок крупных зеркал может продолжаться несколько месяцев. При этом на некоторых этапах охлаждения снижение температуры приостанавливается, и заготовка релаксирует в изотермическом состоянии.

ОТКАТЫВАЮЩАЯСЯ КРЫША – крыша павильона (башни) телескопа, установленная на роликах для горизонтального перемещения вдоль направляющих или рельсов. Перед началом наблюдений крыша откатывается вручную или мотором, обычно к северу, открывая небо над телескопом.

ОТКИДНОЕ ЗЕРКАЛО – зеркало, входящее в состав вспомогательного оборудования телескопа, например фотометра. Поворотом ручки или электромеханически это зеркало вводится в пучок лучей, идущий от телескопа, для наведения на объект через систему подсмотра поля фотометра, и выводится из пучка перед выполнением измерений.

ОТКРЫТИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРИСВОЕНИЕ ИМ ИМЁН – формальные процедуры, предусмотренные в рамках Международного астрономического союза (International Astronomical Union), для регистрации факта открытия нового астрономического явления или объекта и присвоения ему официального наименования.

Кто даёт имена звёздам, планетам, лунным кратерам и горам на Венере, можно ли за деньги присвоить звезде имя своей возлюбленной, куда следует сообщать об астрономическом открытии, как и кем будет назван открытый тобой объект – эти вопросы волнуют не только астрономов и любителей астрономии, но и всех, кто каждый день слышит о новых астрономических открытиях, о появлении комет с незнакомыми именами (комета Хейла–Боппа, комета Икейя–Секки, астероид Икар, астероид Эрос...) или о возможности купить звезду и дать ей желанное имя.

Кто присваивает имена небесным телам

Имена звёздам, созвездиям и планетам начали присваивать с незапамятных времен. Раньше у каждого народа созвездия и отдельные звёзды в них назывались по-своему; ещё и сейчас бытуют народные названия: например, звёздное скопление Плеяды называют «Стожары» или «Семь Сестёр», Ковш Большой Медведицы тоже называют по-разному: «Повозка», «Лось», «Тесло», «Плуг», «Семь Мудрецов» и т. п. Однако для однозначности научной терминологии в астрономии приняты европейские названия созвездий и арабо-европейские названия звёзд. Они закреплены в документах Международного астрономического союза (МАС), объединяющего более 10 тыс. астрономов из более чем 70 стран – практически всех, кто профессионально работает в этой науке. Впрочем, члены не только МАС, но и менее крупных объединений астрономов (Европейского астрономического общества, национальных астрономических обществ), включая и любителей астрономии, в точности следуют этой традиции, подкреплённой международным авторитетом МАС.

Названия созвездий

МАС строго закрепил границы и названия созвездий. Попытки «перекроить небо» — ввести новые созвездия и дать некоторым звёздам новые имена — происходили вплоть до середины XIX в. Но в 1922 г. на I Генеральной ассамблее МАС в Риме было решено раз и навсегда определить наименования 88 созвездий, покрывающих всю небесную сферу. На III Генеральной ассамблее МАС (Лейден, 1928) были утверждены границы большинства созвездий. В 1930 г. бельгийский астроном Эжен Дельпорт опубликовал карты и подробное описание новых границ созвездий. Но и после этого ещё вносились некоторые уточнения; только в 1935 г. вопрос о созвездиях был решён окончательно, и больше к нему возвращаться не будут.

Имена звёзд

С именами отдельных звёзд ситуация несколько иная. Не существует никаких официальных документов, регламентирующих их имена, но есть традиция, которая поддерживается астрономами при составлении карт и атласов звёздного неба. Около 300 ярких звёзд имеют собственные имена, в основном исторические. Это навигационные звёзды, которыми издавна пользовались для ориентации путешественники и охотники. Большинство имён звёзд очень древние (Сириус, Вега, Бетельгейзе, Альдебаран и др.), и никто не знает, когда они появились. У разных народов одна и та же звезда называется по-разному: например, ярчайшая звезда в созвездии Ориона — Бетельгейзе, что по-арабски значит «рука близнеца» (встречающийся перевод «подмышка гиганта» связан с ошибкой средневекового переписчика), у бушменов называется «Самка антилопы». Вообще в арабской и греко-римской традиции, которой следуют современные астрономы, имена звёзд часто указывают названия частей тела фигуры созвездия: Денебола (во Льве) — «хвост льва», в Пегасе звёзды Алгениб и Маркаб — «крыло» и «седло»; Фомальгаут (в Южной Рыбе) — «рот рыбы»; Ахернар (в Эридане) — «конец реки» и т. д.

Самые яркие светила, как правило, имеют несколько имен, у каждого из древних народов — своё. Есть у ярких звёзд и несколько научных обозначений в соответствии с каталогами, в которые они занесены. Например, Капелла — это α Возничего (в каталоге И. Байера, 1603), 13 Aurigae (по каталогу Д. Флемстида, 1725), ADS 3841A (в Каталоге двойных звёзд Эйкина, 1932), КЗП I 100460 (в Каталоге звёзд, заподозренных в переменности блеска, Москва, 1951), и т. д. Среди такого разнообразия обозначений не всегда удаётся понять, что речь порой идёт об одном и том же объекте. Поэтому астрономы предпочитают именам звезды её небесные координаты: значительно проще и надёжнее отождествлять объект по его «месту прописки» на небе.

Лишь несколько звёзд «неофициально» носят имена людей. Это очень тусклые, невидимые невооружённым глазом звёзды, к которым сами собой «прилипли» имена астрономов, исследовавших эти светила и обнаруживших у них какие-либо удивительные свойства. Например, самую массивную среди изученных звёзд, которая в почти в 100 раз тяжелее Солнца, называют горячей звездой Пласкетта, а самую лёгкую (0,07 массы Солнца) и холодную — звездой ван Бисбрука. Две близкие к нам звезды, быстрее других перемещающиеся по небу, называют летящей звездой Барнарда и звездой Каптейна, а белый карлик, обнаруженный одним из первых, — звездой ван Маанена. Разумеется, никаких дипломов на право владения именами звёзд их первооткрывателям не выдавали. Постепенно, по мере обнаружения ещё более экзотических звёзд, те имена, что некогда вызывали удивление, забываются. Остаются лишь их сухие каталожные обозначения, а фамилии старых астрономов, не знакомых нынешнему поколению исследователей, перестают упоминаться. Как видим, в этом вопросе астрономы заметно скромнее биологов, нередко увековечивающих имена своих коллег в виде официальной составной части латинских названий животных и растений.

Названия объектов Солнечной системы

Имена людей или мифических героев принято присваивать только объектам Солнечной системы: планетам и их спутникам, астероидам, кометам, а также деталям на их поверхности — горам, кратерам, долинам и т. п. Например, все планеты и их спутники носят имена из греко-римской мифологии. Лунные кратеры в основном названы именами астрономов, космонавтов и учёных-естествоиспытателей. Почти все названия на Венере посвящены женщинам — как мифическим, так и реальным. Прежде чем присвоить новое имя, его обсуждает международный коллектив астрономов, членов рабочей группы по названиям астрономических объектов МАС. Они следят, чтобы «на небо» попадали достойные люди. Обычно присваиваются имена уже умерших людей, причём имя объекта утверждается не ранее чем через 3 года после смерти человека, чтобы успело сложиться объективное отношение к его личности. В виде исключения используются имена ныне здравствующих людей при наличии несомненных заслуг: например, некоторые кратеры на Луне носят имена космонавтов и астронавтов.

Приблизительно такая же традиция сложилась и с названиями астероидов — малых тел Солнечной системы размером от нескольких сотен километров до совсем крошечных, в несколько десятков метров. Как правило, новые астероиды в наши дни открывают астрономы-профессионалы, поскольку для этого необходимы большие телескопы. Астероиду присваивается порядковый номер и по желанию первооткрывателя может быть присвоено имя. Первые астероиды были открыты в начале XIX в., и, продолжая планетную традицию, им тоже стали давать мифологические имена — Церера, Паллада, Юнона, Веста... Но астероидов обнаруживали всё больше, литературных имён не хватало, и им стали присваивать имена людей — как ушедших из жизни, но оставивших добрый след в истории человеческой, так и ныне здравствующих, но, разумеется, достойных.

Любопытно, что, назвав первые астероиды именами мифических женщин, астрономы уже не могли остановиться и продолжали искать для астероидов только женские имена. В крайнем случае переделывали мужское имя на женский лад: так появились, например, Эдисона, Владилена (в честь В. И. Ленина), Симеиза (в крымском Симеизе находится известная обсерватория) и др. Однако в последнее время от этой традиции отошли, и названия астероидов стали более благозвучными: Эвклид, Стравинский, Вивальди, Клэптон, Ван Гог. В последние годы для поиска астероидов созданы автоматические комплексы (телескоп + компьютер), которые без участия человека еженощно исследуют небо; количество новооткрытых астероидов резко возросло, и многие из них пока не получили имён.

Иная ситуация с именами комет. Эти огромные глыбы замороженных газов прилетают к Солнцу издалека, на короткое время разогреваются его лучами и начинают интенсивно испаряться, демонстрируя свои газово-пылевые хвосты и давая астрономам редкую возможность изучать древнейшее вещество Вселенной, застывшее когда-то в ядре кометы. Если упустить эту возможность, комета промчится мимо Солнца и навсегда уйдёт вдаль. Чтобы стимулировать поиск комет и не пропустить ни одной, им присваивают имена первооткрывателей. Часто это бывают любители астрономии, готовые провести тысячи ночей у телескопа, чтобы принести пользу науке и, разумеется, оставить в ней своё имя.

Самая первая из названных комет носит имя Эдмонда Галлея, знаменитого тем, что он первым догадался о её периодическом возвращении к Солнцу через каждые 76 лет и верно предсказал её очередной визит, чем сильно укрепил авторитет ньютоновой механики. Затем идут кометы известного «ловца хвостатых светил» Шарля Мессье и др. Иной раз комета носит два или даже три имени; это означает, что она была независимо и почти одновременно открыта несколькими астроно-

мами. Правда, недавно решено было ограничиваться в названиях комет двумя именами её первооткрывателей. Например, комета Веста–Когоутека 1993 г. была открыта европейскими профессиональными астрономами Рихардом Вестом и Любошем Когоутеком. Многие своими глазами видели изумительно яркую и неторопливую комету, украшавшую наш небосвод зимой 1996/1997 г. Её открыли американские любители астрономии Алан Хейл (Клаудкрофт, шт. Нью-Мексико) и Томас Бопп (Глендэйл, шт. Аризона), поэтому она получила название «комета Хейла–Боппа».

В последние годы возможности для поиска комет расширились. Если раньше для этого требовались телескоп и место с хорошими условиями для наблюдения, то теперь можно получать через Интернет свежие фотографии неба и исследовать их при помощи компьютера. Особенно продуктивным оказалось изучение фотографий окрестностей Солнца, передаваемых с борта космической обсерватории SOHO. Уже немало любителей астрономии, в том числе и российских, открыли «свои» кометы на этих снимках, полученных через Интернет.

Можно ли продавать и покупать имена звёзд

Разумеется, никто, даже Международный астрономический союз, не обладает официальной монополией на имена звёзд: если вы хотите называть Полярную звезду именем своей возлюбленной или тёщи, никто вам этого не запретит. Вы можете сообщить это имя своим знакомым, и если ваша идея им понравится, то и они вправе называть эту звезду так же, как вы. Но нужно иметь в виду, что астрономы её так называть не будут — в каталогах и на небесных картах они оставят всё без изменения. Каким бы благозвучным ни было новое имя, астрономы охранят традиционное, исходя из чисто практических соображений: они не хотят, подобно географам, постоянно переделывать свои карты сообразно с чьими-то политическими и коммерческими интересами или составлять таблицы идентификации имён одних и тех же объектов, носящих в разных странах разные названия (в географии это чаще всего острова и проливы).

Однако отсутствие ясных правовых норм в отношении названий космических тел вызвало к жизни в 1990-е гг. своеобразный бизнес — продажу имён звёзд. Он развернулся во многих странах, в том числе и в России; некоторые фирмы до сих пор (2012) им занимаются. У них вы можете купить сертификат, удостоверяющий, что определённой звезде (указаны её координаты и блеск) присвоено имя по вашему выбору. Стоимость этой «услуги» варьируется от нескольких долларов США для самых тусклых звёзд до нескольких тысяч долларов — для ярких.

Торговля именами звёзд приняла такие масштабы, что Международному астрономическому союзу и национальным астрономическим организациям пришлось обратить на это внимание и разместить на своих сайтах специальные страницы, посвящённые практике присвоения имён небесным объектам и незаконности торговли ими. Вот выдержка из такого обращения на сайте МАС: «Международный астрономический союз получает всё увеличивающийся поток писем от частных лиц, желающих купить звезду или присвоить ей имя. МАС знает, что некоторые коммерческие предприятия предлагают такие услуги за плату. На самом же деле эти „имена“ не имеют ни формальной, ни официальной ценности. Генеральному секретарю МАС стало известно, что некоторые из этих компаний сообщают клиентам, что МАС знает, одобряет и даже сотрудничает с ними в деле торговли именами звёзд. МАС категорически заявляет, что такие утверждения являются ложью и не имеет под собой никаких оснований. Во всех случаях, ставших известными МАС, мы посылали компании письменное заявление о том, что все ссылки на МАС незаконны и должны быть немедленно прекращены. Если компания, несмотря на предупреждение, продолжает свою скверную практику, то это является бесстыдным правовым нарушением, которым должно заинтересоваться центральное или местное агентство по защите прав потребителя. Некоторые агентства уже провели свои мероприятия против таких фирм».

Таким образом, покупать имена звёзд, вообще говоря, можно, тем более, что всегда найдутся желающие вам их продать. Но вот продавать их, как выясняется, нельзя, во всяком случае, не уведомив покупателя о том, что это имя никем и никогда не будет употребляться, а лишь останется в компьютере фирмы-продавца. Как же в таком случае можно «поместить на небо» желанное имя, например своё? Единственный способ — оказать выдающуюся услугу человечеству, например совершить астрономическое открытие.

Как и куда сообщать об астрономическом открытии

Сообщения любителей астрономии о вспышках новых и сверхновых звёзд; о появлении комет, о наблюдении редких астрономических явлений очень ценны: в истории астрономии известно множество случаев, когда интересные явления были замечены именно любителями, а не профессионалами. Быстрое и правильное сообщение о таком открытии помогает более полно исследовать явление с помощью профессиональных средств на многих обсерваториях мира.

Чтобы сообщить об открытии, нужно связаться с Центральным бюро астрономических телеграмм Международного астрономического союза (МАС). Наилучший способ связи — электронное письмо, которое следует послать по адресу: cbat@cfa.harvard.edu. Эти письма постоянно просматриваются сотрудниками Бюро.

Используя возможности Интернета, можно сделать сообщение, просто заполнив форму по адресу: http://cfa-www.harvard.edu/iau/cbat.html. По этому же адресу можно получить информацию о последних открытиях, размещённую в циркулярах МАС. При желании сделать сообщение на русском языке его следует отправить в Российское бюро астрономических сообщений по адресу: samus@sai.msu.ru. Его проверят и отправят в Центральное бюро, но это потребует некоторого времени. Если электронная почта недоступна, можно позвонить в Центральное бюро по телефонам (001-617) 495-7244, или -7440, или -7444, но по этим номерам нет круглосуточного дежурства, они могут и не ответить. При желании сделать сообщение по-русски следует звонить в рабочее время в Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ) в Москве (495)939-3318. Чтобы сообщение было надёжно получено, желательно продублировать его письмом в Центральное Бюро по адресу: 60 Garden St., Cambridge, MA 02138, USA; или в ГАИШ по адресу: Астрономический институт, ком. 58, Университетский проспект, д. 13, Москва 119899, Россия.

При сообщении о любом новом объекте — комете, вспышке новой звезды и т. п., — следует указать дату и время наблюдения, место наблюдения, прямое восхождение и склонение объекта (с указанием эпохи), его блеск в звёздных величинах, а также дать краткое словесное описание явления. Дату и время желательно указать по Гринвичу (UTC), но можно и по местному времени крупных городов (например, по московскому времени). При невозможности точно определить небесные координаты объекта (для этого требуется хорошая звёздная карта) следует указать положение относительно ярких звёзд известных созвездий. Наблюдатели с недостаточным опытом визуальных наблюдений должны ещё раз проверить свои наблюдения, перед тем как связаться с Центральным бюро или ГАИШ.

Опытным наблюдателям желательно провести фотографирование нового объекта. При фотографическом открытии очень желательно подтверждение вторым изображением (чтобы не принять за новый объект изображение случайного блика, брак фотоэмульсии или «битый» пиксел ПЗС-матрицы). В случае новой кометы должна быть указана угловая скорость движения как по прямому восхождению, так и по склонению.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ — отношение фокусного расстояния (F) объектива к его диаметру (D). Обозначается символами ∀ или ф:

$$\forall = \phi = F/D$$

В профессиональной среде эту величину обычно называют «относительным фокусом» объектива. Обратная величина — отношение диаметра объектива к его фокусному расстоянию — называется относительным отверстием объектива: $A = D/F$. Иногда эту величину называют также светосилой объектива, но это неверно, поскольку светосилой называется величина A^2, характеризующая освещённость изображения источника в фокальной плоскости объектива.

Значение относительного фокуса у телескопов-рефракторов обычно составляет 10–15, у рефлекторов системы Ньютона и Кассегрена — 6–10 (а в фокусе куде даже 20 и более), а у главных зеркал крупных современных рефлекторов — всего 2–3 (это делается для уменьшения длины трубы телескопа).

У фотообъективов значение относительного фокуса (диафрагменное число) обычно можно менять, изменяя диаметр встроенной в объектив ирисовой диафрагмы. Значения диафрагменных чисел наносится на шкале установки диафрагм фотообъектива.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОТВЕРСТИЕ — отношение диаметра апертуры оптической системы к её фокусному расстоянию. См. *Относительное фокусное расстояние.*

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ТУМАННОСТЬ — межзвёздное облако газа и космической пыли, которое светится потому, что свет близлежащих ярких звёзд отражается в сторону наблюдателя содержащейся в облаке пылью. Спектр туманности содержит линии поглощения, характерные для спектров соседних ярких звёзд. Слабый эмиссионный компонент спектров туманностей обусловлен свечением газа, а за отражённый звёздный свет «отвечает» пыль. Отражательные туманности часто кажутся голубоватыми, так как голубой свет более эффективно, чем красный, отражается пылевыми частицами. Наиболее известные примеры отражательных туманностей — туманности вокруг некоторых звёзд в Плеядах, например туманность Меропа.

ОТРАЖАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ — тонкий зеркальный слой из алюминия или серебра, нанесённый на рабочую поверхность оптического элемента прибора. Например, объективы телескопов-рефлекторов обычно изготавливают из стекла или подобных ему материалов, а затем их рабочую поверхность покрывают отражающим слоем, например путём алюминирования в вакуумной камере.

ОТРАЖАЮЩАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЁТКА — дифракционная решётка, в которой штрихи являются длинными узкими зеркалами. В отличие от пропускающей дифракционной решётки, она разлагает в спектр не проходящий, а отражённый свет. Отражающие решётки изготовляются путём нанесения штрихов специальным алмазным резцом на отражающей основе, обычно на алюминии.

ОТРЕЗАЮЩИЙ ФИЛЬТР Hα — светофильтр, отрезающий излучение с длиной волны менее 650 нм. Такой фильтр пропускает линию Hα и одновременно подавляет большую часть засветки неба, поэтому его можно использовать для получения изображений газовых туманностей. Но нужно учитывать, что отрезающий фильтр Hα не является узкополосным, пропускающим только линию Hα, поэтому его нельзя использовать для наблюдения Солнца.

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ЛИНЗА — то же, что *Рассеивающая линза.*

ОТСЕКАТЕЛЬ — элемент оптической системы, защищающий изображение от постороннего света. Телескопы Кассегрена, Шмидта–Кассегрена и им подобные снабжают отсекателями в виде пары цилиндрических или конусообразных трубок, одна из которых проходит через центральное отверстие в главном зеркале, а вторая монтируется на оправе вторичного зеркала. Система отсекателей преграждает путь лучам, идущим в фокальную плоскость напрямую, минуя вторичное зеркало. Конструкция многих окуляров включает диафрагму поля, которая, кроме прочих функций, служит и для устранения посторонних боковых лучей, снижающих контраст изображения.

ОТСТАЮЩИЙ КРАЙ — задний по отношению к направлению движения край протяжённого движущегося объекта — Солнца, Луны и т. п.

ОФЕЛИЯ (U VII, Ophelia) — естественный спутник Урана. Его открыл Ричард Терил 20 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». В следующий раз его удалось заметить только в 2003 г. на снимках, полученных космическим телескопом «Хаббл».

Большая полуось орбиты Офелии составляет 53 763 км. Орбитальный период 0,37640 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0003. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,10°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Размеры 54 × 38 × 38 км. Масса около $5{,}6 \cdot 10^{16}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 7 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 18 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск 23,4^m и максимальное угловое расстояние от планеты 4″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

ОФСЕТНОЕ ГИДИРОВАНИЕ — техника гидирования, используемая при получении изображений очень тусклых или диффузных объектов (например, галактик или межзвёздных туманностей). Вначале исследуемый объект помещается в центр поля зрения основного инструмента. Затем телескоп-гид (целиком или только его окуляр) смещается относительно оси основного телескопа до отыскания в окрестностях объекта подходящей по блеску гидировочной звезды. После этого гид фиксируется, и гидирование во время экспозиций выполняется по этой звезде.

ОЦЕНКА УГЛОВ «НА ГЛАЗ» — при наблюдениях невооружённым глазом для оценки угловых расстояний на небесной сфере и размеров объектов можно использовать руку. Сжатый кулак на расстоянии вытянутой перед лицом руки имеет угловой размер от 8° до 9°, а толщина указательного пальца — около 2°. Более точно каждый наблюдатель определяет эти значения самостоятельно.

ОЧЕНЬ БОЛЬШАЯ (АНТЕННАЯ) РЕШЁТКА (Very Large Array, VLA) — радиотелескоп апертурного синтеза, состоящий из 27 параболических антенн, каждая диаметром 26 м, перемещающихся по Y-образному рельсовому пути на площади диаметром 27 км. Проводит наблюдения на волнах от 1,3 до 92 см. Угловое разрешение достигает 0,05″. Располагается в Национальной радиоастрономической обсерватории близ г. Сокорро (шт. Нью-Мексико, США).

ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ ТЕЛЕСКОП (Very Large Telescope, VLT) — астрономический комплекс из четырёх отдельных 8,2-метровых телескопов системы Ричи–Кретьена и четырёх дополнительных подвижных телескопов диаметром 1,8 м, установленный на Европейской южной обсерватории Серро-Паранал (Чили) на высоте 2635 м. Все четыре больших телескопа имеют тонкие сплошные зеркала, правильная форма которых поддерживается системой активной оптики. Каждому из этих телескопов дано собственное имя, взятое из языка местного народа (мапуче): Анту (Antu, Солнце), Куэйен (Kueyen, Луна), Мелипаль (Melipal, Южный Крест) и Йепун (Yepun, Утренняя звезда — Венера). Телескопы могут работать как независимо, так и совместно, в режиме оптического интерферометра, разрешение которого составляет порядка 0,001″. На каждом 8,2-метровом телескопе можно раз-

мещать приборы в фокусе Кассегрена и двух фокусах Несмита. Большие телескопы сооружены в 1998–2001 гг. Интерферометр начал работать в 2005 г. Большие телескопы значительную часть времени работают самостоятельно; на них функционируют системы адаптивной оптики. Малые телескопы постоянно работают в режиме интерферометра.

ОЧКИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ – картонная оправа, в которую вместо линз вставлены пластиковые солнечные светофильтры. Такие очки позволяют наблюдать ход солнечного затмения невооружённым глазом. В них без опасности для зрения можно следить за частными фазами затмения, но в момент полного затмения их следует снять, поскольку сквозь плотные фильтры солнечная корона практически не видна. Недорогие солнечные очки промышленного производства, как правило, продаются в районе полосы полной фазы затмения накануне его наступления.

ОШИБКА НУЛЬ-ПУНКТА – отсчёт, даваемый прибором или детектором при нулевом входном сигнале. Обычно ошибка нуль-пункта предварительно измеряется и затем вычитается из результатов измерений объекта для получения несмещённого результата.

ОШИБОЧНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ – наблюдения, в процессе которых наблюдатель видит или думает, что видит нечто, чего в действительности не существует. Ошибочные наблюдения возможны из-за влияния предубеждений или сложившихся взглядов. Например, на рубеже XIX и XX вв. каналы на Марсе считались реальностью, и многие наблюдатели утверждали, что видят их, но позже каналы «исчезли». Долгое время считалось, что Меркурий повернут к Солнцу одной и той же своей стороной, и многолетние наблюдения как будто бы подтверждали это, хотя действительный период вращения Меркурия вокруг оси равен $^2/_3$ периода его обращения вокруг Солнца. Следует признать, что отчасти этому заблуждению способствовала соизмеримость осевого вращения и синодического обращения Меркурия: отношение этих периодов как 3:5 приводит к тому, что в эпохи благоприятной видимости Меркурий действительно развернут к Земле и Солнцу одинаково.

Причиной различного рода наблюдательных ошибок могут быть физиологические свойства зрения. Примером служит «эффект чёрной капли», наблюдаемый при прохождении Меркурия или Венеры по диску Солнца, который возникает из-за перекрёстных связей колбочек и палочек в сетчатке глаза. Не исключено, что подобные эффекты могут наблюдаться и у электронных приёмников света. Например, эффект чёрной капли виден на снимках прохождения Меркурия по диску Солнца в 1999 г., полученных космическим телескопом TRACE. См. также *Иррадиация*.

П

ПАВЛИН – южное созвездие, введённое И. Байером в 1603 г.; лежит между Туканом и Райской Птицей. Его ярчайшую звезду (α Pav) 1,9 звёздной величины называют Пикок. Фактически она лежит на границе трёх созвездий – Индейца, Павлина и Телескопа – и для всех трёх является ярчайшей. Интересные объекты для наблюдения в Павлине: одно из самых красивых шаровых скоплений NGC 6752 и одна из крупнейших пересечённых спиральных галактик NGC 6744.

ПАЗИФЕЕ (J XXXVIII, Pasithee) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 23 307 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 727 сут. Эксцентриситет орбиты 0,33. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 23{,}2^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2″49′16″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 K.

ПАК (U XV, Puck) – естественный спутник Урана. Открыт 30 декабря 1985 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 86 004 км. Орбитальный период 0,761833 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0001. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,32°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Диаметр 162 км. Масса около $3 \cdot 10^{18}$ кг. Геометрическое альбедо 11%, альбедо Бонда 4%. Видимый блеск 20^m и максимальное угловое расстояние от планеты 7″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 64 K.

ПАЛИАК (S XX, Paaliaq) – естественный спутник Сатурна. Его открыли в 2000 г. канадский астроном Б. Глэдман (Brett J. Gladman) и его американские коллеги. Спутник назван в честь персонажа эскимосской мифологии. Большая полуось орбиты Палиака 15 200 тыс. км. Орбитальный период 686,9 сут. Эксцентриситет орбиты 0,363. Наклонение орбиты к эклиптике 45,1°; спутник обращается по орбите в прямом направлении, т. е. в сторону вращения планеты. Размер 22 км. Альбедо 0,04. Цвет красный. Видимый блеск $21{,}3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 55,1′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ПАЛЛЕНА (S XXXIII, Pallene) – естественный спутник Сатурна. Открыт 1 июня 2004 г. по снимкам зонда «Кассини». Большая полуось орбиты 212,28 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 1,15374583 сут. Эксцентриситет орбиты 0,004. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,18°. Размеры 2,9×2,8×2,0 км. Блеск 25^m и максимальное угловое расстояние от планеты 34″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ПАЛОМАРСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ – то же, что *Обсерватория Маунт-Паломар*.

ПАЛОМАРСКИЙ ОБЗОР НЕБА – фотографический обзор неба, охватывающий области от северного полюса мира до склонения примерно –30°. Он был проведён астрономами обсерватории Маунт-Паломар, принадлежащей Калифорнийскому технологическому институту, на средства, полученные по гранту Национального географического общества США. Поэтому официальное название этого обзора таково: National Geographic Society – Palomar Observatory Sky Survey (NGS–POSS). Но в научной литературе он обычно фигурирует как Palomar Observatory Sky Survey (POSS), в русскоязычной литературе – как «Паломарский обзор».

Инициаторами этого обзора были Эдвин Хаббл, Милтон Хьюмасон, Вальтер Бааде, Айра Боуен и Рудольф Минковский. Для фотографирования неба использовалась сооружённая в 1948 г. на Паломарской обсерватории 1,2/1,8-метровая камера Шмидта. Первый снимок был получен 11 ноября 1949 г. К 20 июня 1956 г. было закончено 99% обзора, а последний снимок был сделан 10 декабря 1958 г. Фотографирование велось на стеклянные квадратные 14-дюймовые (36 см) пластинки фирмы «Кодак». Каждый снимок покрывал область неба размером 6×6°, площадью около 36 квадратных градусов. Каждая область неба фотографировалась дважды: на пластинку 103a-E, чувствительную к красным лучам, и на пластинку 103a-O, чувствительную к голубым лучам. Это позволяет определять цвет небесного объекта.

Вначале обзор был проведён от северного полюса мира до склонения –24° (координата центра пластинки), т. е. покрыл всю северную полусферу неба и приэкваториальную часть южной до склонения примерно –27°. Для этого понадобилось 879 пар пластинок. Позже обзор был продолжен (с некоторыми пробелами) до склонения –30°, покрыв в итоге небо до южного склонения около –34° на 936 па-

рах пластинок. Предельная звёздная величина снимков немного варьируется от области к области, в среднем имея значение 22^m. В полном виде Паломарский обзор был опубликован как 1872 негативных фотоотпечатков, каждый размером 14×14 дюймов. В начале 1970-х гг. была опубликована новая версия этого обзора на негативных отпечатках размером 14×17 дюймов.

Большинство крупных обсерваторий активно использовало и использует Паломарский обзор. Он стал основной для многих каталогов и позволил открыть много новых интересных объектов. Особенно полезен он оказался для исследования галактик и их скоплений. Он также стал основой многих образовательных проектов для студентов и учителей. Отдельные отпечатки обзора можно заказать в книжном магазине Калифорнийского технологического института.

В 1962 г. Паломарский обзор был продолжен до склонения −42° на 100 красных фотопластинках, менее чувствительных к атмосферному поглощению света. Они также были опубликованы в виде негативных отпечатков. С учётом этого так называемого «Дополнения Уайтоук» (Whiteoak Extension) полное число пластинок в обзоре возросло до 1972. Роберт Диксон из Огайского университета опубликовал в 1981 г. прозрачные отпечатки Паломарского обзора, которые можно использовать для фотометрических работ. В 1986 г. началось цифровое сканирование Паломарского обзора, и в результате этой работы в 1994 г. был опубликован «Оцифрованный обзор неба» (Digitized Sky Survey). Он доступен на 102 компакт-дисках, а также бесплатно с нескольких сайтов NASA в виде фрагментов (например, http://archive.stsci.edu/dss/). В 1996 г. сжатая версия обзора под названием RealSky была выпущена в продажу Тихоокеанским астрономическим обществом (Astronomical Society of the Pacific).

В 2001 г. методом автоматического сканирования и распознавания создан каталог Паломарского обзора (Minnesota Automated Plate Scanner Catalog of the POSS I), который распространяется на четырёх DVD-дисках. Он содержит данные более чем о 89 млн объектов: их точные координаты, блеск, а также степень эллиптичности, позиционный угол большой оси, индекс концентрации яркости.

ПАЛОЧКА – светочувствительная клетка глаза; см. *Сетчатка.*

ПАН (S XVIII, Pan) – естественный спутник Сатурна. Автор открытия – М. Шоуолтер (1990). Большая полуось орбиты 133,58 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,575 сут (≈13,8 час). Эксцентриситет орбиты 0,0. Наклонение орбиты к экватору планеты 0°. Размер 34,4×31,4×20,8 км. Альбедо около 50%. Блеск $19{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $22''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 78 К.

ПАНДОРА (S XVII, Pandora) – естественный спутник Сатурна. Авторы открытия – Коллинз, Карлсон (1980) по снимкам зонда «Вояджер-1». Большая полуось орбиты 141,72 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,6285042 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0042. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,05°. Размер 104×81×64 км. Масса $1{,}37 \cdot 10^{17}$ кг. Средняя плотность 0,5 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности около 4 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 20 м/с. Альбедо около 60%. Блеск $16{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $23''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 78 К.

ПАНОРАМНАЯ СИСТЕМА СЧЁТА ФОТОНОВ – система для регистрации изображений, включающая электронно-оптический преобразователь, телевизионную камеру и компьютер, и позволяющая получить выигрыш по чувствительности в 10–20 раз по сравнению с фотографической эмульсией. Общий коэффициент усиления системы позволяет регистрировать и записывать в память компьютера координаты вспышек от отдельных приходящих фотонов (т. е. осуществлять счёт фотонов). Эффективность системы определяется квантовой эффективностью входного фотокатода усилителя яркости, не превышающей 20–30% для лучших типов фотокатодов. Основным источниками шума системы являются фотонный шум и термоэлектронная эмиссия.

ПАНСПЕРМИЯ – перенос жизни с одних небесных тел на другие. До сих пор нет убедительных доказательств, что этот процесс происходит или происходил в прошлом, поэтому лучше говорить о «гипотезе панспермии».

Некоторые учёные считают, что «чудо рождения жизни» требует невероятно редкого сочетания многих факторов, а потому не может происходить во Вселенной часто. Они не исключают, что жизнь, возникнув лишь однажды, затем распространяется с планеты на планету, подобно эпидемии. Поэтому наряду с теорией зарождения жизни на Земле (см. *Зарождение жизни*) сейчас активно обсуждается и гипотеза панспермии. Эту идею впервые высказал немецкий учёный Г. Рихтер в 1865 г., её поддержали Г. Гельмгольц и особенно активно – шведский учёный Сванте Аррениус (1908); спустя ещё полвека её возродили биохимики Френсис Крик и Лесли Оргел. Сванте Аррениус считал, что живые клетки переносятся от одной планеты к другой под давлением света звезды. Крик и Оргел предположили в 1973 г. возможность «направленной панспермии» – организованного переноса живого вещества с планеты на планету какими-то разумными существами. В последнее время стали рассматривать и третью возможность: перенос жизни в составе метеоритов, выбитых с поверхности обитаемой планеты. Для проверки гипотезы панспермии важно обнаружить жизнь ещё хотя бы на одной планете и сравнить её с земной: если и там белки окажутся собранными из 20 таких же аминокислот, как на Земле, значит, действительно все живые существа вышли из одной колыбели.

Некоторые основания для этой гипотезы панспермии даёт обнаружение органических соединений в межзвёздной среде, а также в ядрах комет и метеоритах. Исследование первичного метеоритного вещества – углистых хондритов – выявило в них сложные соединения на основе углерода, вплоть до основных элементов ДНК – пуриновых оснований (аденина и гуанина). Это по крайней мере говорит о том, что образование таких веществ может происходить ещё на допланетной и даже дозвёздной стадии в первичной газово-пылевой туманности. В дальнейшем это органическое вещество входит в состав образующихся планет и при благоприятных условиях определяет развитие на них жизни. Вопрос о переносе живых организмов с планеты на планету пока открыт. На Земле достоверно обнаружены метеориты с Луны и, весьма вероятно, с Марса (SNC-метеориты, или шерготтиты). Но сообщения о нахождении в них окаменелостей, напоминающих примитивные формы жизни, пока не кажутся большинству специалистов убедительными.

ПАНХРОМАТИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ – фотографическая эмульсия, имеющая довольно равномерную спектральную чувствительность во всем видимом диапазоне спектра.

ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ АНТЕННА – радиоантенна, имеющая металлический отражатель в виде параболоида вращения, который концентрирует радиоизлучение объекта непосредственно на облучателе или на вторичном зеркале и одновременно экранирует облучатель от посторонних сигналов.

ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ – минимальная скорость (v_∞), которую нужно сообщить телу (например, космическому аппарату), чтобы оно могло преодолеть

гравитационное притяжение другого тела массой M (например, Земли) и, двигаясь по параболической траектории, навсегда покинуть сферу его гравитационного действия. Если точка старта удалена от массивного тела на расстояние R, и, кроме гравитационной силы, иные силы не действуют, то $v_\infty=(2GM/R)^{1/2}$, где G – гравитационная постоянная. Параболическую скорость у поверхности какого-либо небесного тела (планеты, звезды) называют второй космической скоростью v_2. На поверхности Земли без учёта сопротивления атмосферы $v_2 \approx 11{,}2$ км/с.

ПАРАБОЛИЧЕСКОЕ ЗЕРКАЛО – зеркало, имеющее форму параболоида вращения, т. е. поверхности, образованной вращением параболы $y=x^2$ вокруг оси симметрии Y. Уникальным свойством параболоида является способность фокусировать лучи, отразившиеся от его внутренней поверхности: все лучи, падающие параллельно оптической оси параболического зеркала, после отражения собираются в единой точке фокуса, расположенной на этой оптической оси. Сферическое зеркало, в отличие от параболического, а также простая сферическая линза отягощены сферической аберрацией на оптической оси. К тому же они все, включая и параболическое зеркало, страдают внеосевыми аберрациями. У большинства телескопов-рефлекторов объективом служит параболическое зеркало. Оно имеет преимущество и в изготовлении методом центробежного литья. Но бывают и исключения: в одном из вариантов телескопа системы Кассегрена, известном как телескоп Ричи–Кретьена, используется гиперболическое главное зеркало.

ПАРАБОЛОИД – поверхность, образованная вращением параболы $y=x^2$ вокруг её осевой линии Y. Зеркало, имеющее отражающую поверхность в форме параболоида, используется в качестве главного зеркала (т. е. объектива) в оптических телескопах системы Ньютона, Кассегрена и Грегори, а также в рентгеновских телескопах косого падения. В обиходе, однако, такие зеркала обычно называют не параболоидными (что правильно), а параболическими.

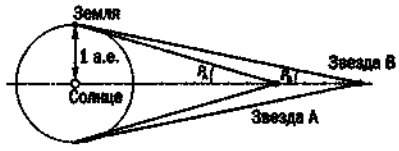
ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ – кажущийся парадокс, связанный с представлением, что вследствие эффекта замедления времени два релятивистских путешественника, когда-то расставшиеся, а затем встретившиеся вновь, должны утверждать, что каждый из них провёл в путешествии больше времени, чем другой. На основе этого парадокса некоторые пытаются показать противоречивость специальной (частной) теории относительности. Обычно для наглядности рассматривается история двух братьев-близнецов. Один из них (путешественник) отправляется в космический полёт, второй (домосед) остаётся на Земле. С точки зрения домоседа часы движущегося путешественника имеют замедленный ход времени, поэтому при возвращении они должны отстать от часов домоседа. С другой стороны, относительно путешественника двигалась Земля, поэтому отстать должны часы домоседа. Тем не менее, согласно СТО, отставшими окажутся часы путешественника. В таком нарушении видимой симметричности братьев и усматривается противоречие. Но точный расчёт на основе надёжно проверенных законов (например, на основе формулы Доплера) показывает, что отстать должны часы путешественника, в полном согласии с СТО.

ПАРАЗИТНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ – ложные детали в изображении. Источником паразитных изображений часто являются блики, возникающие при двух обратных отражениях на поверхностях линзовых элементов. Интенсивность бликов намного меньше интенсивности основного изображения, поскольку коэффициент отражения стекла, даже непросветлённого, низкий (около 4%). Наиболее часто путаница возникает в тех случаях, когда в наблюдаемой области, но вне поля зрения окуляра или камеры, находится яркий объект. Блики можно идентифицировать по их виду: как правило, они расфокусированы. Их можно обнаружить и при небольшом смещении телескопа: обычно блик смещается в противоположном направлении относительно основного изображения.

В спектроскопии встречается особый вид паразитного изображения, называемый «духом» (англ. *ghost*). В основном спектре духи могут возникать в виде слабых линий при наложении высших и низших спектральных порядков, при наличии периодических ошибок в структуре штрихов дифракционной решётки (духи Лаймана и Роуланда), а также при перепроецировании спектральных порядков из области за решёткой в область основного спектра (аномалия Вуда). Идентифицировать паразитные изображения в спектре намного сложнее, чем в прямом изображении.

ПАРАКСИАЛЬНЫЕ ЛУЧИ – лучи света, постоянно проходящие вблизи оптической оси.

ПАРАЛЛАКС – видимое смещение более близкого объекта на фоне значительно более далёких при перемещении наблюдателя с одного конца некоторой базы на другой её конец. Например, перемещение Земли по орбите вызывает заметный годичный параллакс у близких звёзд: видимое положение звезды описывает, в общем случае, эллипс вокруг среднего положения звезды. Форма этого эллипса в точности соответствует форме земной орбиты, как она видна от указанной звезды. Параллактический угол объекта (p) равен половине его максимального параллактического смещения, т. е. большой полуоси параллактического эллипса. Проще говоря, он равен углу, под которым от объекта виден радиус земной орбиты (1 а. е.). Даже у ближайших звёзд значение $p<1''$. Если угол параллакса p мал и выражен в радианах, а длина перпендикулярной к направлению на объект базы составляет B, то расстояние до объекта с большой точностью равно $D=B/p$. При фиксированной базе сам параллактический угол может служить мерой расстояния до объекта. Поскольку базой годичного параллакса служит расстояние 1 а. е., то, измеряя параллакс в секундах дуги, получим простое выражение для расстояния до звезды в парсеках: $D=1/p$. (По определению, парсек – это расстояние до объекта, годичный параллакс которого равен секунде дуги; «парсек» = «параллакс» + «секунда».



Параллактические углы (P_A и P_B) двух звёзд (A и B), расположенных на разных расстояниях от Солнечной системы

Параллаксы, определённые по параллактическому смещению светила, называют тригонометрическими. Но часто в виде параллактического угла выражают расстояние до светила, найденное иным, не геометрическим способом. Так появились динамический, спектральный, энергетический, групповой, статистический параллаксы.

В прошлом годичный параллакс обозначали буквами π или ϖ (эта буква – не что иное, как разновидность буквы π, а вовсе не ω; в некоторых старых шрифтах именно так выглядело π). Но в последнее время, чтобы не путать с известной математической константой, годичный параллакс стали обозначать буквой p.

Движение наблюдателя, вызванное суточным вращением Земли, вызывает изменение видимого положения близких объектов, располагающихся в пределах Солнечной системы. Угол между направлениями, в которых светило было бы видно из центра Земли и из какой-либо точки на его поверхности, называют суточным параллаксом светила (иногда его называют геоцентрическим параллаксом – geocentric parallax). Из-за вращения Земли суточный параллакс любого светила (кроме находящихся в полюсах мира) для любого наблюдателя (кроме находящихся на полюсах Земли) является функци-

ей времени. Для светила, находящегося в момент наблюдения в зените, суточный параллакс равен нулю. Если светило наблюдается на горизонте, то его суточный параллакс принимает максимальное значение и называется горизонтальным параллаксом. Фактически это угол, под которым от объекта виден радиус Земли. Его обычно тоже обозначают буквой *p*. Горизонтальный параллакс у всех тел Солнечной системы невелик: у Луны в среднем $p = 57'$, у Солнца $p = 8{,}794''$, у всех планет он меньше $1'$.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ – низкошумящий усилитель, применяемый в радиоприёмниках для регистрации излучения с частотой выше 1 ГГц.

ПАРГЕЛИЧЕСКИЙ КРУГ – узкая белая полоса, появляющаяся на небе днём и проходящая параллельно горизонту на высоте Солнца; одна из форм гало.

ПАРЕНАГО, Павел Петрович (20.03.1906, Екатеринодар, ныне Краснодар, Россия, – 5.01.1960, Москва, СССР) – советский астроном, основатель Московской школы звёздных астрономов. В 1929 г. окончил Московский университет. В 1927–1932 гг. работал в Астрономо-геодезическом научно-исследовательском институте при Московском университете. С 1932 г. работал в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга. В 1934 г. впервые в нашей стране начал читать курс звёздной астрономии в Московском университетете (с 1934 г. доцент, с 1939 г. профессор). С 1940 г. до последних дней жизни возглавлял созданную им кафедру звёздной астрономии. Во время Великой Отечественной войны, в 1941–1944 гг., служил в армии специалистом по авиационной метеорологии. С 1953 г. член-корреспондент АН СССР.

Научные работы посвящены изучению строения Галактики, исследованию структуры и динамики звёздных систем, изучению переменных звёзд. В 1921 г. начал систематические визуальные наблюдения переменных звёзд. Всего изучил около 600 переменных звёзд разных типов. Результаты этих исследований использовал при решении общих вопросов строения Галактики. Составил сводный каталог основных характеристик звёзд – параллаксов, собственных движений, лучевых скоростей, спектральных классов и др. Обобщение и анализ этого большого материала позволили ему сделать ряд важных выводов, например обосновать существование последовательности субкарликов, расположенной на диаграмме Герцшпрунга–Рассела под главной последовательностью. Совместно с Б. В. Кукаркиным развил представление о звёздных подсистемах Галактики, изучал строение и кинематику разных под-



П. П. Паренаго

систем. Совместно с А. Г. Масевич нашёл (1949–1950), что каждой последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рассела соответствует своя форма связи между массой и светимостью звёзд. Разработал методы определения функции светимости и оценки полного числа звёзд в галактических подсистемах, построил теорию гравитационного потенциала Галактики. В 1940 г. разработал теорию поглощения света тёмными туманностями и предложил методы учёта этого эффекта. Особое внимание уделял изучению туманности Ориона и объектов, находящихся в ней. Изучил движение Солнца относительно 591 звезды в сфере радиусом 20 пк и определил галактическую орбиту Солнца в виде эллипса, эксцентриситет которого равен 0,30; большая полуось 10 кпк, а расстояние Солнца от галактического центра в нашу эпоху составляет 7,8 кпк (значение, весьма близкое к современному).

В 1947 г. впервые определил скорость и направление движения Галактики по отношению к её соседям В 1955 г. предложил комплексный план исследования избранных участков Млечного Пути, в выполнении которого приняли участие многие обсерватории. Написал первый в мировой литературе учебник по звёздной астрономии (1938), который неоднократно переиздавался. Был одним из авторов «Общего каталога переменных звёзд», а также монографии «Переменные звёзды» (т. 1–3, 1937–1947); вместе с Кукаркиным написал книгу «Переменные звёзды и способы их наблюдения» (1938, 1947). Автор ряда научно-популярных книг. Первый лауреат премии им. Ф. А. Бредихина АН СССР (1948).

ПАРИЙСКИЙ Юрий Николаевич (р. 23.5.1932, Москва, СССР) – российский радиоастроном, академик РАН (1992). Исследовал антенны переменного профиля и возможности синтеза изображений в радиоастрономии. Один из создателей радиотелескопа РАТАН-600. Изучил тонкую структуру Галактики и создал морфологический каталог её радиоисточников, рассмотрел вопросы эволюции радиоисточников. Доказал высокую однородность реликтового излучения, что привело к пересмотру теорий образования галактик.

ПАРКЕР, Юджин Ньюмен (Parker, Eugene N.) (р. 10.06.1927) – американский астрофизик. Выполнил пионерские работы по космической магнитной гидродинамике, предсказал свойства солнечного ветра, описал магнито-гравитационную («паркеровскую») неустойчивость. Автор книг «Динамические процессы в межпланетной среде» (1963, рус. пер. 1965) и «Космические магнитные поля» (1979, рус. пер. 1982). Удостоен многих научных наград.

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ – повышение температуры поверхности планеты, вызванное тем, что атмосфера осталась прозрачной для приходящего солнечного излучения, но при этом стала непрозрачной для уходящего с планеты инфракрасного излучения. Рост температуры поверхности продолжается до тех пор, пока баланс этих тепловых потоков не восстановится. Источником непрозрачности атмосферы для ИК-излучения обычно служат пары воды (H_2O) и двуокись углерода (CO_2). Парниковый эффект атмосферы особенно сильно проявляется на Венере, имеющей вследствие этого высокую температуру поверхности (733 К при эффективной температуре планеты около 240 К). Менее сильно парниковый эффект проявляется и на Земле, доводя её среднюю температуру до 288 К при эффективной около 253 К.

ПАРСЕК – расстояние до объекта, годичный параллакс которого равен одной угловой секунде (1″), отсюда и название – *пар*аллакс-*сек*унда. Эту единицу измерения расстояний и её английское наименование «parsec» как аббревиатуру выражения «parallax of one second» ввёл в астрономию в 1913 г. известный английский астроном Герберт Холл Тёрнер (Herbert Hall Turner, 1861–1930). Если параллакс (*p*) объекта измерен в секундах дуги, то расстояние до него в парсеках составляет $D = 1/p$.

В старых русских книгах слово «парсек» сокращали как «пс». После перехода к системе СИ, чтобы не путать с обозначением пикосекунды, парсек сокращают как «пк». 1 пк = 3,26 св. года = 206 265 а. е. = $3{,}086 \cdot 10^{16}$ м. В международных работах кроме стандартного обозначения «pc» разрешается употреблять «prs», поскольку при отсутствии в типографском наборе больших букв обозначение «pc» не от-

личить от «pC» (пикокулон). Правда, трудно представить, чтобы в практике могла встретиться подобная неоднозначность.

Парсек — внесистемная единица измерения, формально не рекомендованная к употреблению. Однако в астрономии парсек чрезвычайно удобен и популярен, поскольку близок к характерному расстоянию между звёздами. Например, ближайшая к Солнцу звезда — Проксима Кентавра — имеет параллакс 0,769″, что соответствует расстоянию в 1/0,769″ = 1,30 пк. Астрономы широко применяют также более крупные единицы: килопарсек (кпк), равный 1000 пк, и мегапарсек (Мпк), равный 1 млн пк.

ПАРУСА — южное созвездие; исторически это часть древнего созвездия Корабль Арго. Южная часть созвездия Паруса попадает на самые населённые области Млечного Пути, поэтому оно богато яркими звёздами. Невооружённым глазом в нём можно насчитать около 100 звёзд. По историческим причинам в нём нет звёзд α и β; самые яркие его светила обозначены как γ (Регор), δ, λ (Аль Сухайль), κ и μ. На границе Парусов и Киля находится астеризм Ложный Крест, который нередко вводит в заблуждение тех, кто впервые попадает в Южное полушарие. В отличие от настоящего Южного Креста, Ложный Крест направлен совсем не на южный полюс мира.

Двойная звезда γ Vel без труда разрешается в бинокль: её компоненты 2-й и 4-й звёздной величины разделены расстоянием в 41″. При этом главный компонент сам является сложной системой — это тесная двойная с орбитальным периодом 78,5 сут, в которой соседствуют очень горячая звезда спектрального типа O и редкая звезда типа Вольфа–Райе, имеющие массы соответственно 38 и 20 масс Солнца. Менее массивная из них с большой скоростью и в большом количестве теряет вещество со своей поверхности. Впервые звёзды этого типа описали в 1867 г. французские астрономы Шарль Вольф (1827–1918) и Жорж Райе (1839–1906). В спектре этой системы широкие разноцветные линии видны на довольно ярком непрерывном фоне. Астрономы называют эту звезду «спектральной жемчужиной южного неба».

Планетарная туманность NGC 3132, расположенная на границе с Насосом, похожа на туманность Кольцо в Лире, но, во-первых, сама туманность заметно ярче Кольца, а во-вторых, значительно ярче её центральная звезда, которую без труда можно разглядеть в маленький телескоп. Однако свечение газа в туманности возбуждается не этой звездой, а её маленьким спутником с температурой поверхности около 100 тыс. К.

В этом созвездии находится также один из самых необычных объектов оптической астрономии — нейтронная звезда-пульсар Vela с частотой пульсаций 11 импульсов в секунду. Это был второй оптический пульсар, открытый в 1977 г., спустя 10 лет после первого оптического пульсара в Крабе (созвездие Телец). Оба они являются и радиопульсарами. Лишь наиболее молодые пульсары демонстрируют оптические вспышки. Vela и Crab очень молоды, они образовались в результате взрывов сверхновых звезд: вспышка, породившая Крабовидную туманность, наблюдалась в 1054 г., а около 12 тыс. лет назад взорвалась звезда в Парусах, оставив вместо себя быстро вращающуюся нейтронную звезду и разлетающуюся во все стороны от неё газовую оболочку, диаметр которой сегодня достиг уже 6°. Эта очень красивая ажурная структура лежит на галактическом экваторе, между звёздами γ и λ Парусов.

ПАСИФЕ (J VIII, Pasiphaë) — естественный спутник Юпитера. Его открыл в 1908 г. английский астроном Ф. Мелотт (Philibert Jacques Melotte, 1880–1961). Большая полуось орбиты 23 609 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 741 сут. Эксцентриситет орбиты 0,374. Наклонение орбиты к эклиптике 145°. Диаметр от 36 до 60 км. Альбедо от 4% до 10%. Блеск $17{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°57′20″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К. Между 1955 и 1975 гг. этот спутник иногда проходил под именем Посейдон.

ПАССАЖНЫЙ ИНСТРУМЕНТ — телескоп, вращающийся лишь вокруг одной горизонтальной оси, ориентированной в направлении восток—запад. Оптическая ось телескопа перпендикулярна оси вращения. Служит для наблюдения объектов, пересекающих небесный меридиан. Собственно пассажные инструменты используют для определения моментов прохождения звёзд через меридиан, что позволяет вычислять их прямые восхождения или определять поправки точного времени. Разновидность пассажного инструмента — меридианный круг, имеющий высокоточную градусную шкалу («разделённый круг»), используют для определения экваториальных координат небесных объектов: их склонение измеряют по координатному кругу инструмента, а прямое восхождение — по моменту времени, когда светило прошло через меридиан (т. е. по моменту его кульминации).

ПАТЕРЫ (лат. *patera*, мн. *paterae*) — кратеры любого генезиса с неправильными или фестончатыми краями. Так же называют и вулканические жерла, окружённые потоками неправильной формы.

ПЕГАС — осеннее экваториальное созвездие, расположенное к юго-востоку от Лебедя. Вместе со звездой α Андромеды этот «летающий конь» образует Большой Квадрат Пегаса, который легко найти на небе. Вавилоняне и древние греки называли его просто «конём»; имя «Пегас» впервые появляется у Эратосфена, но крыльев конь ещё не имеет. Они возникли позже, в связи с легендой о Беллерофонте, получившем крылатого коня от богов, взлетевшем на нём и убившем крылатое чудовище химеру. В некоторых мифах Пегас также связан с Персеем. В созвездии Пегас нет звезды, помеченной буквой δ, но на некоторых старых картах такая звезда есть: это верхняя левая в Квадрате звезда Альферац, которую мы теперь знаем как α Андромеды. Альферац относится к тем ярким «общим» звездам, которые нередко лежат на границах созвездий. Решение о его «передаче» Андромеде было принято при окончательном разделе созвездий в 1928 г. Вместе с исчезновением звезды δ Peg Большой Квадрат стал «совместной собственностью» двух созвездий. В Пегасе, у границы с Малым Конём, находится одно из богатейших шаровых скоплений M15, а также спиральная галактика NGC 7331, изображение которой часто используют для того, чтобы дать представление о внешнем виде нашей Галактики.

Анализируя спектр звезды 51 Peg, швейцарские астрономы Мишель Майор и Дидье Келоз в 1995 г. заметили присутствие рядом с ней невидимого спутника — первой экзопланеты, обнаруженной у звезды солнечного типа.

ПЕЙН-ГАПОШКИНА, Сесилия (Payne-Gaposchkin, Cecilia) (10.05.1900, Уэндовер, близ Лондона, Англия, — 7.12.1979, Кембридж, шт. Массачусетс, США) англо-американский астроном, первой показавшая в 1925 г., что Солнце в основном состоит из водорода, что противоречило представлениям того времени.

Сесилия Пейн была третьим ребенком в семье Елены и Эдуарда Пейнов. Её отец — адвокат, историк и музыкант — умер, когда Сесилии было 4 года. Мать содержала большую семью одна. В 1919 г. Сесилия блестяще окончила женскую школу и, получив стипендию, поступила в Кембриджский университет, где занялась ботаникой, химией и физикой. Несколько месяцев спустя она попала на лекцию Артура Эддингтона — ведущего английского астронома того времени. Эддингтон рассказывал о теории относительности Эйнштейна и последних опытах по проверке этой теории. Лекция произвела на Сесилию огромное впечатление, и она решила заниматься астрономией. По окончании университета в 1923 г. Сесилия в поисках научной работы (в Кембридже тогда не давали учёную степень женщинам)

отправилась в США и была принята в Гарвардскую обсерваторию. В 1925 г. она стала первым учёным, получившим докторскую степень за работу, сделанную в Гарвардской обсерватории. Естественно, учёную степень ей присвоил Рэдклиффский колледж, а не Гарвард. Эта диссертация была опубликована в 1925 г. в серии монографий Гарвардской обсерватории под номером 1 и называлась «Звёздные атмосферы».

В своей работе мисс Пейн собрала все имеющиеся лабораторные спектроскопические данные и сравнила их с измерениями и оценками глубины спектральных линий, которые она провела на сотнях гарвардских фотографий. В то время ничего не было известно о физических условиях в звёздных атмосферах. Одной из важнейших диаграмм, приведённых в книге Пейн, стала предложенная ею первая температурная шкала для горячих звёзд. Эту шкалу Сесилия вывела из теории тепловой ионизации, незадолго до этого разработанной физиками М. Саха, Р. Фаулером и Э. Милном. Мисс Пейн определила также содержание химических элементов в звёздных атмосферах и нашла «поразительное сходство с составом Земли». Но, отметила она, в отличие от земного вещества, звёздные атмосферы, по-видимому, в основном состоят из водорода и гелия.

Темой второй книги мисс Пейн стали «Звёзды высокой светимости» (1930). Книга была издана в серии Монографий Гарвардской обсерватории под номером 2. Будучи настоящей энциклопедией астрофизики, эта книга несёт печать огромных способностей Сесилии Пейн в деле обработки лабораторных данных и её знаний в области астрономической спектроскопии.

После окончания этой работы Пейн занялась фотографической фотометрией. Для исследования структуры Млечного Пути по переменным звёздам нужны были точные определения блеска звёзд сравнения на гарвардских пластинках. Это была большая работа, и публикации Пейн на эту тему появились лишь в 1930-е гг. Тем временем Сесилия открыла для себя эмиссионные и переменные звёзды.

В 1931 г. Сесилия получила американское гражданство. В 1933 г., путешествуя по Европе, она познакомилась в Германии с астрономом русского происхождения Сергеем Гапошкиным, специалистом по затменным двойным звёздам. В 1934 г. мисс Пейн вышла замуж за Гапошкина, незадолго до того принятого в штат Гарвардской обсерватории. В дальнейшем Сесилия и Сергей работали вместе.

В 1939 г. вышла монография Гапошкиных «Переменные звёзды», и вскоре астрономы стали пользовать её как справочник. В конце 1930-х и в 1940-е гг. чета Гапошкиных провела всестороннее исследование всех известных переменных звёзд ярче десятой звёздной величины. Они провели 1,25 млн оценок блеска звёзд на гарвардских пластинках и построили по ним около 2000 кривых блеска переменных звёзд. Так был собран огромный однородный материал, дающий возможность выявить связь между характеристиками различных переменных. Именно этот материал дал возможность Э. Герцшпрунгу заметить зависимость между периодом и формой кривой блеска у цефеид.

В течение 1950-х гг. Сесилия Пейн-Гапошкина написала четыре книги, посвящённые эволюции звёзд, цефеидам, переменным звёздам как ключу к шкале расстояний и новым звёздам. На протяжении многих лет она изучала переменные звёзды в Магеллановых Облаках. Одна из лучших её научно-популярных книг «Stars in the making» (1952) переведена на русский: Пэйн-Гапошкина Ц. «Рождение и развитие звёзд». М.: Изд-во иностр. лит., 1956.

ПЕКУЛЯРНЫЕ ГАЛАКТИКИ (англ. *peculiar* — необычный, особенный) — галактики необычной формы, не укладывающиеся в простую схему морфологической классификации галактик (эллиптическая, спиральная и др.), предложенную Хабблом. Часто признаком пекулярности служат длинные выступающие детали — «мосты», «усы», возникающие в результате приливного взаимодействия двух или нескольких тесно расположенных галактик.

ПЕКУЛЯРНЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые отличаются от обычных звёзд того же спектрального класса какими-либо существенными особенностями в оптическом спектре, а иногда и другими свойствами. Причины — аномалии химического состава, наличие сильного магнитного поля и т. д.

ПЕНЗИАС, Арно Элан (Penzias, Arno Allan) (р. 26.04.1933, Мюнхен, Германия) — американский радиофизик и астроном. Нобелевская премия по физике (1978) совместно с Р. В. Уилсоном за открытие (1965) реликтового излучения — микроволнового фонового радиоизлучения, заполняющего Вселенную.

ПЕНТАПРИЗМА — призма из оптического стекла, имеющая пять плоскостей. Применяется в зеркальных фотокамерах для получения прямого изображения в видоискателе. Устанавливается в верхней части камеры, над матовым стеклом, на котором после отражения от зеркала объектив строит изображение. Пентапризмы используются в фотокамерах марки «Зенит», «Pentax» и др. У некоторых камер пентапризма съёмная, заменяемая «колодцем» из тёмных шторок. На одной из граней пентапризмы обычно устанавливается датчик электронного экспонометра системы TTL. Пентапризму можно считать вариантом оборачивающей призмы.

ПЕПЕЛЬНЫЙ СВЕТ ЛУНЫ — слабое свечение ночной стороны Луны, освещённой солнечным светом, отражённым Землёй. Пепельный свет особенно заметен в период малых фаз Луны, непосредственно перед новолунием или сразу после него, когда почти вся освещённая Солнцем поверхность Земли обращена к Луне. Это очень красивое явление. Его английское название — *earthshine* или *earthlight* — явно указывает на связь с Землёй. Для его описания существует популярная поэтическая фраза: «The old Moon in the new Moon's arms» (Старая Луна в объятьях молодой) и симметричная ей фраза: «The new Moon in the old Moon's arms». Некоторые астрономы прошлого отмечали, что в разные годы и сезоны пепельный свет Луны имеет немного разные яркость и оттенок. Было подозрение, что это связано с разной степенью облачного покрытия Земли, от которого зависит степень отражения света (альбедо). С 1994 г. на обсерватории Биг-Бэр (США), а позже и на других обсерваториях началось регулярное высокоточное измерение яркости пепельного света Луны с целью мониторинга альбедо Земли, и уже обнаружены его колебания.

ПЕРВАЯ ЧЕТВЕРТЬ — фаза растущей Луны, при которой её диск освещён ровно наполовину.

ПЕРВИЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ — космические лучи, приходящие в точку наблюдения из космического пространства и не испытавшие взаимодействия со средой (например, с атмосферой Земли). Соответственно, вторичными космическими лучами называют элементарные частицы, образовавшиеся при столкновениях первичных космических лучей с молекулами газов атмосферы Земли.

ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ — формирование атомных ядер, происходившее в течение первых трёх минут после Большого взрыва, пока высокая плотность и температура благоприятствовали ядерным реакциям.

ПЕРВИЧНЫЙ ФОКУС — фокус объектива телескопа. У рефлекторов — фокус главного зеркала. Синонимы — главный фокус, прямой фокус.

ПЕРВЫЙ ВЕРТИКАЛ — большой круг небесной сферы, проходящий через зенит и точки востока и запада на горизонте. См. *Вертикал.*

ПЕРДИТА (U XXV, Perdita) — естественный спутник Урана. Его открыл Эрик Каркошка 18 мая 1999 г. на снимках, полу-

ченных «Вояджером-2» 18 января 1986 г. Но окончательно доказать существование этого спутника удалось только в 2003 г. с помощью снимков с космического телескопа «Хаббл». Большая полуось орбиты 76 417 км. Орбитальный период 0,638021 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0012. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,0°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размер 30×30×30 км. Масса около $2 \cdot 10^{16}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 5 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 11 м/с. Видимый блеск 24^m и максимальное угловое расстояние от планеты 6″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 64 К.

ПЕРЕБРАСЫВАЮЩАЯ ЛИНЗА — линза или система линз в оптической системе, основным назначением которой является перенос фокальной плоскости системы в удобное положение.

ПЕРЕВЁРНУТОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ — изображение, ориентированное «вверх ногами», т. е. повёрнутое на 180° по отношению к объекту, наблюдаемому непосредственно. Все обычные астрономические телескопы при наблюдении в окуляр дают именно перевёрнутое изображение. Такова особенность оптической схемы телескопа Кеплера (положительный объектив и положительный окуляр). При наблюдении астрономических объектов перевёрнутое изображение не создает неудобств. Зрительные трубы и бинокли, предназначенные для рассматривания земных предметов, дают прямое, не перевёрнутое изображение. Для этого в их оптическую схему обычно вводятся дополнительные элементы: линзовая или призменная оборачивающие системы. Впрочем, театральные бинокли, сделанные по схеме трубы Галилея (положительный объектив и отрицательный окуляр), дают прямое изображение и без оборачивающей системы.

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ — преобразование Фурье от аппаратной функции системы (ФРТ). Модуль передаточной функции есть частотно-контрастная характеристика.

ПЕРЕМАСШТАБИРОВАНИЕ — способ увеличения или уменьшения углового размера изображения непрерывным образом. Некоторые производители выпускают окуляры с переменным фокусным расстоянием, позволяющие менять увеличение телескопа во время наблюдений, однако по качеству изображения подобные окуляры уступают окулярам с фиксированным фокусным расстоянием, и, кроме того, они заметно тяжелее обычных. Перемасштабирование изображения возможно и после его регистрации в цифровой форме. Большинство пакетов программ для обработки изображений имеют встроенные средства для перемасштабирования.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, заметно изменяющие свой видимый блеск. Затменная переменная звезда — двойная система, в которой один компонент периодически закрывает другой от наблюдателя на Земле. Физические переменные звёзды, такие как цефеиды, вспыхивающие звёзды, новые и сверхновые, действительно изменяют свою светимость в результате внутренних процессов. Переменные звёзды обозначают в порядке их обнаружения в каждом созвездии: первую обозначают буквой R, вторую — буквой S, затем T и т. д. После Z идут обозначения RR, RS, RT и т. д. После ZZ идёт AA и т. д. Букву J не используют, чтобы не было путаницы с I. Когда все эти комбинации истощаются (всего их 334), то продолжают нумерацию цифрами с буквой V (от *variable* — переменный), начиная с V335. Примеры: S Car, RT Per, V557 Sgr.

Большинство переменных звёзд либо очень молоды, либо стары. Поэтому удобнее всего классифицировать их в соответствии с возрастом, т. е. со стадией их эволюции.

Молодые переменные звёзды — звёзды, которые формируются или находятся на ранней стадии эволюции. К ним относятся звёзды типа T Тельца, демонстрирующие нерегулярные изменения блеска и часто окутанные облаками пыли и газа.

Переменные Хаббла—Сэндиджа — массивные звёзды большой светимости с нерегулярным изменением блеска. В эту группу входят звёзды максимальной светимости нашей и соседних галактик. Возраст таких звёзд всего несколько миллионов лет, а их массы лежат в диапазоне от 60 до 200 масс Солнца. В нашей Галактике такими звёздами являются P Лебедя и η Киля, интенсивно теряющие массу в виде звёздного ветра.

Пульсирующие переменные периодически расширяются и сжимаются, а их блеск синхронно усиливается и ослабляется. Среди пульсирующих переменных наиболее известны цефеиды, названные так по прототипу — звезде δ Цефея. Изменение цвета, светимости и скорости движения поверхностного слоя у классической цефеиды происходит с определённым периодом. Но самое интересное — чем больше этот период, тем больше средняя светимость звезды. А поскольку видимый блеск звезды меняется обратно пропорционально квадрату расстояния до неё, то, измерив блеск и определив по периоду светимость цефеиды, можно вычислить расстояние до неё. Классические цефеиды имеют массы порядка 5 масс Солнца и возраст от нескольких до 100 млн лет (см. *Цефеиды*).

Пульсирующие переменные звёзды типа β Цефея изменяют, вероятно, не столько свой размер, сколько форму. Они значительно моложе Солнца.

Некоторые пульсирующие переменные звёзды очень стары: их возраст доходит до 13 млрд лет, а массы составляют от 0,6 до 2 масс Солнца. Например, это переменные типа RR Лиры с периодами менее суток и светимостью от 50 до 100 солнечных. Сюда же относятся цефеиды старого населения Галактики (переменные типа W Девы), обнаруженные в шаровых скоплениях. Их периоды сравнимы с периодами классических цефеид, хотя светимость заметно слабее, и ведут они себя немного иначе. Вероятно, родственны этой группе и звёзды типа δ Щита, которые часто называют «карликовыми цефеидами».

Четвёртая группа пульсирующих переменных состоит из холодных старых звёзд с обширными оболочками. В эту группу входят полуправильные и долгопериодические переменные типа Миры Кита (о Cet), мириды. Полуправильные звёзды являются сверхгигантами с массами от 8 до 40 солнечных масс. На конечной стадии эволюции у них наблюдаются нерегулярные пульсации, как это видно на примерах Бетельгейзе и Антареса. Типичные периоды мирид составляют от 200 до 450 сут, а светимости достигают 10 тыс. солнечных; диапазон их масс от 0,8 до 3 солнечных. Динамика их пульсаций усложняется развитием ударных волн. Мириды образуют непрерывную последовательность с переменными OH/IR, в спектрах которых видны гидроксильные (OH) эмиссионные линии, а сами звёзды так холодны, что в основном излучают в инфракрасном диапазоне (IR). Это умирающие звёзды, окружённые огромными газово-пылевыми оболочками.

Затменные переменные. Многие переменные звёзды входят в двойные системы. Блеск некоторых из них (например, Алголя) меняется для земного наблюдателя из-за периодического затмения их поверхности более холодным спутником. Изменение блеска других обусловлено внутренними причинами. К группе таких звёзд относятся переменные типа RS Гончих Псов, холодные старые звёзды с активными хромосферами и пятнистой поверхностью. Наиболее интересны в этой группе те системы, в которых белый карлик, нейтронная звезда или чёрная дыра соседствуют с более или менее нормальной звездой. Такие системы могут быть переменными в ультрафиолетовом или рентгеновском диапазонах. В этих системах вещество, теряемое нормальной звездой, падает на белый карлик или попадает в аккреционный диск вокруг нейтронной звезды или чёрной дыры. В объекте

SS 433 звезда-гигант, вероятно, является членом двойной системы вместе с нейтронной звездой, окружённой аккреционным газовым диском, из которого вещество выбрасывается со скоростью $^1/_4$ скорости света.

Наиболее известными системами, состоящими из белого карлика и близкого к нему спутника, являются классические новые звёзды, карликовые новые и симбиотические переменные. Блеск классических новых может усилиться в миллион раз, а затем быстро ослабеть. Карликовые новые усиливают свой блеск от 6 до 200 раз, а ослабление происходит за время от 10 до сотен дней. Симбиотическая звезда — это система, состоящая из холодной красной звезды и её маленького горячего спутника, причём вся система окутана облаком ионизованного газа.

Сверхновые. Самыми замечательными переменными звёздами считаются сверхновые, которые в момент вспышки нередко становятся ярче целой галактики. В исторические времена в нашей Галактике наблюдались вспышки сверхновых: породившая Крабовидную туманность вспышка 1054 г.; Сверхновая Тихо (1572); Сверхновая Кеплера (1604). Это мощные взрывы, почти полностью разрушающие звезду.

Различают два типа сверхновых. Сверхновые I типа наблюдаются в звёздных системах, лишённых молодых звёзд (в эллиптических галактиках), и в максимуме достигают светимости $6 \cdot 10^9$ солнечных. Вероятно, это взрываются белые карлики, на которые в двойных системах происходит аккреция вещества с соседней звезды до тех пор, пока масса карлика не превысит предел Чандрасекара (1,4 массы Солнца). Сверхновые II типа образуются при взрыве молодых массивных звёзд (15–30 масс Солнца) и достигают светимости $4 \cdot 10^8$ солнечной.

Сверхновые обоих типов производят в процессе взрыва химические элементы тяжелее железа и выбрасывают их в межзвёздное пространство. Эти взрывы могут стимулировать рождение звёзд следующего поколения; возможно, так родилась и Солнечная система.

Спектральные переменные. Это относительно молодые звёзды с температурой поверхности 10–15 тыс. К. Их блеск меняется слабо, но в процессе вращения звезды в её спектре наблюдаются сильные изменения, указывающие, что в разных областях поверхности звезды сконцентрированы различные металлы. У этих звёзд мощное (более 30 кГс) переменное магнитное поле.

Звёзды типа UV Кита. Это относительно молодые звёзды-карлики типа Солнца, вспышки которых похожи на солнечные, но более мощные. На небольших участках их поверхности существуют сильные магнитные поля.

Звезды типа R Северной Короны. Это старые звёзды, богатые углеродом. Их ровное свечение иногда прерывается неожиданным ослаблением блеска во много раз, а затем восстанавливается. Вероятно, в атмосфере звезды время от времени образуются облака сажи, поглощающие её свет, которые затем рассеиваются.

Внутри этих основных типов переменных звёзд и помимо них существует множество групп и подтипов (см., например, *Фуоры. Цефеиды, Новые, Сверхновые*).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА α^2 ГОНЧИХ ПСОВ (α^2 CVn) — вращающиеся переменные звёзды, известные также как спектральные переменные. Это звёзды главной последовательности спектральных классов от B8p до A7p с сильным магнитным полем. В спектрах таких звёзд очень сильны линии кремния, стронция, хрома и редкоземельных элементов. Наблюдаемая интенсивность этих линий меняется в результате вращения звезды. Изменение интенсивности магнитного поля и блеска происходит с периодами от 0,5 до 160 сут; амплитуда изменения блеска составляет от $0{,}01^m$ до $0{,}1^m$. Считается, что именно сильное магнитное поле звёзд типа α^2 Гончих Псов (α^2 Canum Venaticorum) ответственно за различия в составе и блеске разных областей поверхности звезды. Физически это эквивалентно тому, как более слабое магнитное поле на поверхности Солнца приводит к образованию тёмных солнечных пятен.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА β ЛИРЫ (β Lyr) — тесные двойные системы, демонстрирующие как эллипсоидальную, так и затменную переменность блеска. Под действием взаимного приливного влияния звёзды приобретают несферическую (в первом приближении — эллипсоидальную) форму. Даже если компоненты системы не затмевают друг друга, в разных фазах орбитального периода мы смотрим на них под разными углами зрения и поэтому видим разное количество света. Изменение блеска этих звёзд происходит непрерывно и весьма гладко, в отличие от внезапных изменений блеска обычных затменных систем. Прототипом этой группы является звезда β Лиры (β Lyrae).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА β ЦЕФЕЯ (β Cep) — пульсирующие переменные спектральных классов от O9 до B3, с короткими периодами от 3,5 до 6 часов и амплитудой $0{,}1–0{,}3^m$ (меньше, чем у цефеид). Звезды типа β Цефея (β Cephei) занимают узкую полосу на диаграмме Герцшпрунга–Рассела вблизи звёзд с массами 10–20 масс Солнца, у которых в ядре горит водород. Большинство таких звёзд обладает радиальными пульсациями, но несколько звёзд отличаются странным видом кривой блеска.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА δ ЩИТА (δ Scu) — пульсирующие переменные звёзды, демонстрирующие небольшие правильные изменения блеска, с амплитудами от 0,003 до 0,9 звёздных величин и периодами от 0,25 до 5 часов. Это объекты населения I типа, спектральных классов A0–F5, расположенные в нижней части полосы нестабильности на диаграмме Герцшпрунга–Рассела. Они могут находиться на главной последовательности или среди субгигантов и гигантов. Хотя эти звёзды напоминают переменные звёзды типа δ Цефея (цефеиды) и иногда их ещё называют устаревшим термином «карликовые цефеиды», они одновременно могут иметь моды как радиальных, так и нерадиальных пульсаций. Это близкие родственники звёзд типа SX Phe и звёзд типа Al Vel.

Прототип этой группы переменных — звезда δ Scuti, широкая тройная система, расположенная на расстоянии 187 св. лет от нас. Главный компонент системы — звезда δ Scu A (спектральный класс F2, визуальный блеск $4{,}71^m$, светимость $33\,L_\odot$, масса $2{,}3\,M_\odot$) имеет два главных периода: 4,65 и 4,48 часа. Остальные периоды равны 2,79; 2,28; 2,89 и 20,11 часа. Амплитуда изменения блеска составляет $0{,}2^m$.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА γ КАССИОПЕИ (γ Cas) — быстро вращающиеся эруптивные переменные звёзды спектральных классов BeIII — BeV, у которых в спектрах временами появляются серии сильных и резких абсорбционных линий (линий поглощения), обусловленных ослаблением блеска веществом, выброшенным из экваториальной области. После отделения от звезды это вещество может собираться в кольцо (у некоторых звёзд типа Be) или сформировать оболочку (у звёзд с оболочками), и это сопровождается ослаблением блеска с амплитудой до $1{,}5^m$. Самыми известными звёздами этой группы являются сама γ Кассиопеи (γ Cassiopeiae) и Плейона в скоплении Плеяды.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА Al ПАРУСОВ (Al Vel) — пульсирующие переменные, похожие на звёзды типа δ Щита, но с большими амплитудами изменениями блеска (до $1{,}2^m$) и периодами от 1 до 5 часов. Прототип — звезда Al Velorum — расположена в созвездии Парусов и является самой яркой звездой в своей группе, с блеском от $6{,}4^m$ до $7{,}1^m$. Раньше эти звёзды называли карликовыми цефеидами.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА АМ ГЕРКУЛЕСА (AM Her) — тип магнитных катаклизмических переменных, представляющих собой тесную двойную звезду, состоящую из близко расположенных друг к другу карлика спектрального класса K или M и белого карлика с сильным магнитным полем. Главной (более яркой)

звездой является белый карлик, магнитное поле которого не только предотвращает образование аккреционного диска, но и синхронизирует вращение главной звезды с её орбитальным периодом. Среди всех известных объектов именно у таких систем наиболее поляризованное излучение, поэтому их называют полярами. У них очень сильная не только линейная, но и — что более важно — круговая поляризация. Сильное магнитное поле (10^7–10^8 Гс) белого карлика захватывает падающее с красного карлика вещество до того, как оно смогло бы образовать аккреционный диск, и направляет его поток в аккреционную воронку, один конец которой направлен к северному магнитному полюсу звезды, а другой — к южному. Сходясь к полюсам, силовые линии магнитного поля направляют поток вещества на крошечные полярные аккреционные пятна. Скорость потока, падающего на поверхность белого карлика, составляет примерно 3000 км/с. Газ сжимается, разогревается, и его кинетическая энергия превращается в рентгеновское излучение.

Магнитное поле белого карлика влияет и на вращение звёзд, поэтому они всегда обращены друг к другу одной и той же стороной. Правда, примерно у каждой десятой звезды типа AM Her орбитальный период отличается от периода вращения примерно на 1%. Более того, магнитное поле белого карлика часто наклонено так, что один магнитный полюс направлен в ту сторону, откуда приходит поток; в результате вещество в основном течёт к этому полюсу.

Затмения в системах AM Her позволяют восстановить геометрию потока. Кривые блеска показывают, что небольшие и быстрые затмения аккреционного пятна на полюсе, смотрящем на поток, излучают почти половину всей мощности системы. Большая часть остального излучения исходит из широкого потока, который в ходе затмения постепенно уменьшается и так же медленно восстанавливается. Амплитуда изменения оптического блеска у звёзд типа AM Her может доходить до $4–5^m$.

Прототип этого класса переменных — звезда AM Herculis — расположена в созвездии Геркулес, её орбитальный период равен 3,1 часа. В «Общем каталоге переменных звёзд» она была отнесена к неправильным переменным с блеском, меняющимся от 12^m до 14^m. Так считалось до 1976 г., когда начала проявляться истинная природа системы. Было установлено, что это оптический двойник рентгеновского источника 3U 1809+50, обнаруженного спутником «Ухуру». Некоторые особенности изменения блеска звезды в оптическом диапазоне объясняются поведением красного карлика. Во-первых, красный карлик деформирован: он имеет яйцеобразную форму. Вытянут он из-за притяжения своего компаньона, в сторону которого направлена его большая ось. Когда вторичный компонент виден сбоку, он выглядит немного шире, чем когда он виден с торца. Поэтому из-за вращения всей системы в течение периода изменения блеска появляются два длинных слабых максимума и два длинных неглубоких минимума. Во-вторых, иногда появляются флуктуации, обусловленные разогревом поверхности красного карлика рентгеновским излучением главного компонента. Это «горячее пятно» периодически пропадает из виду, при вращении звезды оно скрывается от нас. Короткопериодические изменения обусловлены турбулентностью переноса массы в системе.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА AM ГОНЧИХ ПСОВ (AM CVn) — группа редких катаклизмических переменных, состоящих из двух очень близких карликов, образующих полуразделённую систему с аккрецией. Их ещё называют тесными двойными. Эти звёзды богаты гелием, и в их спектрах нет даже следов водорода. Характеризуются короткими периодами; у прототипа — звезды AM Canum Venaticorum — период равен 18 минутам.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА BY ДРАКОНА (BY Dra) — вращающиеся переменные звёзды спектральных классов G, K и M с квазипериодическим изменением блеска, имеющим амплитуду от нескольких сотых долей звёздной величины до $0,5^m$ и период от нескольких часов до 120 сут. Эти изменения блеска обусловлены особенностями поверхностей звёзд, например наличием пятен, которые то появляются на видимой стороне звезды, то в результате вращения звезды исчезают за её лимбом. Некоторые из этих звёзд демонстрируют вспышки, похожие на вспышки звёзд типа UV Кита (UV Cet), в этом случае их относят к обеим группам. Сама звезда BY Дракона (BY Draconis) является тесной двойной системой с орбитальным периодом 5,9 сут, состоящей из карликов спектрального класса K6V и M0V. Расстояние между компонентами составляет 0,05 а. е. Звезда спектрального класса M демонстрирует вспышки, увеличивающие её яркость в 2–4 раза. Кроме того, у этой звезды наблюдаются изменения блеска, связанные с орбитальным движением и активностью хромосферы.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА ER БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (ER UMa) — разновидность переменных звёзд типа SU UMa (один из видов карликовых новых), у которых интервал между супервспышками очень короткий. Звёзды типа ER Большой Медведицы (ER Ursae Majoris) обычно проводят от трети до половины своего времени в состоянии супервспышки; длительность суперцикла (интервала между супервспышками) составляет от 20 до 50 сут. Вне супервспышки эти звёзды демонстрируют частые (примерно раз в 4 сут) обычные вспышки.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА FK ВОЛОС ВЕРОНИКИ (FK Com) — быстро вращающиеся звёзды-гиганты спектральных классов G и K (по размеру они больше Солнца, но температура поверхности у них почти такая же), изменения блеска которых имеют периоды, равные периоду вращения — несколько суток. Изменения блеска с амплитудой в несколько сотых долей звёздной величины обусловлены областями поверхности, которые ярче окружающей их поверхности. Звёзды типа FK Волос Вероники (FK Comae Berenices), видимо, представляют позднюю стадию эволюции звёзд с общей оболочкой, в которых слились ядра звёзд-предшественниц.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА FU ОРИОНА (FU Ori) — см. *Фуоры*.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА DQ ГЕРКУЛЕСА (DQ Her) — магнитные катаклизмические переменные, двойные системы, в которых белый карлик имеет магнитное поле напряжённостью 10^6–10^7 Гс. Это весьма сильное поле, но всё же оно слабее, чем магнитное поле звёзд типа AM Her. Поэтому звёзды типа DQ Her иногда называют промежуточными, или переходными, полярами.

У прототипа этих переменных, звезды DQ Геркулеса, в 1934 г. наблюдалась мощная вспышка (Новая Геркулеса 1934). Звёзды типа DQ Геркулеса представляют собой двойную систему, где главная (более яркая) звезда — белый карлик, а её спутник — красный карлик. В системе DQ Her аккреционный диск, формирующийся из вещества красного карлика, разрушается магнитным полем вблизи белого карлика. Когда вещество аккреционного диска добирается до белого карлика, то оно стребается его магнитным полем и образует аккреционные потоки вдоль магнитных линий. Магнитосфера белого карлика наклонена по отношению к орбитальной плоскости и поэтому разрушает аккреционный диск; газ направляется по самому короткому пути вдоль магнитных линий. Затем оно врезается в магнитные полюса белого карлика и вызывает сильное излучение. Хотя магнитосфера белого карлика очень сильна, она всё же не в состоянии синхронизировать период орбитального обращения белого карлика с периодом его осевого вращения, как это наблюдается у звёзд типа AM Her.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА PV ТЕЛЕСКОПА (PV Tel) — голубые пульсирующие сверхгиганты спектрального класса

Bp со слабыми линиями водорода и сильными линиями гелия и углерода. Иногда их называют звёздами с сильными линиями гелия. Амплитуда пульсаций составляет примерно $0{,}1^m$. Период изменений — от 2 часов до года. Прототип — звезда PV Телескопа (PV Telescopii). Известно всего около десятка таких звёзд, и они плохо изучены.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА R БОЛЬШОГО ПСА (R CMa) — полуразделённые, затменные двойные системы, в которых менее массивный компонент фактически заполняет свою полость Роша. Блеск прототипа группы — звезды R Большого Пса (R Canis Majoris) — меняется от $6{,}7^m$ до $5{,}9^m$ с периодом 27 часов.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ (R CrB) — эруптивные переменные звёзды-сверхгиганты спектрального класса F или G, в атмосфере которых много углерода и мало водорода. Отличительной чертой этих звёзд является то, что их активность проявляется не в виде временного повышения светимости, как у вспыхивающих звёзд, а, напротив, в виде временного снижения светимости, особенно заметного в видимом диапазоне спектра. По этой причине звёзды типа R Северной Короны иногда называют антивспыхивающими.

Считается, что блеск таких звёзд снижается следствие выброса богатого углеродом вещества в определённой фазе пульсации атмосферы. Двигаясь наружу, облако богатого углеродом газа постепенно остывает, и углерод конденсируется в мелкие пылинки, которые поглощают большую часть света, излучаемого фотосферой звезды. Только после того, как под давлением излучения эта пыль полностью рассеивается, блеск звезды возвращается к нормальному состоянию. В максимуме блеска у звёзд типа R CrB наблюдаются небольшие колебания с амплитудами в несколько сотых долей звёздной величины и периодами от 20 до 100 дней.

Прототип этих переменных — сама звезда R Северной Короны (R Coronae Borealis) — типичный представитель своего класса. Её переменность около 200 лет назад обнаружил Эдуард Пиготт. Большую часть времени звезда находится в состоянии максимального блеска, имея видимую звёздную величину около 6^m. Но временами она начинает тускнеть, и этот процесс может длиться несколько недель. Блеск звезды иногда ослабевает на 8 звёздных величин, и в таком состоянии она может оставаться на протяжении многих месяцев. Но бывает, что сразу после минимума блеска звезда несколько раз восстанавливает блеск и сразу же вновь тускнеет. Часто окончательное восстановление максимального блеска происходит очень медленно и занимает от нескольких месяцев до года. В нормальном состоянии это сверхгигант спектрального класса F8 или G0 Ib.

В эволюции звезды фаза R CrB, вероятно, довольно кратковременна: она может длиться около 1000 лет. Об этом свидетельствует малое количество звёзд этого типа — их известно не более 50. Эволюционный статус таких звёзд неясен. Обычно обсуждаются два варианта: (1) модель двойной вырожденной звезды и (2) модель финальной гелиевой вспышки. Каждая из этих теорий рассматривает расширение оболочки белого карлика в фазе сверхгиганта. Но в первой модели происходит слияние двух белых карликов, а во второй предполагается, что в фазе сверхгиганта оболочка одиночного белого карлика расширяется, и происходит финальная гелиевая вспышка.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА RR ЛИРЫ (RR Lyr) — пульсирующие короткопериодические жёлтые или белые гиганты. Звезды типа RR Лиры (RR Lyrae) относятся к населению II типа и наблюдаются в шаровых скоплениях (отсюда их старое название — переменные скоплений) или в галактических гало. Периоды изменения блеска этих переменных составляют от 0,2 до 2 сут, амплитуды изменения блеска — от $0{,}3^m$ до 2^m, а спектральные классы — от A2 до F6. Кривые блеска некоторых звёзд типа RR Лиры похожи на кривые блеска цефеид (из-за этого они получили уже устаревшее название — цефеиды скоплений, или короткопериодические цефеиды). Как и цефеиды, эти переменные можно использовать в качестве индикаторов расстояний («стандартных свечей»). Но по сравнению с цефеидами звёзды типа RR Лиры более старые, менее массивные (около $0{,}8 M_\odot$) и более тусклые: их типичная светимость составляет около 45 светимостей Солнца (абсолютная звёздная величина около $+0{,}75^m$).

Различают две подгруппы звёзд типа RR Лиры: RRab, пульсирующие в основной моде, и RRc, пульсирующие в первом обертоне. У звёзд RRab асимметричная кривая блеска — с резким усилением и медленным ослаблением. А звезды RRc меняют свой блеск почти синусоидально с амплитудами менее $0{,}8^m$. Наличие разброса или большая амплитуда изменения блеска некоторых из этих переменных часто указывает на пульсации в двух модах, а также на эффект Блажко.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА RS ГОНЧИХ ПСОВ (RS CVn) — эруптивные переменные звёзды, являющиеся также и тесными двойными системами. Амплитуда изменения блеска этих звёзд может достигать $0{,}2^m$, а периоды близки к орбитальным. На эти короткопериодические изменения накладываются долговременные циклы хромосферной активности, похожие на солнечные циклы и длящиеся от 1 до 4 лет. Сама двойная звезда RS Гончих Псов (RS Canum Venaticorum) состоит из компонентов спектральных классов F5V и K2IV.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА RV ТЕЛЬЦА (RV Tau) — яркие жёлтые пульсирующие сверхгиганты, кривая блеска которых показывает чередующиеся глубокие и мелкие минимумы с периодами (от глубокого минимума до следующего глубокого) от 30 до 150 сут и амплитудами до 4^m. Спектральный класс в минимуме от F до G, в максимуме — от G до K. По-видимому, звёзды типа RV Тельца (RV Tauri) являются промежуточным звеном между цефеидами и лиридами. Возможно, это маломассивные звёзды (по крайней мере, у некоторых из них низкая металличность), находящиеся на пути от асимптотической ветви гигантов к белым карликам. Из-за высокого темпа потери массы часть этих звёзд может стать планетарными туманностями, а некоторые из них могут эволюционировать так медленно, что оболочка рассеется ещё до начала процесса фотоионизации. Поскольку переход от асимптотической ветви гигантов к белым карликам не совсем понятен, звёзды типа RV Tau могут стать хорошим материалом для изучения этой эволюционной стадии. Эта фаза звёздной эволюции очень короткая — она длится всего несколько тысяч лет.

Существуют две группы звёзд типа RV Tau: тип RVa (его представителем служит звезда R Щита) сохраняет почти постоянный средний блеск, а тип RVb (к нему относится сама RV Tau) имеет длинные периоды — от 600 до 1500 сут. Инфракрасные наблюдения показывают, что звёзды типа RV Tau имеют пылевые околозвёздные оболочки, которые могут пульсировать. Учитывая плавный переход от типа RVa к типу RVb, можно предположить, что эти типы фактически не различаются. Звёзды типа RVb могут находиться в активной фазе, в которой пылевая оболочка пополняется пылью, образованной вблизи звезды. Пыль может выметаться вместе с утечкой газа и при отсутствии образования новой пыли; тогда звезда переходит в тип RVa, с менее плотной оболочкой. У звёзд типа RVa могут быть более тонкие пылевые оболочки, или же их пыль может располагаться на большом расстоянии.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА S ЛИСИЧКИ (S Vul) — долгопериодические переменные звёзды. Это жёлтые гиганты или сверхгиганты, ведущие себя большую часть времени как цефеиды, но иногда вступающие в фазу неустойчивости, когда их поведение становится непредсказуемым. Период самой S Лисички (S Vulpeculae) составляет 68,5 сут.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА SS ЛЕБЕДЯ (SS Cyg) – звёзды, относящиеся к одному из трёх подклассов переменных типа U Gem (белые карлики). Второй подкласс составляют звёзды типа SU UMa, а третий – Z Cam. Подкласс назван по имени первой открытой звезды этого типа – SS Лебедя (SS Cygni). Такие звёзды демонстрируют вспышки с амплитудами от 2^m до 6^m. Увеличение блеска происходит в течение 1–2 сут, а уменьшение иногда занимает больше времени. Средний интервал между вспышками может длиться от 10 сут до нескольких лет. Большинство звёзд типа SS Cyg имеют чёткие короткие и долгие вспышки, но их долгие вспышки заметно отличаются от супермаксимума звёзд типа SU UMa.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА SU БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (SU UMa) – одна из подгрупп звёзд типа U Gem (катаклизмические двойные). Некоторые звёзды могут входить в группы звёзд типа SS Cyg и Z Cam. Звёзды типа SU Большой Медведицы (SU Ursae Majoris) характеризуются тем, что кроме обычных вспышек, как у звёзд типа U Gem (увеличение блеска на $2–6^m$, длящееся от 1 до 3 сут), у них наблюдаются супервспышки. На каждые 3–10 обычных вспышек приходится одна супервспышка. Длится она от 10 до 18 сут, а блеск по сравнению с обычным максимумом увеличивается на $1–2^m$. Супервспышка ярче и дольше обычной вспышки. Подъём блеска такой же, как и при обычной вспышке, но при этом наблюдаются небольшие периодические флуктуации с амплитудой в несколько сотых звёздной величины и периодом, на 2–3% превышающим орбитальный период системы.

Почти у всех звёзд типа SU UMa орбитальный период короче двух часов. Обычные вспышки звёзд этого типа считаются такими же, как и у звёзд типа U Gem, но для объяснения супервспышек предложено несколько механизмов. Наиболее популярная теория, известная как модель тепловой и приливной неустойчивости, предполагает, что как обычные, так и супервспышки обусловлены неустойчивостью дисковой аккреции. Но если обычные вспышки объясняются только тепловой неустойчивостью, то супервспышки обусловлены ещё и приливным эффектом.

Интервал от одной супервспышки до другой называют суперциклом. У большинства звёзд типа SU UMa суперциклы длятся несколько сотен суток. Но существуют звёзды как с более короткими, так и с более длинными суперциклами. Звёзды с короткими суперциклами называют переменными типа ER UMa, а с более длинными – переменными типа WZ Sge.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА SX ОВНА (SX Ari) – вращающиеся переменные звёзды спектральных классов B0p–B9p с неравномерным распределением гелия по поверхности и сильным магнитным полем. В результате вращения звёзд типа SX Овна (SX Arietis) количество видимого в их спектре гелия и интенсивность магнитного поля меняются, при этом блеск изменяется примерно на $0,1^m$. Эти звезды называют ещё гелиевыми переменными. Это высокотемпературная версия звёзд типа α^2 CVn.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА SX ФЕНИКСА (SX Phe) – пульсирующие субкарлики, размер которых меньше размера Солнца. Спектральный класс этих звёзд от A2 до F5. Обычно такие звёзды находят в шаровых скоплениях. Пульсации происходят с периодом от 0,04 до 0,8 сут и амплитудой около $0,7^m$. Звёзды типа SX Феникса (SX Phoenicis) являются близкими родственниками звёзд типа δ Щита.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА T ТЕЛЬЦА (T Tau) – молодые маломассивные звёзды. Их возраст меньше 10 млн лет, а масса менее 3 масс Солнца. В настоящее время эти звёзды проходят стадию гравитационного сжатия. Их эволюция находится на промежуточном этапе между протозвездой и маломассивной звездой главной последовательности, такой как Солнце. Ближайшие звёзды типа T Тельца наблюдаются в молекулярном облаке в созвездии Тельца и в Облаке ρ Змееносца (ρ Oph). Оба эти облака удалены от нас на 460 св. лет (140 пк).

Звёзды типа T Тельца наблюдаются только в туманностях или очень молодых звёздных скоплениях. У них низкотемпературный спектр (классов от G до M) с сильными эмиссионными линиями и широкими линиями поглощения. Светимость этих объектов больше светимости звёзд главной последовательности тех же спектральных классов, и в них больше лития, который свидетельствует об их юном возрасте, поскольку после формирования звезды литий очень быстро разрушается в ходе термоядерных реакций.

Часто переменные типа T Тельца окружены аккреционным диском, оставшимся после формирования звезды. Их блеск меняется из-за нестабильности диска, или бурной активности в звёздной атмосфере, или же из-за ближайших облаков пыли и газа, которые временами затмевают свет звезды.

Все звёзды типа T Тельца делят на две большие группы по спектроскопическим характеристикам: классические звёзды типа T Тельца и звёзды типа T Тельца с ослабленными линиями. Это различие обусловлено свойствами аккреционных дисков. Классические звёзды типа T Тельца имеют огромный диск, который и даёт эмиссионные линии. Звёзды второй группы окружены очень небольшим диском. Эти звёзды представляют особый интерес, так как позволяют астрономам увидеть раннюю стадию эволюции звезды, не закрытой веществом туманности. Некоторая часть вещества диска в процессе его «просветления» объединяется в плотные комки – планетезимали, из которых постепенно формируются крупные планеты. Подсчёты показывают, что около 60% звёзд типа T Тельца возрастом менее 3 млн лет имеют пылевые диски, тогда как у звёзд возрастом более 10 млн лет пылевые диски наблюдаются всего у 10% объектов. Среди молодых звёзд родственниками звёзд типа T Тельца являются звёзды типа FU Ориона (фуоры).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА U БЛИЗНЕЦОВ (U Gem) – катаклизмические двойные звёзды, которые внезапно и непредсказуемо увеличивают свой блеск на $2^m–6^m$ (т. е. в 5–250 раз). Усиление блеска до максимума происходит менее чем за сутки, а затем в течение нескольких суток или даже недель блеск звезды слабеет и возвращается к исходному состоянию. По этой причине такие переменные звёзды называют ещё «карликовыми новыми».

Известно несколько сотен звёзд этого типа. Каждая состоит из главной звезды – белого карлика (или горячего голубого субкарлика) и его спутника – красного или оранжевого субгиганта спектрального класса от K до M. Масса каждой из звёзд от 0,5 до 1 массы Солнца, а орбитальный период системы – от 3 до 15 часов, т. е. это очень тесная двойная система. Спутник (субгигант) заполняет свою полость Роша. Его вещество вливается в аккреционный диск вокруг карлика и образует на диске горячее пятно. Вещество из внутренней части диска падает на поверхность карлика. Таким образом, суммарное излучение звезды типа U Близнецов (U Geminorum) складывается из четырёх источников: белый карлик, который является главным (т. е. наиболее ярким) компонентом системы, его более холодный спутник-субгигант, аккреционный диск вокруг карлика и горячее пятно на диске.

Большую часть времени звезды типа U Близнецов показывают небольшие, а иногда и быстрые изменения блеска. Но временами система стремительно увеличивает свой блеск на несколько звёздных величин, а затем, за время от нескольких суток до нескольких месяцев, возвращается к нормальному блеску. Считается, что такая вспышка обусловлена взрывом на поверхности белого карлика в процессе ядерного «горения» богатого водородом вещества.

Две альтернативные теории пытаются объяснить эти вспышки. В рамках первой модели причиной вспышки считается непостоянство притока вещества в аккреционный диск. Исследователи полагают, что вспышка происходит из-за внезапно-

го усиления переноса массы со спутника. Такое усиление потока газа может возникать из-за нестабильности в атмосфере более холодной звезды. Внезапный перенос большой массы приводит к коллапсу диска и сбросу всего вещества на белый карлик.

Вторая модель в качестве главной причины вспышки рассматривает неустойчивость дисковой аккреции. Предполагается, что перенос массы со спутника почти постоянен, но поступающий газ накапливается во внешней холодной части диска, далеко от белого карлика. Когда поверхностная плотность диска становится критической, тепловая неустойчивость в нём приводит к резкому увеличению темпа аккреции вещества на белый карлик, что и наблюдается как вспышка. В настоящее время предпочтение отдается именно этой теории, поскольку она предлагает ясный механизм возникновения вспышки, а основанное на этой теории моделирование вспышки хорошо согласуется со многими характеристиками усиления блеска звёзд типа U Близнецов.

От звезды к звезде детали вспышки сильно различаются, но каждая такая переменная вспыхивает через полуправильные промежутки времени, и чем больше этот промежуток, тем сильнее вспышка. Блеск самого прототипа U Близнецов остаётся в течение 40–130 сут равным $13{,}5^m$, а затем за 1–2 сут возрастает до $9{,}5^m$. После этого в течение нескольких недель он возвращается к исходному значению. Кроме того, каждые 4 час 11 мин наблюдается вторичный минимум блеска, обусловленный затмением белого карлика его спутником.

В группу звёзд типа U Близнецов входят переменные звёзды типа SS Лебедя (SS Cyg), SU Большой Медведицы (SU UMa) и Z Жирафа (Z Cam).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА UU ГЕРКУЛЕСА (UU Her) — полуправильные переменные звёзды, немного похожие на цефеиды. Они пульсируют с двумя различными периодами, но временами их блеск становится постоянным. Согласно одной из теорий, звёзды типа UU Геркулеса (UU Herculis) являются относительно маломассивными звёздами на постасимптотической ветви гигантов. Они находятся на той стадии эволюции, когда их спектры имитируют спектры более массивных сверхгигантов.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА UV КИТА (UV Cet) — красные или оранжевые карлики с эмиссионными линиями (спектральные типы dMe и dKe), проявляющие себя как эруптивные переменные звёзды. Их называют также «вспыхивающими звёздами». В течение нескольких секунд звезда типа UV Ceti может усилить свой блеск на 6 звёздных величин, а затем её блеск понемногу ослабевает. Сначала ослабление блеска происходит очень быстро, но затем замедляется; к предвспышечному значению блеска звезда возвращается через несколько минут или часов. Усиление блеска в оптическом диапазоне сопровождается увеличением потока в радио- и рентгеновском диапазонах. Вспышки похожи на солнечные, но в некоторых случаях значительно сильнее. А поскольку в нормальном состоянии красные и оранжевые карлики являются весьма тусклыми (их светимости в тысячи раз меньше солнечной), то вспышка такой звезды выглядит чрезвычайно эффектно. Ближайшая вспыхивающая звезда – Проксима Кентавра.

Сама UV Ceti (другие её обозначения: Luyten 726-8 и Gliese 65) — это тусклый карлик спектрального класса M5.5Ve, входящий в двойную систему с разделением 2″, где второй компонент (BL Cet) – тоже вспыхивающий красный карлик. Обе звезды в этой системе имеют почти одинаковый блеск (в фильтре V около $12{,}5^m$) и обращаются вокруг общего центра масс с периодом 26,5 лет. Масса каждой из звёзд – около $0{,}1\,M_\odot$, светимость — около $5\cdot10^{-5}\,L_\odot$. Во время вспышки в 1952 г. блеск UV Cet за 20 секунд возрос в 75 раз.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА UX БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (UX UMa) — новоподобные переменные звёзды, которые могут быть звёздами типа Z Cam, но с большим периодом постоянного блеска. Прототип — звезда UX Большой Медведицы (UX Ursae Majoris).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА UX ОРИОНА (UX Ori) — класс очень молодых, формирующихся звёзд, проходящих стадию эволюции до главной последовательности. Фотометрические, спектроскопические и поляриметрические исследования показывают, что звезды этого типа имеют околозвёздные диски, видимые с ребра. В дальнейшем эти звёзды могут стать системами типа β Pic с протопланетными дисками. Прототипом «уксоров» является переменная звезда UX Ориона.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА W БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (W UMa) – затменные двойные системы с очень короткими периодами — от нескольких часов до суток. В звёздах типа W Большой Медведицы (W Ursae Majoris) компоненты спектральных классов F и G расположены вблизи главной последовательности. Звёзды образуют контактную двойную систему, своей гравитацией придавая друг другу вытянутую форму. Главный и вторичный минимумы практически одинаковы: их амплитуда от $0{,}6^m$ до $0{,}8^m$. Изменение блеска происходит непрерывно, поэтому неясно, когда начинается и когда заканчивается затмение. Сама система W Большой Медведицы расположена на расстоянии 162 св. года и состоит из двух похожих на Солнце звёзд.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА W ДЕВЫ (W Vir) — пульсирующие переменные населения II типа с периодами от 1 до 35 сут; их ещё называют цефеидами II типа. Хотя у звёзд типа W Девы (W Virginis) наблюдается зависимость период–светимость, характерная для цефеид, но она отличается от той зависимости, которой подчиняются цефеиды I типа, т. е. звёзды типа δ Cep. Звёзды типа W Vir обычно на $1{,}5^m$ слабее своих родственников I типа, и их массы меньше массы Солнца. Это говорит о том, что они находятся на другой стадии эволюции. Они имеют характерную кривую блеска с амплитудой от $0{,}3^m$ до $1{,}2^m$ и горбом на нисходящей ветви. Этот тип делится на две подгруппы: долгопериодические звёзды типа W Vir (к ним относится сама W Vir) с периодами более 8 сут и короткопериодические – с периодами менее 8 сут. В эту подгруппу входит звезда BL Her.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА WZ СТРЕЛЫ (WZ Sge) — разновидность звёзд типа SU UMa (карликовые новые), у которых интервалы между супервспышками очень длинные — десятки лет, тогда как промежутки между обычными вспышками более короткие. Сама звезда WZ Стрелы (WZ Sagittae) продемонстрировала супервспышки с интервалами между ними в 33, 32 и 23 года, а обычных вспышек у неё не наблюдается. Исходя из масштаба её первой вспышки в 1913 г. эта звезда была отнесена к классическим новым и названа Nova Sagittae 1913. Когда в 1946 г. она вновь вспыхнула, её посчитали повторной новой. Последующие наблюдения показали, что это белый карлик со спутником, имеющим орбитальный период 81 мин 38 с, что намного короче периода любой повторной новой. В спектре звезды нет широких эмиссионных линий, характерных для карликовых новых. Вспышка 1978 г. позволила обнаружить на кривой блеска «сверхгорбы», что как раз характерно для карликовых новых типа SU UMa. Поэтому теперь звезду WZ Sge считают прототипом подкласса переменных типа SU UMa. Другие звёзды этого подкласса, включая AL Com и EG Cnc, имеют интервалы между супервспышками около 20 лет.

Длительность интервала между супервспышками, по-видимому, отражает темп переноса массы. У звёзд типа WZ Sge этот темп очень мал, примерно 10^{12} кг/с, то есть требуются десятилетия, чтобы накопилась достаточная масса газа для супервспышки. Но остаётся загадкой, почему у этих звёзд почти или совсем нет обычных вспышек. Даже при малом темпе переноса массы вещество должно накапливаться и под действием вязкости

перемещаться во внутреннюю часть диска, запуская вспышку. Одной из причин, почему этого не происходит, может быть малая вязкость. В этом случае вещество остаётся во внешней части диска и накапливается там до начала супервспышки. Но объяснить малую вязкость очень трудно. В качестве другой причины рассматривают возможность удаления внутреннего диска для предотвращения начинающихся там вспышек. Это может происходить в результате эффекта сифона или под действием магнитного поля белого карлика.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА YY ОРИОНА (YY Ori) — экстремально молодые звёзды. Они находятся на стадии эволюции, предшествующей стадии Т Тельца. Это звёзды поздних спектральных классов, имеющие очень маленькую массу. Звёзды типа YY Ориона (YY Orionis) пребывают на стадии гравитационного сжатия, поэтому на их поверхность происходит аккреция вещества из протозвёздного облака. В их спектрах линии имеют обратные (перевернутые) профили типа P Cyg, что свидетельствует об оседании вещества на звезду со скоростью 300–400 км/с.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА Z АНДРОМЕДЫ (Z And) — симбиотические звёзды, представляющие подтип катаклизмических переменных. Каждая такая звезда представляет собой тесную двойную систему, в которой горячая звезда ионизует часть протяжённой газовой оболочки, источником которой служит второй, более холодный, компонент системы (спектрального класса M, R, N или S). Комбинированный спектр системы представляет собой наложение абсорбционного и эмиссионного спектров. Система демонстрирует нерегулярные изменения с амплитудой от 1^m до 4^m в визуальных лучах, характерные для симбиотических звёзд.

Большое количество симбиотических звёзд и недостаток наших знаний о них делают их классификацию весьма запутанной. В «Общем каталоге переменных звёзд» (ОКПЗ) звёзды типа Z Андромеды (Z Andromedae) представлены как подгруппа симбиотических переменных, а сама Z And считается прототипом не только своего подтипа, но и вообще всех симбиотических звёзд. А такие объекты, как RR Tel, R Aqu и CH Cyg, имеют характеристики, заметно выделяющие их из группы симбиотических звёзд.

Переменность Z And в 1901 г. обнаружила Вильямина Флеминг на фотопластинках обсерватории Гарвардского колледжа. Она же выявила спектральные особенности этой звёзды, характерные для новоподобных переменных. Эта звезда, полуправильная переменная 11-й звёздной величины спектрального класса M, большую часть времени проводит в спокойном состоянии. В этом состоянии у неё наблюдаются небольшие изменения блеска с периодом около 700 сут. Но каждые 10–20 лет Z And становится очень активной и увеличивает яркость примерно на 3^m. После этой вспышки наблюдается серия вспышек, амплитуда которых постепенно уменьшается, и звезда ослабевает до спокойного состояния. Возрастание яркости происходит либо внезапно, либо же ему предшествует небольшая вспышка. Максимума блеска звезда достигла в 1939 г.: $7{,}9^m$ в визуальных лучах. Во время вспышки объект голубеет, в его спектре доминирует горячая компактная звезда с оболочкой. У спектральных линий возникают профили типа P Cyg, которые показывают смещение абсорбционных линий в голубую сторону. Это говорит о существовании расширяющейся оболочки, как при вспышке новой. Когда доминирующее в спектре свечение оболочки ослабевает, звезда краснеет, профили P Cyg пропадают, спектр оболочки исчезает, и звезда возвращается в исходное состояние.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА Z ЖИРАФА (Z Cam) — звёзды, относящиеся к одному из трёх подтипов переменных типа U Gem (карликовые новые). Два других подтипа — это SS Cyg и SU UMa. Звёзды типа Z Жирафа (Z Camelopardalis) отличаются тем, что наряду с обычными вспышками типа U Gem (амплитуда от 2^m до 6^m, продолжительность 1–3 сут) у них бывают случайные периоды спокойного состояния. Оно обычно начинается в конце вспышки и характеризуется постоянным блеском, который примерно на 1^m слабее максимума блеска и может длиться от нескольких суток до 3 лет. Мощность излучения в спокойном состоянии больше среднего выхода энергии за цикл вспышки. Спокойное состояние наступает в те периоды, когда темп переноса массы от вторичного компонента к диску вокруг главной звезды слишком велик для развития нормальных вспышек.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА ZZ КИТА (ZZ Cet) — белые карлики, которые к тому же являются пульсирующими переменными и меняют свой блеск на $0{,}001^m$–$0{,}2^m$ за время от 30 секунд до 25 минут. У них происходят нерадиальные пульсации со многими периодами, которые приводят к небольшому изменению размера звёзд, но вызывают сильное изменение температуры поверхности. Различают три подтипа: ZZA со спектром типа DA (линии поглощения водорода). ZZB со спектром типа DB (линии поглощения гелия) и ZZO, иногда называемый звёздами типа GW Девы (GW Vir) с экстремально горячим спектром типа DO. Иногда у звезды ZZ Кита (ZZ Ceti) наблюдаются вспышки с амплитудой примерно 1^m, но, видимо, они обусловлены звездой-спутником типа UV Cet.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА АЛГОЛЯ — затменные переменные звёзды, прототипом которых служит звезда Алголь (β Персея). У звёзд этого типа наблюдаются периоды постоянного или почти постоянного блеска между минимумами. Это говорит о том, что две звезды образуют тесную двойную систему разделённого или полуразделённого типа. Известны тысячи таких звёзд. Их периоды составляют примерно от 5 часов до 30 лет, а блеск может меняться на несколько звёздных величин. В большинстве таких систем происходит перенос массы от одной звезды к другой, чаще — в результате прямой аккреции, без формирования аккреционного диска. Но существует группа затменных двойных с переносом массы, известных как звёзды типа W Змеи (W Serpentis) или «гиперактивные звёзды типа Алголя», которые обладают аккреционным диском и, возможно, находятся в предалгольной стадии эволюции. Звезды типа Алголя очень интересны, так как дают возможность определить массу и размер звёзд.

ПЕРЕНАВЕДЕНИЕ — поворот телескопа на значительные углы при переходе к наблюдению от одной области неба к другой.

ПЕРЕНОС МАССЫ — в астрономии обычно так называют процесс, в ходе которого вещество (газ) перетекает от одного компонента двойной звезды к другому.

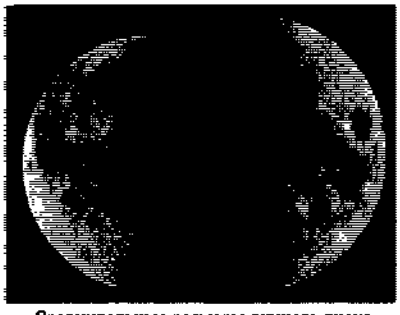
ПЕРЕПЁЛКИН, Евгений Яковлевич (19.02[4.03].1906, Санкт-Петербург, Россия, — 13.01.1938, Мариинск, СССР) — российский астроном. Предложил новый индекс далёкой ультрафиолетовой радиации Солнца, организовал (1932) и возглавил Службу Солнца, исследовал переменные звёзды, метеорные потоки, собственные движения звёзд. Арестован (1937) и расстрелян.

ПЕРЕХОД — изменение внутренней энергии атома, иона или молекулы, приводящее к поглощению или излучению фотона (кванта электромагнитной энергии). Обычно процесс перехода представляют в виде перемещения электрона с одной «орбиты» в атоме на другую, хотя у молекул энергетические переходы могут приводить к изменению характера их вращательного или колебательного движения.

ПЕРЕХОДНЫЙ СЛОЙ — тонкий слой солнечной атмосферы, отделяющий горячую корону Солнца от значительно более холодной хромосферы. Температура на нижней границе переходного слоя составляет около 20 тыс. К и быстро растёт с высотой, достигая на верхней границе этого слоя

1 млн К. Поэтому в переходном слое формируется интенсивное излучение в линиях разных ионов, потенциалы возбуждения которых попадают в этот широкий диапазон температуры. Среди них доминируют линии гелия He II, углерода C IV, кислорода O IV и кремния Si IV. Все эти ионы излучают в далёкой УФ-области спектра, недоступной для наблюдения с Земли. По этой причине основная информация о структуре и характеристиках переходного слоя была получена с помощью космических телескопов.

ПЕРИГЕЙ – ближайшая к Земле точка орбиты Луны или искусственного спутника.



Сравнительные размеры лунного диска в апогее (слева) и перигее

ПЕРИГЕЛИЙ – ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты или иного тела в Солнечной системе.

ПЕРИОД – промежуток времени между повторением одного и того же явления в периодическом процессе. Период обратно пропорционален частоте. В научной литературе обычно указывают значение периода при описании процессов длительностью более 1 секунды, а при описании процессов длительностью менее секунды указывают частоту.

ПЕРИОД—СВЕТИМОСТЬ, СООТНОШЕНИЕ – связь между абсолютной звёздной величиной (т. е. светимостью) и периодом изменения блеска у переменных звёзд – цефеид. См. *Зависимость период–светимость*.

ПЕРИОДОГРАММА – график распределения частот гармоник, присутствующих в сигнале.

ПЕРИЦЕНТР – ближайшая к центральному телу точка эллиптической, параболической и гиперболической орбиты. Корень «центр» можно заменить греческим названием небесного тела. Например, для орбит вокруг Земли говорят «перигей», а вокруг Солнца – «перигелий».

ПЕРРАЙН, Чарлз Диллон (Perrine, Charles Dillon) (28.07.1867, Стёбенвиль, шт. Огайо, США, – 21.06.1951, Villa General Mitre, Аргентина) – американский астроном. Работал в Ликской обсерватории (1893–1909), затем был директором Национальной обсерватории Аргентины в Кордове (1909–1936). Открыл спутники Юпитера – Гималию (1904) и Элару (1905); обнаружил (1895–1902) 9 новых комет, «световое эхо» вокруг Новой Персея 1901 г. Получил первые оценки количества спиральных туманностей на небе.

ПЕРСЕИДЫ – метеорный поток, один из наиболее мощных и известных. Поток активен в период приблизительно с 20 июля по 20 августа каждого года. Максимальная активность наблюдается около 12 августа. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Персей, т. е. метеоры выглядят летящими со стороны этого созвездия. Для наблюдателя в средней полосе России в районе полуночи созвездие Персей располагается в северо-восточной части неба. Геоцентрическая скорость частиц потока 60 км/с. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности – около 100. Родоначальницей потока считается периодическая комета 109 P/Свифта–Тутля.

ПЕРСЕЙ – красивое северное созвездие, целиком расположенное в Млечном Пути к северо-востоку от Андромеды. Согласно мифу, Персей был сыном Зевса и царевны Данаи; он победил горгону Медузу и спас Андромеду от морского чудовища.

Ярчайшая звезда α Per носит арабское имя Мирфак, что значит «локоть». Этот жёлтый сверхгигант, удалённый на 600 св. лет, служит центром богатой группы ярких звёзд, известной как Скопление α Персея. Самой знаменитой затменной переменной звездой является Алголь (β Per), что по-арабски значит «голова демона». Её переменность впервые заметил между 1667 и 1670 гг. Джемминиано Монтанари (1633–1687) из Модены (Италия). А в 1782 г. английский астроном Джон Гудрайк (1764–1786) открыл периодичность в изменении её блеска: с периодом 2 сут 20 час 49 мин блеск звезды сначала уменьшается с 2,1 до 3,4 звёздной величины, а спустя 10 часов возвращается к исходному значению. Такое поведение Алголя натолкнуло Гудрайка на мысль, что уменьшение блеска звезды происходит в результате затмений: в двойной звёздной системе более яркий компонент периодически частично затмевается более тёмным. В 1889 г. немецкий астроном Герман Фогель (1841–1907) подтвердил гипотезу Гудрайка, открыв спектральную двойственность Алголя. Гудрайк был талантливый и хорошо образованный юноша. глухонемой с детства; он открыл также и переменность двух других ярких звёзд – β Лиры (1784) и δ Цефея (1784), которые, как и Алголь, стали прототипами важных классов переменных звёзд.

В Персее также привлекают внимание: планетарная туманность Маленькая Гантель (M76); туманность Калифорния (NGC 1499) и рассеянное скопление M34. Несомненный интерес для наблюдения представляет двойное рассеянное скопление h и χ Персея (NGC 869 и NGC 884), удалённое на 6500 св. лет, но имеющее 4-ю видимую звёздную величину и заметное даже для невооружённого глаза. Каждый год в середине августа наблюдается метеорный поток Персеиды, вызванный частицами, потерянными периодической кометой Свифта–Тутля.

ПЕРТУРБАЦИОННЫЙ МАНЁВР – то же, что *Гравитационный манёвр*.

ПЕРТУРБАЦИЯ (от лат. *perturbatio* – расстройство, резкое изменение) – резкое изменение скорости космического аппарата при его пролёте вблизи массивного космического тела – планеты или её естественного спутника. В результате пертурбации меняется как модуль скорости, так и направление, причём эти изменения взаимосвязаны. Чем ближе космический аппарат проходит от поверхности массивного тела, тем сильнее (при прочих равных условиях) изменяется направление его полёта. В связанной с массивным телом системе координат, которую на коротком отрезке времени можно считать инерциальной, модуль скорости аппарата на большом удалении от тела не меняется – это свойство потенциальности гравитационного поля. Поэтому изменение скорости аппарата в результате пертурбации в гелиоцентрической системе координат зависит только от того, как изменилось направление полёта аппарата. Если оно приближается к направлению движения массивного тела, то скорость аппарата возрастает, в противном случае – уменьшается. Пертурбационный, или гравитационный, манёвр часто используется в космонавтике при запуске межпланетных зондов к далёким планетам: пертурбации в окрестности промежуточных планет могут значительно увеличить скорость зонда.

ПЕЧЬ – экваториальное созвездие, введённое Н. Лакайлем в 1763 г. под именем Химическая Печь. Лежит к югу от Кита и Эридана, ярких звёзд не имеет. В нем видна каликовая галактика Печь, член Местной группы галактик, удалённый от Солнца на 450 тыс. св. лет. В этом же созвездии, но гораздо дальше от нас, расположено довольно богатое скопление галактик, также носящее имя Печь.

ПИГОТТ, Эдуард (Pigott, Edward) (1753, Уиттон, Англия, – 27.06.1825, Бат, Англия) – английский астроном. С ранних лет помогал своему отцу, астроному Натаниелю Пиготту (1725–1804), проводить наблюде-

ния; в 1769 г. они наблюдали прохождение Венеры по диску Солнца. С 1781 г. проводил наблюдения в собственной обсерватории в Бутаме (Йоркшир), с 1795 г. – в Бате. Вместе с Дж. Гудрайком является основоположником планомерного изучения звёздной переменности. В 1784 г. открыл переменность η Орла, в 1795 г. сообщил об открытии им изменений блеска у звёзд R Северной Короны и R Щита. В 1786 г. составил первый каталог переменных звёзд, который содержал 12 объектов. Открыл 3 кометы (в том числе Большую комету 1783 г.), определил собственные движения некоторых звёзд, опубликовал ряд статей о методах наблюдений звёзд с пассажными инструментами.

ПИКЕЛЬНЕР, Соломон Борисович (6.02.1921, Баку, Азербайджан, – 19.11.1975, Москва, СССР) – российский астроном. Окончил Московский университет (1942), работал в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР (1946–1959), с 1959 г. – профессор астрофизики МГУ. Разработал теорию ударных волн в космической плазме, объяснил двухфазное состояние межзвёздной среды, развил теорию солнечных вспышек. Автор книг «Физика межзвёздной среды» (1959), «Межзвёздная среда» (совместно с С. А. Капланом, 1963), «Основы космической электродинамики» (1966) и др.

ПИКЕРИНГ, Эдуард Чарлз (Pickering, Edward Charles) (19.07.1846, Бостон, шт. Массачусетс, – 3.02.1919, Кембридж, шт. Массачусетс, США) – американский астроном и физик. Окончил Научную школу Лоуренса в 1865 г. и два года преподавал там же. В 1867–1876 гг. профессор физики в Массачусетском технологическом институте, где он основал первую студенческую физическую лабораторию в Америке. С 1876 г. профессор астрономии Гарвардского университета и директор обсерватории Гарвардского колледжа. Здесь он разработал новые методы, руководил обширными научными программами и собрал большой объём астрономических данных. В 1870 г. сконструировал первый телефонный аппарат. Занявшись фотометрией, измерил блеск 4200 звёзд, что привело его к изучению переменных звёзд и к главной его работе по спектральной классификации звёзд. Руководил работой по составлению Каталога Генри Дрэпера, а затем более обширного каталога 225 тыс. звёзд для Гарвардского ежегодника. Основал южную станцию Гарвардской обсерватории в Арекипе (Перу). Одним из первых применил фотографию в астрономии и организовал фотографирование всего неба.

ПИКЕРИНГ, Уильям Генри (Pickering, William Henry) (15.02.1858, Бостон, США, – 16.01.1938, Мандевилл, Ямайка) – американский астроном, брат Э. Ч. Пикеринга. В 1879 г. окончил Массачусетский технологический институт и в 1880–1887 гг. преподавал там же; в 1887 г. стал профессором астрономии в Гарварде. Занимаясь астрофотографией, обнаружил туманность, покрывающую всё созвездие Ориона. В 1891 г. вместе с Эдуардом Пикерингом основал Южную станцию Гарвардской обсерватории в Арекипе (Перу). Совместно с Эндрю Э. Дугласом доказал, что тёмные области на Марсе не являются морями. В 1893 г. Персиваль Ловелл поручил Пикерингу и Дугласу создать Ловелловскую обсерваторию во Флагстаффе (шт. Аризона). Вернувшись в Гарвард, У. Пикеринг открыл девятый спутник Сатурна. Затем основал ещё одну гарвардскую станцию в Мандевилле на Ямайке, где проводил детальные обзоры Луны. Его работа «Луна» опубликована в 1903 г. Позже он сообщил об изменениях, обнаруженных на Луне. Проводил оригинальные исследования метеоров и новых звёзд. Внёс большой вклад в поиски планеты за орбитой Нептуна. Плутон был открыт вблизи положения, предсказанного Пикерингом. Он считал также, что существует ещё одна планета за Нептуном. Пикеринг был одним из лучших в мире наблюдателей планет и плодовитым автором астрономических книг; под его руководством проведены многие исследования Марса.

ПИКСЕЛ, или пиксель, – отдельный чувствительный элемент светоприёмника, например ПЗС-матрицы, а также соответствующий элемент изображения, созданного этим светоприёмником. Термин pixel происходит от искаженного объединения двух английских слов: picture + element, т. е. элемент картинки.

ПИКТОГРАММА (от *лат. picto* – рисую и греч. *gramma* – запись) – знак, рисунок, отображающий важнейшие узнаваемые черты объекта, предметов, явлений, на которые он указывает, чаще всего в схематическом виде. В частности, пиктограммы используют при создании посланий внеземным цивилизациям. Их отправляют в межзвёздное пространство в закодированном виде с помощью радиосигнала либо в виде рисунка, нанесённого на поверхность межпланетного зонда. Одну из первых пиктографических систем «Астраглосса» (Astraglossa) разработал британский математик Ланселот Хогбен (Lancelot Hogben). Позднее для межзвёздной связи были разработаны более сложные системы пиктограмм.

ПИРГЕЛИОМЕТР (от др.-греч. *pyr* – огонь, *helios* – солнце и *metreo* – измеряю) – прибор для абсолютных измерений полного потока энергии, приходящей от Солнца. Измеряет прямое солнечное излучение, падающее на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам. Принцип действия основан на измерении количества тепла, образующегося при поглощении солнечного излучения.

В Западной Европе, в СССР и в России в качестве эталонного принят пиргелиометр Ангстрема, созданный в 1896 г. Приёмная часть прибора представляет собой две одинаковые очень тонкие зачернённые манганиновые пластины и термопару, соединённую с ними. Одна из пластин нагревается солнечным излучением, вторая, защищённая от солнечных лучей, нагревается электрическим током. При равных температурах пластин термопара не даёт тока. Количество солнечного тепла, поглощённого первой пластиной, определяется по значению тока, подаваемого на вторую пластину для компенсации разницы температур.

В США эталонным прибором является водоструйный пиргелиометр Чарльза Аббота с конструктивными поправками советского учёного В. М. Шульгина. Датчиком этого пиргелиометра является помещённая под солнечный свет зачернённая камера, омываемая потоком воды. Такая же камера, но затенённая, нагревается электрическим током так, чтобы температура выходящих из этих камер потоков воды была одинакова, что измеряется термоэлементами.

Пиргелиометр в основном применяется для поверки относительных приборов – актинометров. Иногда в литературе (обычно переводной) можно встретить неправильное написание – «пергелиометр».

ПЛАЗМА – газ, атомы которого частично или полностью ионизованы. В состоянии плазмы находится основное количество газа во Вселенной, поскольку именно из плазмы состоят звёзды и значительная часть межзвёздной среды. Важной особенностью плазмы является её способность проводить электрический ток. Это приводит к тому, что характер движения плазмы зависит от значения индукции и формы линий индукции магнитного поля, в котором находится газ. Свойства намагниченной плазмы определяют многие наблюдаемые особенности различных астрономических объектов – от формы облаков межзвёздного газа до возникновения вспышек на Солнце.

В целом плазма электронейтральна: в ней положительные и отрицательные заряды в среднем нейтрализуют друг друга. Космическая плазма содержит не только электроны и положительно заряженные атомные ядра или атомные остатки, но иногда и отрицательные ионы (атомы с «лишними», «прилипшими» электронами). В космических условиях степень ионизации плазмы, т. е. отношение концентрации ионизованных атомов к их полной концентрации, меняется от значения $\sim 10^{-3}$ (атмосферы холодных звёзд

или холодные облака межзвёздного газа) до практически полной ионизации в солнечной короне, горячих туманностях и недрах звёзд.

Отличие плазмы от обычных газов заключается в том, что если в газе атомы и молекулы взаимодействуют между собой лишь при сильном сближении — практически в моменты парных или ещё более редких тройных столкновений (сила их взаимодействия меняется как r^{-6}, где r — расстояние между атомами), то в плазме из-за более медленного убывания с расстоянием кулоновских сил (как r^{-2}) взаимодействие между частицами постоянно влияет на их движение. Поэтому для плазмы характерны коллективные процессы. Впрочем, если плазма настолько разрежена, что кулоновское взаимодействие между частицами оказывается значительно меньшим, чем влияние на них внешних электрических и магнитных полей, то плазму можно рассматривать как совокупность отдельных частиц с движением, определённым внешними полями. В такой плазме обычно не проявляются специфически плазменные коллективные процессы. С другой стороны, если плазма плотна настолько, что частота парных столкновений частиц достаточно велика, или если процессы в ней протекают с характерным временем, значительно превышающим время свободного пробега частиц, то и в этом случае нет специфически плазменных процессов: плазму можно считать сплошной средой и применять для её исследования магнитогидродинамические уравнения.

Как правило, плазма квазинейтральна, т. е. пространственные заряды входящих в состав плазмы отрицательно заряженных электронов и положительно заряженных ионов взаимно компенсируются, и полное электрическое поле в плазме равно нулю. Вокруг каждого заряда преимущественно располагаются заряды противоположного знака, нейтрализуя влияние центрального заряда за пределами некоторой сферы радиуса D, называемого дебаевским радиусом экранирования. Следовательно, квазинейтральность нарушается только в пределах объёма размером меньше D.

Коллективность плазменных процессов проявляется при выполнении для пространственной плотности электронов (n_e) условия $n_e \gg D^{-3}$, т. е. когда в дебаевской сфере достаточно много электронов, поскольку только электроны, взаимодействуя, образуют общее поле, управляющее их движением. Этому условию можно придать и другой смысл. Внутренняя энергия плазмы состоит из энергии кулоновского взаимодействия и кинетической энергии электронов и ионов. Среднее расстояние между частицами $d = n_e^{-1/3}$, энергия кулоновского взаимодействия ближайших соседей $\sim e^2/d = e^2 n_e^{1/3}$. При условии $n_e \gg D^{-3}$ эта энергия существенно меньше энергии теплового движения, приходящейся на отдельную частицу ($3kT/2$). Плазму при этом можно считать идеальной, её отличие от идеального газа связано только с той важной ролью, какую могут играть в ней коллективные взаимодействия. Если условие $n_e \gg D^{-3}$ не выполнено, что соответствует переходу к большим концентрациям частиц и меньшей температуре, то плазму называют неидеальной. Плазма большинства космических объектов — идеальная (плазма в ионосфере, в магнитосфере, в солнечном ветре и др.); неидеальным является только электронный газ в очень плотном веществе звёздных остатков — белых карликов.

Плазма очень высокой температуры, когда энергия теплового движения электронов близка к $m_e c^2$, называется релятивистской. В ней наряду с кулоновским взаимодействием существенную роль играет магнитное взаимодействие (пример — релятивистская плазма в магнитосферах пульсаров). Поведение плазмы сильно усложняется при наличии внешнего магнитного поля H, которое заставляет электроны двигаться по круговой или спиралевидной траектории вокруг силовых линий. Характерная частота обращения электрона в магнитном поле (ларморовская, или циклотронная частота) $\omega_{He} = eH/(m_e c) \approx 18H$ (МГц), где H дано в эрстедах. Если циклотронная частота выше частоты парных электронно-ионных столкновений, плазму называют замагниченной. При этом её свойства оказываются анизотропными, поскольку направление H выделено. Такими свойствами обладает межзвёздный газ и атмосфера Солнца над солнечными пятнами.

По магнитным свойствам плазма диамагнитна, так как в результате движения частиц плазмы во внешнем магнитном поле по круговой (спиральной) траектории возникает орбитальный магнитный момент, противоположный по направлению внешнему полю. Плазма называется холодной, если скоростями теплового движения электронов можно пренебречь по сравнению с другими характерными скоростями (например, со скоростью распространения волн), в противоположном случае плазма называется горячей. Одна и та же плазма может быть одновременно и горячей, и холодной для различных плазменных процессов. Если газовое давление электронов в плазме $P_e = n_e kT$ много меньше плотности энергии магнитного поля ($H^2/8\pi$), определяющей давление поля, то её называют плазмой низкого давления, в противном случае — плазмой высокого давления. Свойствами плазмы низкого давления обладают, например, межзвёздный газ и хромосфера над солнечными пятнами, плазмы высокого давления — фотосфера или внутренние области звёзд.

ПЛАЗМЕННЫЕ ВОЛНЫ — регулярные колебания физических параметров плазмы. Коллективность плазменных процессов позволяет легко возбуждать в плазме колебания и волны различных типов. Колебания характеризуют частотой ω, а волны, кроме частоты, длиной волны λ, волновым вектором k, а также рядом других параметров. Между частотой ω и волновым вектором k (или волновым числом $k = |k| = 2\pi/\lambda$) существует связь, называемая дисперсионным соотношением. Так как фазовая скорость волны, т. е. скорость строго монохроматической волны, $v_\phi = \omega/k$, дисперсионное соотношение даёт также зависимость v_ϕ от ω или λ. В обычном, неионизованном газе могут распространяться волны различных типов, их дисперсионные соотношения очень просты. Например, для звуковых волн малой амплитуды $\omega = c_s k$, где c_s — скорость звука. Здесь $v_\phi = c_s$, т. е. скорость не зависит от частоты или длины волны. В плазме значительно больше различных типов волн, и их дисперсионные соотношения намного сложнее. Важную роль в них играет ленгмюровская частота колебаний:

$$\omega_{0e} = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_e}{m_e}},$$

где e — заряд электрона, m_e — масса электрона, n_e — пространственная плотность электронов.

Основные виды плазменных волн следующие.

Электромагнитные волны. В плазме без магнитного поля электромагнитные волны являются поперечными. Фазовая скорость радиоволн в плазме $v_\phi > c$. Электромагнитные волны с частотой меньше ленгмюровской ω_{0e} в плазме распространяться не могут. Волны большей частоты, распространяясь в сторону увеличения электронной концентрации, испытывают полное внутреннее отражение. Например, плазма земной ионосферы отражает радиоволны, если их частота меньше или сравнима с ленгмюровской. В результате непрозрачность ионосферы для этих волн ограничивает с длинноволновой стороны «радиоастрономическое окно» прозрачности земной атмосферы, а с другой стороны — обеспечивает распространение радиоволн вдоль земной поверхности. Из солнечной короны очень длинные радиоволны доходят до нас лишь из тех её слоёв, которые расположены выше слоя полного внутреннего отражения, не пропускающего излучение этого типа из более глубоких слоёв короны наружу. Поэтому интенсивность длинноволнового излучения Солнца мала.

Электронно-плазменные (ленгмюровские) волны. При смещении электронов плазмы относительно ионов возникает электростатическая сила, стремящаяся вернуть их в положение равновесия. Коллективность плазменных процессов при-

водит к тому, что в колебаниях принимает участие сразу много электронов. Если температура плазмы мала, возникают лишь так называемые электростатические колебания на ленгмюровской частоте. При увеличении температуры и усилении теплового движения электронов появляются ленгмюровские волны. Подобно звуковым волнам, они продольные. Ионы в их распространении не участвуют, так как обладают большой массой и не могут колебаться с высокой частотой, с какой колеблются электроны. Движение электронов происходит в этом случае под действием двух факторов: перепада их давления и электрического поля. В отличие от электромагнитных волн, здесь вектор электрического поля направлен вдоль вектора k (продольные электрические волны).

В плазме всегда есть ленгмюровские волны (плазменные флуктуации), обусловленные тепловым движением частиц. Такие флуктуации имеют плотность энергии порядка kT_e/D^3, и длина волны их не слишком сильно отличается от дебаевского радиуса. Если в силу тех или иных причин в плазме возбуждены ленгмюровские волны с длиной, много большей D, и плотностью энергии, много большей kT_e/D^3, то плазма становится турбулентной. Плазменная турбулентность должна поддерживаться каким-либо источником.

Ионно-звуковые и ионно-плазменные волны. В условиях, когда температура электронов по крайней мере в 5–10 раз больше температуры ионов, электроны распределяются в пространстве более однородно. На фоне этого равномерно распределённого отрицательного заряда могут распространяться ионно-плазменные волны с частотой, близкой к $\omega_{0i} = \omega_{0e}(m_e/m_i)^{1/2}$, где m_i — масса иона. По своим характеристикам эти продольные волны похожи на ленгмюровские, но здесь колеблются не электроны, а ионы. Кроме них, возможны другие продольные волны с ещё меньшими частотами: они называются ионно-звуковыми и распространяются со скоростью звука. Если электронная и ионная температуры почти одинаковы (изотермическая плазма), то ионные (плазменные и звуковые) волны быстро затухают, их энергия нагревает ионы. В космических условиях ионно-плазменные волны могут возникать внутри фронтов ударных волн, где ионная температура сильно отличается от электронной.

Низкочастотные волны в плазме с магнитным полем. В отсутствие магнитного поля есть только один тип, или, как иногда говорят, одна ветвь низкочастотных колебаний плазмы — ионно-звуковая. При наличии магнитного поля появляются три ветви колебаний. Их характеристики заметно меняются в зависимости от частоты и угла между волновым вектором и полем. На частотах, меньших ионной гирочастоты $\omega_{Hi} = \omega_{He}m_e/m_i$, это будут альвеновская и две магнитозвуковые (быстрая и медленная) волны. Их скорости распространения равны альвеновской скорости $c_a = H_0/(4\pi m_i n_i)^{1/2}$ и комбинациям альвеновской скорости и скорости звука. При большей частоте одна из этих волн переходит в так называемые свисты, или вистлеры. Свисты обладают свойством распространяться в плазме вдоль магнитных силовых линий. Такие волны наблюдаются в земной ионосфере и магнитосфере. Поскольку их частота сравнительно мала, они могут трансформироваться в звук той же частоты. По характеру этого звука их и назвали свистами. Быстрая магнитозвуковая волна, так же как и все другие, — медленная и альвеновская, обрывается на частоте ω_{Hi}, на которой она сильно поглощается.

В физике плазмы подробно изучают и другие виды волн: дрейфовые, циклотронные и т. п. В космических условиях такие волны встречаются, по-видимому, редко, так как требуют для своей генерации особых условий.

Конверсия плазменных волн. Рассмотренные выше волны в плазме могут переходить одна в другую. Этот процесс называют конверсией. Для астрофизики особенно важен переход плазменных волн в электромагнитные. Например, плазменная волна, рассеиваясь на флуктуации электронной плотности (которая может быть создана движением иона или обусловлена другой плазменной волной), превращается в электромагнитную волну с той же частотой (рэлеевское рассеяние), или удвоенной частотой (комбинационное рассеяние на плазменных волнах), или, наконец, с много большей частотой, если рассеяние происходит на релятивистском электроне. Во многих случаях возможна и индуцированная конверсия, когда превращению волны при рассеянии «помогает» уже имеющееся поле излучения той же частоты — явление, аналогичное мазерному эффекту.

Все рассмотренные специфически плазменные процессы имеют место лишь в условиях, когда соответствующие частоты ω больше частоты парных электронно-ионных столкновений $\nu_{эф} = 5{,}5 n_i \Lambda T_e^{-1{,}5}$, где Λ — кулоновский логарифм, учитывающий роль далёких пролётов и равный в космических условиях ≈ 30–70. Как видим, частота $\nu_{эф}$ убывает при уменьшении концентрации ионов n_i, а также при увеличении температуры T_e (так как при этом электроны движутся быстрее и поэтому поле ионов отклоняет их слабее). Если частота периодического процесса или явления много меньше $\nu_{эф}$, то его следует рассматривать в рамках магнитогидродинамики и газодинамики. Например, в межпланетном пространстве длина свободного пробега протона, движущегося со скоростью солнечного ветра, лишь немногим меньше расстояния от Солнца до Земли. Поэтому явление с меньшим масштабом (флуктуации солнечного ветра, обтекание солнечным ветром магнитосферы, распространение ударных волн от вспышек на Солнце) следует рассматривать в рамках физики плазмы. С другой стороны, в солнечной и звёздных фотосферах частота столкновении очень велика и явления в них изучаются в рамках магнитогидродинамики.

ПЛАНЕТА — небесное тело, обращающееся вокруг звезды или звёздного остатка и при этом достаточно массивное для того, чтобы под действием собственной гравитации принять сфероидальную форму и очистить окрестности своей орбиты от подобных ему тел, но не настолько массивное, чтобы в его недрах протекали термоядерные реакции с участием дейтерия. Указанный диапазон масс простирается приблизительно от 1% массы Луны до 13 масс Юпитера. В Солнечной системе этим условиям удовлетворяют только Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун (с. 9 цветной вкладки). Иногда их называют классическими планетами Солнечной системы. Если такое тело обращается вокруг более крупного подобного тела, то его называют спутником (пример — Луна, спутник Земли). Точнее было бы называть такое тело планетой-спутником.

ПЛАНЕТА-ГИГАНТ — крупная планета, по массе близкая к Юпитеру или Сатурну, имеющая низкую среднюю плотность и состоящая в основном из летучих веществ (водорода, гелия, кислорода и др.).

ПЛАНЕТА ЗЕМНОЙ ГРУППЫ — одна из четырёх ближайших к Солнцу планет, по своим размерам, плотности и внутреннему строению сходная с Землёй. В эту группу входят Меркурий, Венера, Земля и Марс. Иногда их называют «внутренними планетами».

ПЛАНЕТА-КАРЛИК (dwarf planet) — новый класс объектов Солнечной системы, введённый 24 августа 2006 г. решением XXVI Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза (14–25 августа 2006 г., Прага). Планета-карлик удовлетворяет следующим условиям:

— обращается вокруг Солнца;

— не является спутником планеты;

— обладает достаточной массой, чтобы сила тяжести превосходила сопротивление вещества и поэтому тело планеты пребывало в состоянии гидростатического равновесия (а значит, имело форму, близкую к сферической);

— обладает не настолько большой массой, чтобы быть способной расчистить окрестности своей орбиты.

Прототипом планет-карликов стал Плутон (диаметр 2300 км), а самым крупным представителем этого класса (на начало 2011 г.) — Эрида (2400 км), объект пояса Койпера. Тремя другими и пока последними членами этой группы являются: Хаумея (1200 км), Макемаке (1500 км), а также Церера (около 950 км), ранее считавшаяся крупнейшим астероидом Главного пояса.

ПЛАНЕТА-СПУТНИК — новый термин, который предлагается использовать для обозначения объектов, имеющих физические признаки планеты, но в своём орбитальном движении подчинённых более крупной соседней планете. Планета-спутник удовлетворяет следующим условиям:

— обладает достаточной массой, чтобы сила тяжести превосходила сопротивление вещества и поэтому тело планеты пребывало в состоянии гидростатического равновесия (а значит, имело форму, близкую к сферической);

— является спутником более массивной планеты.

Прототипом планет-спутников служит Луна. Важнейшим признаком планеты является её способность силой собственного тяготения придать себе сфероидальную форму. На это способны только крупные тела — льдистые диаметром более 400 км и каменистые диаметром более 900 км. Если состав тела точно не известен, то для надёжности можно принять пограничное значение равным 1000 км и все более крупные спутники определить в группу планет-спутников (см. табл.). Среди объектов Солнечной системы этому критерию удовлетворяют 16 тел, и все они действительно имеют сферическую форму.

Характеристики планет-спутников

Планета-спутник	Диаметр, км	Масса, 10^{20} кг	Плотность, г/см^3	Планета-хозяин
Луна	3475	735	3,3	Земля
Ио	3643	893	3,5	Юпитер
Европа	3122	480	3,0	
Ганимед	5262	1482	1,9	
Каллисто	4821	1076	1,8	
Тефия	1066	6,2	1,0	Сатурн
Диона	1123	11	1,5	
Рея	1530	23	1,2	
Титан	5150	1347	1,9	
Япет	1470	18	1,1	
Ариэль	1158	13,5	1,6	Уран
Умбриэль	1170	12	1,5	
Титания	1578	35	1,7	
Оберон	1523	30	1,6	
Тритон	2705	214	2,1	Нептун
Харон	1207	18	1,7	Плутон

Однако и среди спутников меньшего размера тоже могут найтись достаточно пластичные объекты, способные сфероизовать себя собственными силами. Это возможно, если в составе небольшого спутника много льдов. Поэтому спутники диаметром от 400 до 1000 км являются кандидатами в планеты-спутники; таких оказалось три. Два из них — Энцелад (спутник Сатурна) и Миранда (спутник Урана) — сферические, а наименьший среди кандидатов — Протей (спутник Нептуна) — имеет угловатую форму. Возможно, нижняя граница диаметров планет-спутников близка к 450 км, но это ещё предстоит уточнить.

ПЛАНЕТАРИЙ — оптический прибор для проекции на внутреннюю поверхность полусферического купола изображений звёзд, планет, Солнца, Луны и других небесных объектов с соблюдением их относительной яркости, положения и движения. Планетарий показывает картину неба при наблюдении из любой точки на Земле в любой момент, как в прошлом, так и в будущем. Планетарием называют также помещение, в котором установлен этот проектор. Планетарии используются в астрономическом образовании и существенно помогают в популяризации космических исследований. По выражению известного датского астронома, профессора Копенгагенского университета Элиса Стрёмгрена, «планетарий — это школа, театр и кино одновременно, школьный класс под небесным сводом и спектакль, в котором актёрами являются небесные тела».

Моделировать относительное положение небесных тел люди пытаются с давних пор. Одним из первых способов стало нанесение положений звёзд и созвездий на внешнюю поверхность глобуса. Изобретение небесного глобуса приписывают философу Анаксимандру (VI в. до н. э.). А греческому геометру Эратосфену (ок. 250 до н. э.) приписывают изобретение армиллярной сферы — конструкции из нескольких колец, демонстрирующей основные линии небесной сферы. Подобные приборы были независимо усовершенствованы исламскими и китайскими астрономами. Общей чертой этих приборов было то, что они представляли небо, как бы наблюдаемое снаружи. Это позволяло осуществлять некоторые расчёты (например, определять угловое расстояние между звёздами), но требовало определённого напряжения мысли при сравнении конфигураций звёзд на сфере с их расположением на небе. Чтобы преодолеть этот недостаток, между 1650 и 1654 гг. под руководством немецкого учёного Адама Олеария (1603–1671) был изготовлен Готторпский глобус, внутри которого могло разместиться несколько человек. Последнюю попытку изобразить небесные объекты на внутренней поверхности сферы предпринял в 1912 г. Уоллас В. Атвуд из Чикагской академии наук.

Аппараты для демонстрации видимого движения небесных тел имеют почти столь же долгую историю. Древнейший среди известных — так называемый антикитерский механизм, который подняли в 1901 г. со дна Средиземного моря ныряльщики за губками. Этот поразительно сложный календарь и счётный механизм был создан около 87 г. до н. э. Отметим также построенные между 1348 и 1364 гг. Джованни де'Донди семициферблатные астрономические часы — астрариум, изображавшие все известные тогда тела Солнечной системы. Вслед за теорией Коперника появился новый тип механических приборов, изображавший орбиты планет вокруг центрального Солнца. Планетарий Христиана Гюйгенса, законченный в 1682 г., ознаменовал новый уровень точности, связанный с применением прнципа непрерывных дробей. А механизм, построенный около 1712 г. Джоном Роули для Чарлза Бойли, четвёртого графа Оррери, дал своё имя «орарий» (оттегу) всем последующим подобным механическим устройствам. В России механические модели Солнечной системы называют коперниканскими планетариями.

Аппарат Цейса. Основная заслуга в рождении проекционного планетария принадлежит Оскару фон Миллеру (1855–1934), основателю и первому президенту Немецкого музея в Мюнхене (Германия). Развивая свою общую концепцию экспозиции, он решил создать учебные пособия для демонстрации справедливости научных теорий. Например, ему хотелось показать, как гелиоцентрическая теория Коперника объясняет видимое геоцентрическое движение небесных тел. В 1913 г. фон Миллер обсуждал с оптическим предприятием «Карл Цейс» в Йене возможность создания полого небесного глобуса, но этот проект прервала Первая мировая война. Однако в 1919 г. сотрудник этого предприятия Вальтер Бауэрсфельд (1879–1959) нашёл совершенно новое решение проблемы. Он предложил сделать сферу неподвижной, а её внутреннюю белую поверхность использовать как экран для множества небольших проекторов, расположенных в центре сферы.

Спустя пять лет в Мюнхене установили первый проектор «Модель I», прозванный «чудом из Йены». Представленный публике 21 октября 1923 г., этот прибор служил многофункциональным «волшебным фонарём», т. е. слайд-проектором. Лампа накаливания помещалась в центре звёздного проектора диаметром 0,5 м. На его сферической поверхности размещался 31 простой проектор, и в фокусе каждого из них была металлическая пластинка с отверстиями, относительное по-

ложение и размер которых соответствовали положению и яркости звёзд, видимых невооружённым глазом на определённом участке неба. В целом картина представляла вид всего звёздного неба, за исключением области вблизи южного полюса мира. Вращаясь вокруг полярной оси, «Модель I» демонстрировала суточное движение неба. Отдельная ось позволяла моделировать явление прецессии, представляющее колебание земной оси с периодом 26 тыс. лет и приводящее к смещению полярных звёзд, а также точек равноденствия и солнцестояния.

Чтобы правильно воспроизвести относительные скорости Солнца, Луны и планет так, как они наблюдаются с Земли, для каждого из этих светил использовался оптический проектор, перемещаемый системой шестерёнок. При этом точно имитировалось попятное движение планет, казавшееся необъяснимым звездочётам древности. Воспроизводились все видимые невооружённым глазом небесные явления, включая фазы Луны в течение их месячного цикла.

Первый проекционный планетарий не мог показать эффект изменения широты места наблюдения. Чтобы исправить этот недостаток, сотрудник фирмы Цейса Вальтер Филлигер (W. Villiger, 1872–1938) разделил шар звёздного проектора на два полушария: одно для северных звёзд, другое — для южных. Устройства для проекции планет он разместил между разделёнными полусферами. Получившаяся «Модель II» планетария Цейса (1926) стала универсальным учебным прибором. До Второй мировой войны около двух дюжин таких планетариев было установлено в Европе и пять — в крупнейших городах США: Чикаго, Филадельфии, Лос-Анджелесе, Нью-Йорке и Питтсбурге. Открытый в 1929 г. Московский планетарий стал тринадцатым в мире. Десять его предшественников находились в Германии, один в Вене и ещё один — в Риме. Между прочим, Нью-Йоркский планетарий открылся лишь в 1935 г.

Аппарат Спитца. Высокая цена «Модели II» планетария Цейса (около 75 тыс. долл. США в 1930 г.) существенно ограничивала их количество в мире. В 1947 г. Арманд Спитц (A. N. Spitz, 1904–1971), лектор и руководитель планетария «Фельц» в Филадельфии, предложил упрощённую конструкцию дырочного проектора, что снизило цену аппарата до 500 долл. и сделало его доступным значительно большему кругу покупателей — школам, университетам, музеям. Прибор Спитца, напоминавший «Модель I» Цейса, представлял собой додекаэдр, в 12 гранях которого были отверстия для проекции нескольких сотен ярчайших звёзд. Спитц стремился к применению планетария в разнообразных образовательных целях, и его заслуга в том, что с планетарием познакомились широкие массы населения. За 10 лет было продано около 100 проекторов Спитца модели A.

Важным фактором, стимулировавшим общественный интерес к астрономии и космическим исследованиям в США, стал запланированный на период Международного геофизического года (1957–1958) запуск искусственного спутника. Спитц стал координатором визуальных наблюдений по проекту Moonwatch, любительской организации по сбору данных о спутнике для Смитсонианской астрофизической обсерватории. Однако запуск 4 октября 1957 г. первого спутника в Советском Союзе вызвал в США шок и вынудил начать коренную перестройку американского образования в области естественных наук и математики. С этого момента началась замечательная эпоха в строительстве планетариев. Предприятие Спитца выпустило новый, более сложный проектор модели A3P, ставший наиболее массовым аппаратом «планетарий» в мире. Последовавшие за этим экспедиции к Луне подняли астрономию и космическое образование на новый уровень популярности. К 1970 г. в Северной Америке функционировало более 500 планетариев различного типа.

Аппарат «Диджистар». Аппарат совершенно нового типа «Диджистар» был установлен в Универсальном планетарии Ричмонда (шт. Вирджиния) в 1983 г. Производимый корпорацией «Эванс и Сазерленд» в Солт-Лейк-Сити (шт. Юта), «Диджистар» не имеет движущихся частей. Численные данные примерно о 6800 звёздах записаны в памяти микрокомпьютера VAX. Графический процессор отображает данные на телевизионной трубке высокой яркости. С неё изображения звёзд сверхширокоугольным объективом типа «рыбий глаз» проецируются на купол. «Диджистар» позволяет зрителям как бы покинуть Землю и рассматривать звёздное небо с точки зрения наших соседей, удалённых на расстояние вплоть до 650 св. лет. «Ускоряя время», можно увидеть перемещение звёзд за счёт их собственного движения. Разумеется, «Диджистар» может демонстрировать и все стандартные эффекты, доступные его предшественникам. Несколько десятков проекторов «Диджистар» было установлено в США к середине 1990-х гг.

Не остановилось и развитие «гантелеобразного» планетария Цейса: модели 1967–1984 гг. Spacemaster, Skymaster и Cosmorama обеспечивают проекцию на купола диаметром от 6 до 25 м, электронную запись лекций и видеопрограмм, множество спецэффектов. Последние классические модели имели 5 м в высоту и весили до 2 т. В начале 1990-х гг. их потеснил компактный Universarium с богатой электронной начинкой, способной даже черпать новые данные через Интернет.

Чтобы получить представление о сложности, например, «Большого Цейса» (модель ZGP Cosmorama), следует иметь в виду, что в его конструкции объединено более 150 проекторов с телеобъективами, приводимых в движение (группами и поодиночке) семью бесшумными электромоторами. В проекторах используется четыре десятка различных электроламп. В 32 проектора звёздного неба вставлены металлические пластинки с отверстиями диаметром от 0,023 до 0,33 мм в зависимости от яркости звезды. На куполе диаметром до 25 м аппарат изображает более 9000 звёзд до 6,6 звёздной величины. Самые яркие звёзды изображаются отдельными проекторами с имитацией цвета и атмосферного мерцания. Некоторые переменные звёзды, как положено, меняют свой блеск. Демонстрируются Млечный Путь, десятки звёздных скоплений и туманностей, вспышки новых звёзд, метеоры и кометы, полярные сияния и гало; на звёздное небо накладываются фигуры созвездий, традиционные для различных народов мира. Специальный проектор воспроизводит параллактическое и аберрационное движение Сириуса, вариообъективы позволяют приближать планеты, чтобы рассмотреть их спутники и кольца (причём спутники Юпитера движутся, а кольца Сатурна меняют наклон). Демонстрируются даже зодиакальный свет и противосияние (которые видел в природе далеко не каждый профессиональный астроном). При этом весь аппарат имеет возможность вращаться вокруг трёх осей: полярная ось обеспечивает суточное движение светил, ось эклиптики позволяет моделировать явление прецессии, а горизонтальная ось обеспечивает перемещение наблюдателя по географической широте. Проекторы Солнца, Луны и планет имеют дополнительные оси в соответствии с их орбитами.

Кроме главного аппарата, в зале работают десятки вспомогательных проекторов: слайд-проекторы и кинопроекторы, оптический коперниканский планетарий, имитаторы солнечного и лунного затмений; вдоль горизонта демонстрируется панорама ночного города с легко узнаваемыми деталями, панорамы планет (посадка на Луну, высадка на Марс), сумеречные явления, кометы, искусственные спутники Земли, линии основных координатных систем и другие полезные вещи и зрелищные явления. Управляемый лазерный луч, телевизионный проектор компьютерных изображений и настоящий квадрофонический звук дополняют картину. Всё вместе это оказывает потрясающий эффект и на детей, и на искушенных профессионалов.

К началу XXI в. производство аппаратов «планетарий» стало серьёзным бизнесом для многих оптических компаний. Кроме упомянутых выше, хорошо извест-

ны аппараты японских фирм Goto и Minolta, итальянский Galileo, американские Viewlex, Farquhar и др.

В СССР в мастерских Московского планетария в конце 1950-х гг. был разработан и производился примитивный аппарат УП-1 (Упрощенный планетарий), подобный первой модели Спитца. До сих пор этот незамысловатый агрегат (железный шар с дырочками) используется в некоторых малых планетариях. Но ничего близкого к мировому уровню у нас не создавали. Лишь в первые годы перестройки была робкая попытка под патронажем общества «Знание» разработать современный аппарат на основе волоконной оптики. Был изготовлен элементарный проектор этого аппарата, демонстрирующий примерно $^1/_{30}$ часть звёздного полушария. Имитация ночного неба оказалась весьма впечатляющей. Но дальше дело пока не пошло.

«Атмосфериум». Планетарии Цейса, Спитца и «Диджистар» показывают ночное небо. Попытка зафиксировать и показать атмосферные феномены дневного неба впервые была предпринята в 1963 г. в Институте исследования пустынь Рено университета шт. Невада. Геофизик Вендел Морди создал аппарат «Атмосферium» сначала как исследовательский прибор, способный с помощью объектива «рыбий глаз» зафиксировать на 35-мм плёнку изображение неба и затем продемонстрировать его на куполе. Иллюзия пребывания под открытым небом оказалась настолько сильной, что этот метод стали использовать для съёмки видеофильмов. Например, одна из таких камер была установлена в грузовом отсеке шаттла и снимала работу астронавтов в открытом космосе. Технология «Атмосферium» с помощью 70-мм плёнки была доведена до коммерческого использования в кинотеатрах OMNIMAX.

Появление персональных компьютеров позволило моделировать звёздное небо на экране монитора. В определённом смысле программы-планетарии, такие мощные, как RedShift и Starry Night, умеют теперь гораздо больше, чем настоящий планетарий. Но с их появлением посещаемость «живых» планетариев не уменьшилась, а лишь возросла.

Прибор для развлечения, образования и исследований. Планетарий используется теперь не только для учебных целей. В 1970-е гг. крупные планетарии при создании школьных и публичных программ стали применять не только живой рассказ, но также музыкальные и дикторские записи и различные спецэффекты. Эта техника позволяет дать зрителю более насыщенный визуальный ряд в сопровождении более профессионального и содержательного текста. С появлением компьютеров сеансы становятся все более автоматизированными. К середине 1990-х гг. планетарии превратились в мультимедийные театры, которые развлекают и обучают своих посетителей. Привлекают публику и лазерные шоу. Кроме того, в планетариях многие военные специалисты и астронавты обучаются астронавигации, а биологи исследуют способность птиц во время перелётов ориентироваться по звёздам.

Бурный рост числа планетариев наблюдался в 1965–1977 гг., когда ежегодно в разных уголках мира открывалось по 60–90 планетариев. По данным Международного союза планетариев, в 1990 г. во всем мире было около 1750 стационарных планетариев, из них 982 в США и около 300 — в Японии. С тех пор большое распространение получили мобильные планетарии, сосчитать которые практически невозможно. По некоторым оценкам, сегодня в США приходится один планетарий на каждые 100 тыс. населения, в Японии ещё больше.

Планетарии СССР/России. В конце 1980-х гг., незадолго до распада СССР, в системе Всесоюзного общества «Знание» работало 34 планетария (из них 14 в системе общества «Знание» РСФСР). Пять крупнейших (Москва, Ленинград, Волгоград, Рига, Киев) имели аппараты «Большой Цейс», в Харькове — «Средний Цейс», в остальных были маленькие и очень маленькие аппараты. Полный штат сотрудников составлял около 450 человек, из них 65 лекторов. В год через все планетарии проходило 3,7 млн. зрителей. Некоторые из этих планетариев ныне полностью преобразились: получили новые здания и новую аппаратуру. Некоторые закрылись.

Кроме упомянутых выше ещё 26 планетариев в прошлом находилось под началом Министерства культуры РСФСР. Как правило, они были калибром помельче. В СССР было ещё два-три десятка планетариев в республиканских министерствах культуры (Баку, Душанбе, Тбилиси), университетах, дворцах пионеров, штурманских училищах, Звёздном городке и т. п. Таким образом, на территории СССР в 1980-е гг. работало 80–90 планетариев, которые ежегодно посещало около 6 млн человек. Поскольку это число немного превышает годовую рождаемость в СССР тех лет, можно сказать, что в среднем почти каждый школьник страны хотя бы раз побывал в планетарии. После 2000 г. в России некоторые планетарии закрылись, некоторые реконструируются, строятся новые (например, в Новосибирске). В целом по обеспеченности планетариями мы пока сильно отстаём от развитых стран.

Московский планетарий всегда был ведущим в нашей стране. С 1934 г. в нём начали работать астрономические кружки, через которые в науку пришло много известных ныне специалистов. С 1947 г. проводилась ежегодная астрономическая олимпиада для школьников — в течение нескольких десятилетий единственная не только в нашей стране, но и в мире. В 1990-е и 2000-е гг. из неё выросли Всероссийская, Международная и многие другие астрономические олимпиады. В 1947 г., к 800-летию Москвы, при Планетарии была открыта первая в мире астрономическая площадка, на которой разместили многочисленные экспонаты — оригинальные приборы, модели и макеты, хороший 5-дюймовый рефрактор в башне. Астроплощадка пользовалась большой популярностью у москвичей. В мастерских Московского планетария создавались новые приборы и модели, изготавливались слайды; лекторы Планетария, среди которых были самые квалифицированные в стране, разрабатывали новые циклы лекций и наборы слайдов, служивших базовым материалом для их коллег по всей стране.

В 1980-е гг. развитие Московского планетария затормозилось. В 1994 г. было осуществлено акционирование и создано АО «Московский планетарий», учредителями которого стали на 30% коллектив планетария, на 20% — Московская городская организация общества «Знание» и на 50% — АО «Компания Твинз», специализирующаяся в сфере шоу-бизнеса. В том же году Планетарий был закрыт на реконструкцию, которая затянулась на многие годы. В 2008 г. АО «Московский планетарий» по суду было признано банкротом, а в 2009 г. его имущество было продано с торгов. Покупателем стало ОАО «Планетарий» в лице исполнительного органа управляющей компании «Покровские ворота». 100% акций ОАО «Планетарий» принадлежат Департаменту имущества города Москвы. Реконструкция Планетария возобновилась уже целиком на деньги Москвы. Научным куратором Планетария назначен МГУ.

Здание Планетария полностью реконструировано: его площадь увеличилась в несколько раз. На закупку оборудования из бюджета Москвы было выделено 10 млн евро. Это позволило оснастить Планетарий новым первоклассным оборудованием. В Большом звёздном зале с куполом диаметром 25 м установлены сразу две проекционные системы: современный классический оптико-механический планетарий — одношаровой оптоволоконный аппарат Universarium Model IX (Carl Zeiss, Jena), а также английская система цифровых проекторов, способная воспроизводить на весь купол изображение звёздного неба, фильмы и анимации. В Планетарии созданы новая астроплощадка, обсерватория с большим рефрактором, музей метеоритов, интерактивные экспонаты и аттракционы, открыты астрономические кружки. Второе рождение Московского планетария состоялось 12 июня 2011 г.

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ – расширяющиеся газовые туманности вокруг старых звёзд умеренной массы, образованные верхними истекающими слоями атмосферы звезды. Планетарная туманность светится в оптическом диапазоне, поскольку её газ нагрет ($T \approx 10$ тыс. К) и возбуждён ультрафиолетовым излучением горячего ($T \approx 70$–150 тыс. К) остатка звезды (с. 12–13 цветной вкладки). Первые планетарные туманности были открыты В. Гершелем около 1783 г. и названы так за их внешнее сходство с дисками планет. Однако далеко не все планетарные туманности имеют форму диска: многие имеют форму кольца или симметрично вытянуты вдоль некоторого направления (биполярные туманности). Внутри них заметна тонкая структура в виде струй, спиралей, тонких оболочек и глобул. Скорость расширения планетарных туманностей 20–40 км/с, диаметр 0,01–0,1 пк, типичная масса около 0,1 массы Солнца, время жизни около 10 тыс. лет.

ПЛАНЕТЕЗИМАЛИ (англ. *planetesimal*, от *planet* – планета и *infinitesimal* – бесконечно малая величина) – мелкие твёрдые тела типа метеороидов и маленьких астероидов (иногда верхней границей их диаметра считают 10 км), состоящие из льдов и тугоплавких веществ, образовавшиеся в протопланетной туманности и послужившие материалом при формировании больших планет, некоторых их спутников и крупных астероидов.

Термин ввели американские учёные – геолог Томас Чемберлин (1843–1928) и астроном Форест Мультон (1872–1952) при разработке космогонической гипотезы, альтернативной небулярной гипотезе Канта и Лапласа. В 1904 г. они предложили приливную гипотезу возникновения Солнечной системы; согласно ей, в результате тесного сближения Солнца с другой звездой из них произошел выброс вещества, которое быстро остыло и затвердело, образовав небольшие сгустки – планетезимали. Наиболее крупные сгустки послужили ядрами, вокруг которых путём аккреции мелких планетезималей сформировались планеты и системы их спутников. Позже эту гипотезу развивал английский астрофизик Джеймс Джинс (1877–1946), но она встретила непреодолимые трудности при попытке объяснить большой орбитальный момент планет. Однако термин «планетезимали» сохранился в астрономии, хотя их происхождение связывают теперь с конденсацией вещества первичной туманности, в центре которой сформировалось Солнце, а на периферии – планеты.

ПЛАНЕТОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ – система координат, определяющая положение точек на поверхности вращающихся вокруг своих осей планет. Основной круг планетографических координат – экватор планеты; координаты – широта и долгота.

ПЛАНЕТОЛОГИЯ – комплекс наук, изучающих планеты Солнечной системы и их спутники. Планетология изучает физические свойства, химический состав, строение поверхности и особенности состава ядра, внутренних и внешних оболочек планет и спутников.

ПЛАНКОВСКАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ – «естественная» система, предложенная Максом Планком в 1899 г. Все единицы измерения получаются в ней путём комбинации мировых констант: скорости света (c), постоянной тяготения (G), постоянной Планка ($\hbar$).

Планковские единицы измерения

Величина	Численное значение
Длина $l_p = (G\hbar/c^3)^{1/2}$	$1{,}62 \cdot 10^{-35}$ м
Время $t_p = (G\hbar/c^5)^{1/2}$	$5{,}39 \cdot 10^{-44}$ с
Масса $m_p = (\hbar c/G)^{1/2}$	$2{,}18 \cdot 10^{-8}$ кг
Энергия $m_p c^2 = (\hbar c^5/G)^{1/2}$	$1{,}96 \cdot 10^{9}$ Дж
Натяжение $m_p l_p / t_p^2 = c^4/G$	$1{,}22 \cdot 10^{44}$ Н

Планковская длина – это масштаб, ниже которого квантовые флуктуации структуры пространства-времени становятся весьма велики; в теории струн это характерный размер струны. Планковская масса ($\sim 10^{-5}$ г) близка к массе небольшой пылинки; это характерная масса колеблющейся струны в теории струн. Планковская энергия (около 500 кВт·ч) – это энергия, которую необходимо сообщить частице для изучения её структуры и взаимодействий на масштабах планковской длины; в теории струн это характерная энергия колеблющейся струны. Планковское натяжение ($\sim 10^{40}$ т) – характерное натяжение струны в теории струн.

ПЛАСКЕТТ, Джон Стэнли (Plaskett, John Stanley) (17.11.1865, Хиксон, пров. Онтарио, Канада, – 17.10.1941, Эскуаймолт, пров. Британская Колумбия, Канада) – канадский астроном. В администрации провинции Онтарио ведал астрономическими исследованиями, разработал новый спектрограф и организовал большие научные программы по измерению лучевых скоростей звёзд и по изучению переменных звёзд. Руководил постройкой 183-сантиметрового рефлектора в Виктории (провинция Британская Колумбия) и в 1917 г. стал первым директором созданной там Доминьонской астрофизической обсерватории. Пласкетт получил первое наблюдательное подтверждение вращения Галактики. В 1935 г. руководил постройкой 208-сантиметрового Мак-Дональдского телескопа. В его честь самую массивную двойную звезду называют «звездой Пласкетта».

ПЛЕРИОН – один из типов расширяющейся газовой туманности, образовавшейся при взрыве сверхновой звезды (см. *Остаток сверхновой*). По наблюдениям в радиодиапазоне все остатки сверхновых делят на два типа: 1) «классические» оболочечные и 2) плерионы. Первые характеризуются ростом радиояркости от центра к периферии, что указывает на концентрацию излучающего вещества в оболочке. У плерионов, наоборот, радиояркость увеличивается к центру, что говорит о более или менее равномерном распределении излучающего вещества по объёму остатка. Термин «плерион» произошёл от греческого *pleres*, что переводится как «заполненный». В английской литературе столь же употребительным является термин «Crab-like», но его русский эквивалент – «подобный Крабовидной туманности» – выглядит слишком громоздко.

ПЛЕЯДЫ – рассеянное звёздное скопление (M45) в созвездии Телец, 5–7 звёзд которого различимы невооружённым глазом и образуют маленький «ковшик» размером чуть больше лунного диска. В народе Плеяды часто называют «Семь сестёр» или Стожары. В бинокль в Плеядах видны десятки звёзд, а в телескоп можно обнаружить более 1000 звёзд, принадлежащих этому скоплению. Девять ярчайших его звёзд названы в честь титана Атласа, океаниды Плейоны и их семи дочерей: Альциона, Астеропа, Майя, Меропа, Тайгета, Целено и Электра. Самая яркая из всех – Альциона, 3-й звёздной величины. Плеяды – одно из ближайших к нам звёздных скоплений (410 св. лет); его возраст около 100 млн лет.

ПЛОСКО-ВОГНУТАЯ ЛИНЗА – линза, у которой одна поверхность вогнутая, а вторая – плоская. Это отрицательная, рассеивающая линза, имеющая мнимый фокус.

ПЛОСКО-ВЫПУКЛАЯ ЛИНЗА – линза, у которой одна поверхность выпуклая, а вторая – плоская. Это положительная, собирающая линза, имеющая действительный фокус.

ПЛОСКОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ – плоскость в фокусе телескопа, на которой достигается наилучшая фокусировка изображения. У некоторых инструментов, например у камеры Шмидта, поверхность наилучшей фокусировки искривлена и не является плоскостью, поэтому фотографические пластинки приходится так же искривлять для получения резкого изображения по всему полю зрения. Это достигается с помощью специальной кассеты, в которой пластинка прижимается к искривлённой поверхности.

ПЛОСКОСТЬ ЛАПЛАСА – плоскость, в которой происходит прецессия узла орби-

ты спутника планеты. Дело в том, что у внешних спутников наклонение орбиты к экватору планеты меняется из-за прецессии их орбитальной плоскости. Например, у Луны оно меняется от 18 до 29° с периодом 18,61 года, но при этом сохраняется наклонение в 5° относительно орбитальной плоскости Земли, т. е. относительно эклиптики. Поэтому для некоторых спутников наклонение орбиты удобнее указывать относительно местной плоскости Лапласа — плоскости, в которой происходит прецессия узла орбиты спутника. К тому же отдельно указывается наклонение плоскости Лапласа к экватору планеты.

ПЛЮМЫ (лат. *plume*, мн. лат. *plumes*) — криогенные вулканы на спутниках Нептуна.

ПОВЫШЕНИЕ КОНТРАСТА ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ — метод увеличения контраста бледных фотографических изображений. В подобных изображениях проявленные зёрна преимущественно находятся в верхнем слое эмульсии, тогда как зёрна вуали равномерно распределены по всей её толщине. Поэтому контактная печать с использованием диффузного освещения, воспроизводящая преимущественно поверхностный слой фотоэмульсии, позволяет увеличить отношение сигнала к шуму для бледного изображения.

ПОГРЕШНОСТЬ — мера точности измерения или ряда измерений. Очевидно, что ни одно измерение невозможно выполнить абсолютно точно, а результаты нескольких измерений одной и той же величины всегда подвержены случайным флуктуациям. В большинстве случаев график распределения результатов измерения одной и той же величины имеет колоколообразную форму, известную как распределение Гаусса, или нормальное распределение (в просторечии — гауссиана). Чем меньше ширина кривой нормального распределения, тем точнее измерения. Ширина гауссианы определяется через стандартное отклонение, а ошибка среднего из ряда измерений — связанной с ним стандартной ошибкой среднего.

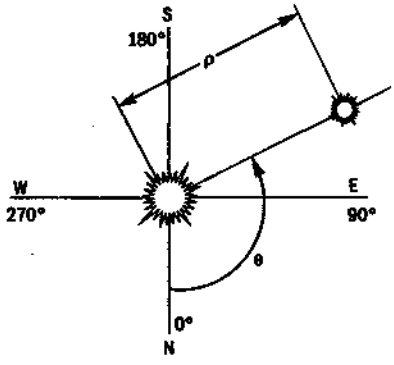
ПОГСОН, Норман Роберт (Sir Norman Robert Pogson) (23.03.1829, Ноттингем, Англия, — 23.06.1891, Ченнай, Индия) — английский астроном. Открыл 9 астероидов и 19 переменных звёзд, нашёл (1872) потерянную комету Биелы. Предложил логарифмическую шкалу звёздных величин с основанием 2,512..., которая используется до сих пор.

ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЁЗДНОГО НЕБА (планисфера) — устройство, показывающее вид звёздного неба на конкретной широте в любой момент времени. Подвижная карта состоит из двух кругов (пластик или картон), обычно соединённых осью в центре. На нижнем круге изображены все созвездия, видимые на данной широте. Верхний круг имеет эллиптический вырез, показывающий небесную полусферу, видимую в заданный момент времени. Дата и время устанавливаются при помощи шкал, имеющихся на внешних частях обоих кругов, путём вращения верхнего круга.

ПОЗИТИВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ — изображение, в котором наиболее яркие части исходного объекта воспроизводятся как наиболее яркие части изображения, а тёмным частям исходного объекта соответствуют тёмные части изображения. Иными словами, позитивное изображение — это близкое к реальному изображение объекта. Фотография даёт негативное исходное изображение, которое нужно перефотографировать ещё раз для получения позитивного изображения объекта. Обычно это делается путём фотопечати.

ПОЗИТРОН — антиэлектрон, т. е. элементарная частица, аналогичная электрону (имеет такую же массу), но с электрическим и лептонным зарядами противоположного знака. Электрический заряд позитрона положительный, в точности такой же, как у протона. При встрече электрон и позитрон аннигилируют (взаимно уничтожаются), рождая при этом 2–3 гамма-кванта.

ПОЗИЦИОННЫЙ УГОЛ, или угол положения (θ), — угол на небесной сфере, который характеризует взаимное расположение двух светил. Для полной характеристики положения его дополняет угловое расстояние между светилами (ρ), которое также называют разделением. Позиционный угол светила B относительно светила A — это угол между дугой AB и кругом склонений, проходящим через точку A. Отсчитывается от северной части круга склонений против часовой стрелки от 0° до 360°. Иными словами, это угол между направлением на северный полюс мира и линией AB, измеренный в градусах в направлении север—восток—юг—запад. При измерении позиционного угла двойной звезды за основание угла принимают главный (более яркий) компонент.



Позиционный угол (θ) и разделение (ρ) двойной звезды

ПОИСК ЖИЗНИ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ — комплекс астрономических наблюдений и космических экспериментов, направленный на поиск жизни на телах Солнечной системы за пределами Земли.

Поиск жизни на больших планетах и планетах-спутниках

Солнечная система предоставляет чрезвычайно разнообразные «полигоны» для астробиологических исследований: холодные газовые гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), твёрдые карлики — от горячего Меркурия до ледяного Титана, планеты с атмосферами различной плотности — от газового океана Венеры до разреженной, как стратосфера, оболочки Марса. Внимание экзобиологов привлекают и планеты-спутники (Европа, Титан, Ио, Тритон), где условия для жизни могут быть благоприятнее, чем на их родительских планетах. Весьма интересны льды кометных ядер и углеродистые недра астероидов. В большинстве этих мест из-за их недоступности до сих пор не проводились экзобиологические исследования. Первым объектом для поиска внеземной жизни стала Луна.

Планета-спутник Луна

Из всех небесных светил только Луна в течение тысячелетий демонстрировала людям свой явный планетный облик; все остальные планеты выглядели как звёзды. Появление телескопа и обнаружение с его помощью гор и долин на Луне только укрепили мнение о ней как о месте, подобном Земле. Издревле люди «населяли» Луну душами умерших, а в XV–XVIII вв. появилось немало книг с фантазиями о путешествиях с Земли на Луну и о возможных обитателях Луны — селенитах (от греч. *selene* — луна).

Улучшение качества телескопов и внимательное изучение с их помощью лунной поверхности, с одной стороны, указало на отсутствие у Луны плотной атмосферы и открытых водных поверхностей, а с другой — выявило множество интересных мелких деталей лунной топографии, например, извилистых узких долин, напоминающих речные русла. В 1824 г. немецкий врач и астроном Франц Паула фон Груйтуйзен (1774–1852) описал увиденные им на лунной поверхности города, укрепления, дороги и даже звериные тропы. Ставший в 1826 г. профессором астрономии Мюнхенского университета, Груйтуйзен, вероятно, последним из профессиональных учёных подозревал разумную жизнь на Луне. Наблюдая в 1834 г. заход звёзд за лимб Луны, Фридрих Бессель не обнаружил у неё даже следов атмосферы. К концу XIX столетия, казалось, бы-

ли отброшены последние надежды встретить на Луне жизнь. Но в середине XX в. они появились вновь.

В Солнечной системе Луна, как и Земля, занимает наиболее благоприятное для жизни место — самую середину так называемой зоны жизни. Чуть ближе к Солнцу слишком жарко (пример — Венера), а чуть дальше от Солнца слишком холодно (Марс). И только на орбите Земли—Луны средняя температура поверхности планеты немного выше нуля по Цельсию — идеальная температура для органической формы жизни. Действительно, на Земле жизнь есть. Так почему бы ей не быть и на Луне?

Ответ кажется очевидным: для известной нам формы жизни важна не только подходящая средняя температура, но и отсутствие сильных колебаний температуры, а на лишённой атмосферы Луне эти колебания значительно сильнее, чем на Земле. Второе неблагоприятное свойство лунной поверхности — отсутствие жидкой или газовой среды: в вакууме живая клетка быстро высыхает, и активные биологические процессы в ней прекращаются. Однако к середине XX в. биологи убедились в высокой приспособляемости жизни, которую удалось обнаружить и в жерлах вулканов, и в глубоководных впадинах, и в стратосфере, и в горячих серных источниках, и в вечной мерзлоте, и в антарктических льдах. Оказалось, что простейшие формы жизни не нуждаются в водной среде. Поэтому вопрос о жизни на Луне вновь стал актуальным, особенно в 1960-е гг., в период подготовки лунных экспедиций. Радиоастрономические измерения показали, что не прикрытая атмосферой поверхность Луны днём нагревается Солнцем до +130 °С, а ночью остывает до −170 °С. Однако под верхним слоем лунного грунта, уже на глубине 1 м колебания температуры почти не ощущаются: там постоянно около −40 °С. Поскольку нельзя было исключить, что в таких условиях жизнь возможна, в первых лунных экспедициях соблюдались строгие условия карантина: после возвращения на Землю астронавтов три недели держали в изолированной камере, чтобы убедиться в отсутствии внеземных форм жизни.

Сотни килограммов лунного грунта были подробно исследованы в лаборатории, но никаких следов органической жизни не обнаружилось. Теперь ясно, что ещё одна недооценённая ранее функция земной атмосферы — это защита живых организмов от влияния космической радиации. На открытую лунную поверхность беспрепятственно попадают губительные для жизни ультрафиолетовые и рентгеновские солнечные лучи, а также заряженные космические частицы, которые на Земле в основном задерживаются в атмосфере. Поэтому сейчас учёные уверены: на поверхности Луны условий для жизни нет; органическая жизнь не могла там зародиться и не может поддерживаться.

Большие планеты и их спутники

До сих пор Луна остаётся единственным небесным телом, образцы вещества которого были аккуратно доставлены на Землю и детально изучены на предмет биологической активности. В принципе такой анализ можно проводить на поверхности изучаемой планеты, оснастив спускаемый аппарат автоматической биолабораторией, что и было сделано несколько раз при исследовании Марса (см. ниже). Возможен и дистанционный поиск индикаторов жизни, например путём спектрального анализа атмосферы и поверхности планеты. Именно такой анализ пока служит единственным источником астробиологических данных обо всех объектах Солнечной системы, за исключением Луны и Марса. На прочих телах, атмосферы и поверхности которых достигли спускаемые аппараты (Венера, Юпитер, Титан, астероиды и ядра комет), астробиологические приборы отсутствовали.

Дистанционные исследования показали, что Меркурий непригоден для жизни: на нём отсутствуют атмосфера и вода (возможны лишь залежи льда в полярных кратерах), а колебания температуры поверхности чрезвычайно высоки: от +420 °С днём до −185 °С ночью. У поверхности Венеры жизнь также невозможна, поскольку там постоянно высокая температура (+460 °С) при которой плавится свинец. Не исключена возможность жизни в верхнем слое облаков Венеры, где условия гораздо мягче, но пока это лишь гипотеза.

Кроме Марса, ни одна из планет не вызывает у экзобиологов пристального интереса. Плутон, Харон, Эрида и другие планеты-карлики пояса Койпера, почти лишённые солнечного тепла и не обладающие значительными внутренними источниками энергии, считаются абсолютно непригодными для жизни. В отношении планет-гигантов существует умеренный оптимизм, поскольку в их атмосферах обнаружено много простейших органических молекул, но всё же трудно поверить, что при отсутствии твёрдой поверхности (а у планет-гигантов её практически нет) может существовать жизнь.

Как оказалось, значительно большее сходство с Землёй имеют не сами планеты-гиганты, а некоторые их спутники — Титан, Европа, Энцелад, Ганимед, Тритон, Ио. Например, у Титана — спутника Сатурна — есть не только азотная атмосфера с органическими компонентами, но и твёрдая поверхность, где могут скапливаться продукты синтеза. Правда, температура этой поверхности (−180 °С) скорее подходит для сжижения кислорода. Первые эксперименты в атмосфере и на поверхности Титана провёл 14 января 2005 г. посадочный аппарат «Гюйгенс», который в составе межпланетного зонда «Кассини» (NASA, ESA) летом 2004 г. прибыл в систему Сатурна. В ожидании посадки на Титан учёные не питали особых надежд относительно жизни на его поверхности, поскольку там не может быть ни жидкой воды, ни подходящей для жизни температуры, поэтому биологических приборов на «Гюйгенсе» не было.

Исследования с борта «Гюйгенса» продолжались немногим более 4 часов — 2 часа при спуске на парашюте и 2 часа на поверхности. Однако данные о Титане продолжают накапливаться благодаря регулярным пролётам вблизи него орбитального зонда «Кассини», который, двигаясь по орбите вокруг Сатурна, совершил уже около полусотни сближений с Титаном (порой почти касаясь его атмосферы). Получено множество оптических и радиолокационных изображений поверхности, давших неожиданный результат.

Хотя на поверхности Титана нет жидкой воды, там имеются большие озёра жидкого метана и этана. Испаряясь, эти жидкости собираются в облака, время от времени выпадают в виде проливных дождей и могучими реками стекают в озёра — происходит круговорот метана, аналогичный круговороту воды на Земле.

Некоторые теоретические модели показывают, что Титан может поддерживать жизнь не на водной основе, хотя не все учёные с этим согласны. Атмосфера Титана плотная, химически активная и богатая органическими соединениями; эти факты подтолкнули учёных к предположению о наличии жизни или предпосылок для её зарождения, особенно в верхних слоях атмосферы. Атмосфера Титана содержит водород, а метан может сочетаться с некоторыми из органических соединений (например, с ацетиленом) для получения энергии и развития жизни.

Кроме того, условия для жизни могут быть благоприятными в недрах Титана, поскольку на любой планете с глубиной растёт температура. Расчёты указывают на возможность существования под поверхностью Титана океана из воды и аммиака. В 2010 г. на основе анализа данных «Гюйгенса» и «Кассини» специалисты сообщили об аномалиях в атмосфере Титана, вблизи его поверхности. Возникла гипотеза о «дыхании» примитивных биологических организмов, которые могли бы поглощать газообразный водород и питаться молекулами ацетилена, при этом в процессе их жизнедеятельности образовывался бы метан. В итоге на Титане наблюдалась бы нехватка ацетилена и снижение содержания водорода около поверхности. Таким образом, жизнь на Титане остаётся открытым вопросом и темой научных дискуссий и исследований.

Повышенное внимание астробиологов привлекают также спутник Юпитера

Европа и спутник Сатурна Энцелад, хотя и лишённые атмосферы, но имеющие под своей ледяной поверхностью океан жидкой воды комнатной температуры. Сомнений в этом уже практически не осталось. Поэтому сейчас активно разрабатываются проекты космических зондов, способных опуститься на поверхность этих спутников и взять биологические пробы из их океанов в поисках следов жизни. Весьма перспективным в этом смысле выглядит Энцелад — единственное место в Солнечной системе (помимо Земли), для которого есть надёжное доказательство наличия воды в жидком состоянии: там из ледяных трещин бьют гигантские гейзеры! Наличие жидкой воды на Европе под слоем льда и на Марсе под слоем вечной мерзлоты ещё требует доказательств.

Марс

Астробиологи всегда возлагали на Марс большие надежды, но лишь космические полёты дали реальную возможность для практического поиска жизни на его поверхности. Обнаруженные на Марсе с помощью пролётных и орбитальных аппаратов русла высохших рек убеждали учёных, что на планете могла быть вода. К тому же приемлемый для жизни диапазон температуры (почти такой же, как в Антарктиде) указывал, что на Марсе могли бы существовать микробы и простейшие формы растений. Поэтому одной из приоритетных задач космической программы США был поиск жизни на Марсе.

Эта работа достигла кульминации в 1976 г., когда две автоматические станции «Викинг» опустились на поверхность Марса и проработали на ней несколько лет. В состав каждой станции входило три прибора для микробиологических экспериментов с марсианским грунтом:

— эксперимент *«Газовый обмен»*. Несколько граммов грунта смачивали раствором, богатым питательными веществами, и затем с помощью газового хроматографа следили за изменением химического состава газов над смесью грунта и питательных веществ. Такие изменения могли произойти в результате жизнедеятельности марсианских микроорганизмов. На Земле этот эксперимент обнаружил бы существование жизни по изменениям содержания кислорода, углекислого газа или водорода в воздухе над грунтом, вызванным обменом веществ живых организмов, содержащихся в пробе, с окружающей средой;

— эксперимент *«Разложение метки»*. В этом эксперименте, предназначенном для более прямой проверки биологической активности, использовался набор органических соединений, меченных путём замены части обычных атомов углерода радиоактивными атомами углерода-14. Этими соединениями смачивалась проба грунта. Если бы любой организм потребил часть этих меченых молекул (отсюда название «разложение метки»), то при прогревании пробы грунта, в которой он жил, в газе над образцом была бы зарегистрирована радиоактивность. На Земле такой эксперимент называют «дыханием грунта», так как он показывает, выделяют ли микроорганизмы газ в атмосферу.

Описанные эксперименты имеют два основных недостатка. Во-первых, в настоящее время на Марсе практически нет жидкой воды, поэтому водная среда может оказаться совершенно непривычной для марсианских бактерий. Во-вторых, органические питательные вещества, «лакомые» для земных организмов, могли оказаться ядовитыми для марсианских.

Этих недостатков был лишен третий биологический эксперимент — *«Пиролизное разложение»*. Проба грунта помещалась в камеру, где обычная марсианская атмосфера заменялась эквивалентной смесью газов, меченных радиоактивными атомами углерода. Внутреннее освещение камеры обеспечивалось ксеноновой лампой с фильтром, задерживающим ультрафиолетовое излучение, чтобы исключить возможность фотохимических реакций, имитирующих биологическую активность. После того как предполагаемые марсианские организмы имели возможность пожить некоторое время в этой среде, камера промывалась инертным газом для удаления непрореагировавших остатков радиоактивной атмосферы. Затем проводился пиролиз — прокаливание образца грунта до температуры 625 °С. Получаемая газовая смесь содержала продукты пиролиза и непрореагировавшие исходные газы, которые адсорбировались на частицах грунта. После этого газовую смесь пропускали через колонку с окисью меди, которая задерживает органические молекулы, но не адсорбирует $^{14}CO_2$ и ^{14}CO, поступающие в детектор. Их радиоактивность регистрировалась счётчиком. Затем температура в колонке повышалась до 750 °С. В результате должно было происходить окисление адсорбированных органических соединений до меченого углекислого газа и его вытеснение в детектор радиоактивности. Именно данная фракция $^{14}CO_2$ должна была служить показателем биологической активности взятых образцов грунта.

Результаты этих экспериментов, проведённых на борту «Викингов», выявили довольно высокую химическую активность грунта, но детальный анализ показал, что она могла иметь неорганическую природу: марсианский грунт может содержать химические вещества типа перекисей (например, перекись водорода H_2O_2), которые реагируют с простыми органическими соединениями с выделением углекислого газа. Данные лишь одного из биологических экспериментов можно было интерпретировать как указание на возможность жизни.

Однако на борту «Викингов» имелся ещё один, очень чувствительный, физический прибор, способный регистрировать органические молекулы в любой, не обязательно живой, форме. Этот прибор сочетал в себе газовый хроматограф и масс-спектрометр. Пробы грунта нагревались в специальной печке для выделения летучих веществ, которые затем поступали в хроматографическую колонку и выходили из неё последовательно в зависимости от времени задержки, различного для разных газов. Масс-спектрометр анализировал уже разделённый поток газа, определяя молекулярный вес присутствующих в нём соединений. Ни в одной из проб грунта в двух местах посадки аппаратов не были обнаружены органические вещества, а лишь вода и углекислый газ, что неудивительно, поскольку они содержатся в атмосфере планеты. Таким образом, этот четвёртый эксперимент, не показавший наличия органических молекул, убедительно отрицает наличие жизни. Сейчас учёные согласны, что в местах посадки «Викингов» на Марсе жизнь не обнаружена и что неясные химические процессы с участием перекисей имитировали проявление жизни в биологических экспериментах.

Результаты работы «Викингов» разочаровали экзобиологов. Стало ясно, что в нынешнюю эпоху условия на Марсе неблагоприятны для возникновения жизни: там холодно, сухо, очень разреженный, лишённый кислорода воздух и поэтому сильное ультрафиолетовое излучение Солнца, стерилизующее поверхность планеты. К тому же планета практически лишена магнитосферы, защищающей от космических лучей. После экспедиций «Викингов» учёные почти потеряли надежду обнаружить на Марсе активные формы жизни. Исследования Марса прервались почти на 20 лет.

С середины 1990-х гг. изучение Марса вновь активизировалось. Этому способствовала находка в Антарктиде марсианского метеорита ALH 84001, который, по мнению некоторых учёных, содержит следы биосферы Марса. В 1997 г. на околомарсианскую орбиту был выведен аппарат «Марс Глобал Сервейор» (Mars Global Surveyor, США), позволивший получить детальные (с разрешением до 1,5 м) изображения поверхности планеты. Стало очевидно, что в истории Марса были периоды, более благоприятные для жизни. Есть признаки того, что климат Марса существенно менялся: в далеком прошлом по его поверхности текла вода: на ней ясно видны следы водной эрозии — овраги и пустые русла рек. В ноябре 2006 г. «Марс Глобал Сервейор» прекратил передавать данные, но буквально в эти же дни на околомарсианской орби-

те начал наблюдения значительно более мощный «Орбитальный разведчик Марса» (Mars Reconnaissance Orbiter, США). На его снимках поверхности Марса, полученных с высоты 300 км, различимы детали размером всего 30 см; при этом ширина полосы захвата на снимке составляет 6 км. На этих снимках видно много замечательных геологических деталей, но прямых признаков жизни не заметно.

В 1997 г. мягкую посадку на Марс совершил зонд «Марс Пасфайндер» (США), доставивший первый автоматический марсоход «Соджорнер», который обнаружил признаки мощных водных течений в геологическом строении поверхности. Это подтвердили и самоходные лаборатории «Спирит» и «Оппортьюнити» (США), опустившиеся на Марс в начале 2004 г. К сожалению, все эти самоходные аппараты не были оснащены приборами для поиска веществ биогенного происхождения. Такие приборы были на борту спускаемого аппарата «Бигль-2», который в 2003 г. в составе европейского зонда «Марс Экспресс» отправился для поиска следов жизни на Марсе, но не смог благополучно сесть на поверхность.

В полярной области Марса успешно сел и работал с мая по ноябрь 2008 г. аппарат «Феникс» (Phoenix, США). Он имел оригинальный комплекс приборов, включающий в себя оптический и сканирующий атомно-силовой микроскопы, а также масс-спектрометр. «Феникс» надёжно зафиксировал наличие водяного льда в грунте и признаки жидкой воды. Большим сюрпризом для учёных стало открытие двух компонентов марсианского грунта, имеющих большое значение для поиска жизни, — карбоната кальция и перхлоратов. Обнаружение перхлоратов даёт основания для иной интерпретации результатов «Викингов». Экзобиологи воспроизвели эксперименты «Викингов», используя в качестве рабочего материала похожие на марсианский грунт образцы грунта из чилийской пустыни Атакама и такие же образцы с добавлением небольшого количества перхлоратов. В результате выделился газ, аналогичный тому, который был зарегистрирован «Викингами»: из перхлората высвободился кислород, который соединился с органическими компонентами, и этот процесс сопровождался выделением хлорметана. Отсюда следует, что в грунте с перхлоратом содержание органических веществ могло быть значительным — более одной миллионной — и при этом приборы «Викингов» вполне могли не заметить их. В пользу этого говорит и то, что приборы «Феникса» зафиксировали выделение двуокиси углерода, когда образец грунта был нагрет в печи до температуры выше 300 °С; так и должно быть в случае соединения содержащихся в грунте органических веществ с перхлоратом.

Но большего ждать от полученных «Фениксом» данных не приходится — дальше эстафету должен принять проект Mars Science Laboratory (США), в задачи которого входит дальнейший поиск признаков жизни на планете с помощью мощного комплекса приборов на марсоходе «Любознательность» (Curiosity, США), который стартовал к Марсу 26 ноября 2011 г. и должен совершить посадку в августе 2012 г. Результаты «Феникса» лишь косвенно свидетельствуют в пользу существования жизни на Марсе, тогда как приборы, установленные на Curiosity, в состоянии выявлять органические вещества в грунте, не прибегая к нагреву образцов. Это осуществляется при помощи экстракции и химической дериватизации — получения летучих производных, которые регистрируются масс-спектрометром.

Данные орбитальных и посадочных аппаратов подогревают интерес экзобиологов к Марсу. В самое последнее время появились доказательства, что в наши дни на Марсе существуют источники жидкой воды и время от времени возникают открытые бассейны. Глобальное картографирование нейтронного излучения Марса выявило огромные залежи водяного льда и связанной воды в приповерхностном слое планеты. Это поддерживает идею о периодическом изменении марсианского климата, долговременные вариации которого могут быть связаны с изменением наклона полярной оси планеты. При небольшом повышении температуры планеты её разреженная атмосфера может стать в 100 раз плотнее за счёт испарения льдов полярных шапок и слоя вечной мерзлоты. Поэтому не исключено, что жизнь на Марсе существовала когда-то в прошлом. Необходимы новые полёты на Марс для поиска ископаемых остатков жизни. Не исключено, что по крайней мере на Марсе экзобиология может уступить место экзопалеонтологии.

Астероиды и кометы

Поверхности астероидов напоминают лунную и выглядят совершенно стерильными. Кометы почти наверняка содержат сложные органические молекулы, образовавшиеся ещё в эпоху формирования Солнечной системы, но трудно вообразить себе жизнь на комете. Впрочем, «трудно» не означает «невозможно». Жизнь, как высшая форма развития материи, отличается удивительной приспособляемостью. А условия на малых телах Солнечной системы могут быть не так уж плохи. Например, в метеорите, упавшем 22 марта 1998 г. близ г. Монаханс в штате Техас (США), учёные обнаружили кристаллы каменной соли с внедрёнными в них крохотными капельками воды. Без сомнения эта вода имеет космическое происхождение, ибо метеорит попал в лабораторию сразу после падения (о котором учёным сообщили школьники — свидетели этого события), и земная влага проникнуть в него не успела. Возраст техасского метеорита около 4,5 млрд лет, поэтому капельки в кристаллах соли несут в себе следы досолнечного вещества. Похожие капельки воды были найдены и в метеорите, упавшем незадолго до этого в Марокко. На Земле кристаллы соли возникают только при выпаривании солёной, например морской, воды. Наличие соли в осколках астероидов, означает, что жидкая вода во время образования Солнечной системы не была редкостью.

Подведём итог. Современные условия на большинстве объектов Солнечной системы исключают жизнь. Наиболее привлекательными для её поиска считаются Марс, Европа (спутник Юпитера) и Энцелад (спутник Сатурна). Прямые поиски жизни до сих пор проводились лишь на Луне и Марсе, не дав положительных результатов. Однако последние исследования Марса, выявившие не только следы воды, но и её наличие, оставляют некоторую надежду. В отношении Европы и Энцелада также планируются биологические эксперименты. Попытки обнаружить жизнь на других телах с помощью автоматических аппаратов основываются на предположении, что жизнь на них имеет ту же углеродную основу, что и на Земле. Возможность жизни на другой основе (аммиак, кремний) считается маловероятной. В ходе исследований уточняется диапазон условий, пригодных для органической жизни.

ПОИСКОВАЯ КАРТА — карта (бумажная или на экране компьютера) с изображением части неба, включающим объект, интересующий наблюдателя. Поисковые карты используют для отождествления искомого объекта среди остальных, видимых в том же поле зрения. При подготовке поисковых карт следует выбирать их масштаб, ориентацию и предельную звёздную величину объектов максимально близкими к реально наблюдаемым с данным телескопом. Подготовка поисковых карт требует определённой аккуратности и тщательности. С небрежно составленной картой легко сделать ошибочное отождествление и не найти нужный объект либо принять за него другой объект.

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ — параметр, характеризующий преломляющие свойства прозрачной среды и показывающий, насколько изменяется направление луча при прохождении границы между двумя средами. Иногда его называют коэффициентом преломления. Если одна из сред является вакуумом, то говорят об абсолютном показателе преломления второй среды. Если обе среды не являются вакуумом, то говорят об их относительном показателе преломления. Обычно абсолютный показатель преломления сре-

ды обозначается как n. Его значение определяется законом Снеллиуса:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r},$$

где i – угол падения, т. е. угол между направлением луча, падающего из вакуума на поверхность среды, и нормалью к этой поверхности, а r – угол преломления, т. е. угол между направлением луча после его проникновения в среду и нормалью к поверхности, сквозь которую он вошёл. Относительный показатель преломления границы двух сред (n_{12}) равен отношению их абсолютных показателей преломления ($n_{12} = n_1/n_2$). Если $n_{12} > 1$, то первая среда называется оптически более плотной, чем вторая.

Численно абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света в вакууме к скорости света в среде. Абсолютный показатель преломления воздуха при нормальных условиях столь близок к единице ($n = 1{,}00028$ для видимого света), что относительный показатель преломления более плотной среды (жидкости, стекла), измеренный в воздухе, можно считать абсолютным. Поэтому его обычно называют просто «показателем преломления». Большинство оптических стёкол имеет показатели преломления в пределах от 1,5 до 1,7.

ПОКАЗАТЕЛЬ ЦВЕТА – характеристика спектра излучения звезды; выражается разностью звёздных величин, измеренных в двух диапазонах спектра. Впервые был введён в начале XX в., когда выяснилось, что относительная яркость звёзд на фотопластинках отличается от наблюдаемой визуально (поскольку наш глаз наиболее чувствителен к жёлтым лучам, а фотопластинка – к синим). Более холодные – жёлтые и красные – звезды выглядят ярче для глаза, а более горячие – белые и голубые – ярче получаются на фотопластинке. Следовательно, цвет звезды указывает её температуру.

Вначале показатель цвета (color index) определили как разность между фотографической и визуальной звёздными величинами объекта: $CI = m_{ph} - m_{vis}$. Введение трёхцветной фотометрической системы *UBV* позволило использовать два независимых показателя цвета: $(B-V)$ и $(U-B)$. Поскольку фильтр V (visual) близок к диапазону чувствительности глаза, а фильтр B (blue) – к диапазону фотопластинки, то значения показателей CI и $(B-V)$ почти совпадают. Шкала звёздных величин установлена так, что $(B-V) = 0$ и $(U-B) = 0$ для звёзд спектрального класса A0 с температурой поверхности около 10 тыс. К. Красные звёзды с низкой температурой поверхности имеют показатель цвета от $+1{,}0^m$ до $+2{,}0^m$, а у горячих бело-голубых звёзд он отрицательный до $-0{,}3^m$. Продвижение в инфракрасный диапазон спектра привело к введению новых стандартных фильтров ($I, J, K, \ldots$) и соответствующих им показателей цвета.

Для звёзд, спектр которых не искажён межзвёздным поглощением света, используется понятие «нормальный цвет» (или «нормальный показатель цвета»). Поскольку он, как и спектральный класс звезды, почти однозначно связан с её температурой, по виду спектра можно определить нормальный цвет звезды, даже если её наблюдаемый цвет искажён межзвёздным поглощением. Разность наблюдаемого и нормального цветов называют «избытком цвета» (Color Excess): например, $E_{B-V} = (B-V) - (B-V)_0$. Его значение как раз и указывает на степень межзвёздного поглощения света звезды и позволяет учесть его. В каждом спектральном диапазоне полное поглощение (A) обычно считают пропорциональным избытку цвета. Например, в фильтре V с успехом можно принимать $A_V = 3{,}0\ E_{B-V}$.

ПОКРАСНЕНИЕ – изменение цвета оптического излучения космического объекта в сторону относительного усиления красного оттенка. Космологическое покраснение вызвано расширением Вселенной и связанным с этим эффектом Доплера. Межзвёздное покраснение вызвано относительно более сильным поглощением и рассеянием голубых лучей при их прохождении сквозь межзвёздную среду (см. *Межзвёздное поглощение света* и *Межзвёздное покраснение*).

ПОКРЫТИЕ – прохождение одного небесного объекта на фоне другого, когда более близкий к наблюдателю объект имеет существенно больший угловой размер, нежели более далёкий покрываемый объект. Обычно покрытиями называют затмения звёзд дисками Луны, планет и астероидов. Представляют интерес и покрытия Луной самих астероидов и планет. Фиксируя моменты покрытий, уточняют теорию движения Луны. Покрытия Луной важны для изучения тонкой структуры космических источников излучения, особенно в тех диапазонах, где аппаратура имеет низкое угловое разрешение: в 1950-е и 1960-е гг. это был радиодиапазон, в 1970-е и 1980-е гг. – рентгеновский и гамма-диапазоны. Регулярно проводятся оптические наблюдения покрытия звёзд Луной для выявления тесных двойных звёзд и исследования структуры поверхности звёзд-гигантов.

Наблюдая, как изменяется поток излучения от источника в момент его покрытия краем Луны, можно с высоким угловым разрешением (которое определяется временным разрешением приёмной аппаратуры и скоростью движения Луны) измерить одномерное распределение поверхностной яркости источника в направлении, перпендикулярном краю лунного диска. Поскольку следующие покрытия этого источника происходят при несколько изменившихся условиях движения Луны, меняется и «направление сканирования», что позволяет по наблюдениям нескольких покрытий восстановить полную двумерную картину распределения яркости источника, т. е. его изображение.

ПОКРЫТИЕ ЗЕРКАЛА – один или несколько тонких слоёв материала на поверхности подложки зеркала. Покрытие зеркала обычно преследует две цели. Первая и главная – получение высокоотражающей зеркальной поверхности. Для получения зеркального слоя обычно используется алюминий, реже – серебро или другие металлы. Вторая цель покрытия – защита отражающего слоя. Напылённый в вакууме слой алюминия при контакте с воздухом покрывается тонкой плёнкой оксида алюминия, которая выполняет защитную функцию и при этом прозрачна. Более прочную защиту зеркального слоя создают путём нанесения поверх алюминиевого слоя дополнительных тонких пленок, например двуокиси кремния.

ПОЛДЕНЬ (истинный) – момент верхней кульминации центра Солнца (т. е. достижение Солнцем максимальной высоты над горизонтом в процессе его суточного движения).

ПОЛЕ ЗРЕНИЯ – область небесной сферы, одновременно доступная наблюдению в телескоп. У визуального телескопа размером поля зрения называют максимальный угловой размер объекта, который можно окинуть взглядом через данную оптическую систему. Окуляры имеют видимое поле зрения в диапазоне от 30° до 80°. Поле зрения телескопа с данным окуляром – истинное поле зрения – вычисляют путём деления видимого поля зрения окуляра на увеличение телескопа. Так, телескоп с 200-кратным увеличением, снабжённый окуляром с видимым полем зрения 50°, имеет истинное поле зрения всего 15′. У астрографа, в фокальной плоскости которого стоит приёмник изображения, поле зрения ограничено либо размером этого приёмника, либо областью качественного невиньетированного изображения (наименьшим из этих двух).

ПОЛЕВАЯ ДИАФРАГМА – круглая диафрагма в фокальной плоскости окуляра, определяющая его поле зрения. Видимое поле зрения окуляра обычно ограничено наблюдаемым угловым диаметром полевой диафрагмы. При фокусировке плоскость полевой диафрагмы оказывается вблизи фокальной плоскости телескопа, поэтому наблюдатель видит одновременно резко и объект, и полевую диафрагму. Полевая диафрагма отсекает наклонные пучки света от объектов, не попадающих

в поле зрения окуляра, снижая этим влияние рассеянного света.

ПОЛИДЕВК (S XXXIV, Polydeuces) – естественный спутник Сатурна. Открыт 24 октября 2004 г. по снимкам, переданным зондом «Кассини». Большая полуось орбиты 377 396 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 2,736915 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0022. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,18°. Размер около 3,5 км. Блеск 25^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1′ 01″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

Маленькие спутники Елена и Полидевк движутся практически по орбите крупного спутника Дионы, являясь «троянцами» в системе Сатурн–Диона. Полидевк располагается в точке Лагранжа L_5, двигаясь по орбите на 60° впереди Дионы, а Елена отстает от неё на 60°, занимая точку Лагранжа L_4.

ПОЛИРОВАЛЬНИК – инструмент, используемый для полировки и фигуризации зеркал телескопа. Обычно представляет собой слой смолы на подходящем основании (как правило, деревянном).

ПОЛИРОВКА – завершающий этап процесса изготовления оптической поверхности, включающий фигуризацию. Полировка устраняет последние мельчайшие ямки, оставленные при шлифовке. Выполняется с использованием порошков окиси железа или церия, которые мягче карборунда, используемого при шлифовке. Зерна полирующего вещества удерживаются мягкой основой, например смолой, имеющей форму, соответствующую форме обрабатываемой поверхности. На начальной стадии полировки, целью которой является устранение матового слоя, к полировальнику прилагаются значительные усилия, характер и амплитуда его движений относительно детали (штрихов) направлены на получение приблизительно сферической поверхности. После снятия мата, на этапе фигуризации, для получения точной формы поверхности, соответствующей расчётной, используются небольшие усилия и специальный характер штрихов.

ПОЛНАЯ ШИРИНА НА ПОЛОВИНЕ ОТ МАКСИМУМА – мера характерного размера (ширины) изображения объекта или выдающейся детали в графике функции, нередко обозначаемая FWHM (Full Width at Half Maximum). Ширину на половине от максимума обычно используют в случаях, когда края объекта замыты и плохо определяемы на фоне шума, как, например, в случае измерения распределения интенсивности вдоль ядра кометы или профиля слабой спектральной линии. В подобных случаях ширина функции на половине от максимальной высоты (или глубины) является достаточно удобной характеристикой, поскольку вблизи этих точек функция определена более чётко. Иногда используют полуширину на уровне половины от максимума (HWHM), которая равна половине FWHM.

ПОЛНОЛУНИЕ – фаза Луны, при которой она находится в противостоянии с Солнцем и её диск с точки зрения земного наблюдателя полностью освещён. В эпоху полнолуния яркость лунного диска значительно усиливается, а период пребывания Луны над горизонтом длится практически всю ночь. Поэтому в полнолуние Луна становится полноценным ночным светилом, что существенно облегчало жизнь древних народов, особенно в южных странах, где полуденная жара мешает работе и путешествиям. По этой причине моменты полнолуний считались знаковыми и даже получали собственные имена. Например, коренные жители Северной Америки, отслеживая смену сезонов, дали полнолуниям следующие названия.

Январь. Волчье полнолуние. В холодных и глубоких снегах середины зимы волчьи стаи выли от голода за индийскими деревушками.

Февраль. Снежное полнолуние. Обычно в течение этого месяца бывают самые обильные снегопады. Охота затруднена, поэтому некоторые племена называли это полнолуние «голодным».

Март. Полнолуние червяков. В марте почва становится мягкой, и земляные черви вылезают на поверхность. Более северные племена называют полнолуние в этом месяце «вороньим», поскольку воронье карканье возвещает конец зимы. Другие варианты: корковое полнолуние, так как снег покрывается льдистой коркой, которая тает днём и замерзает ночью; соковое полнолуние, что связано с периодом появления кленового сока.

Апрель. Розовое полнолуние. Розовый цвет становится преобладающим цветом цветущих растений. Существуют варианты: полнолуние растущей травы, яичное полнолуние, рыбное полнолуние, пасхальное полнолуние.

Май. Цветочное полнолуние. В это время наблюдается обилие цветов. Есть варианты: полнолуние посева семян и молочное полнолуние.

Июнь. Клубничное (земляничное) полнолуние. Европейцы называют его полнолунием роз.

Июль. Оленье полнолуние. В это время у молодых оленей начинают расти рога. Есть варианты: грозовое полнолуние и сенное полнолуние.

Август. Осетровое полнолуние, поскольку в это время осетра можно ловить в Великих озёрах и других крупных водоёмах. Есть варианты: зерновое полнолуние и фруктовое полнолуние.

Сентябрь. Жатвенное полнолуние. Обычно так называют полнолуние, наступающее вблизи дня осеннего равноденствия. В этот период фермеры могут убирать урожай даже ночью при свете полной Луны.

Октябрь. Охотничье полнолуние. С началом листопада, когда олени уже хорошо откормлены, начинается сезон охоты. Урожай уже убран, и охотники могут скакать по полям, издалека замечая животных.

Ноябрь. Бобровое полнолуние. В это время расставляют ловушки на бобров, чтобы успеть до заморозков добыть их тёплый мех. Согласно другой интерпретации, это название отражает возрастание активности бобров при подготовке к зиме.

Декабрь. Холодное полнолуние. Обычно в декабре зима набирает полную силу. Есть вариант: полнолуние длинной ночи, так как в это время ночи самые длинные и тёмные.

ПОЛНОЧЬ (истинная) – момент нижней кульминации центра Солнца (т. е. момент максимального погружения Солнца под горизонт при его суточном движении).

ПОЛОСА, или ПОЛОСА СПЕКТРА, или СПЕКТРАЛЬНАЯ ПОЛОСА – определённый диапазон длины волны (или частоты колебаний) в электромагнитном спектре.

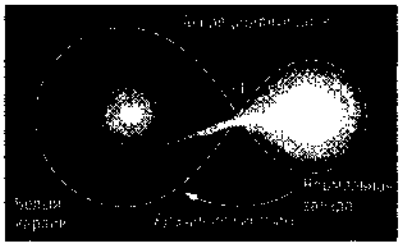
ПОЛОСА КОГЕРЕНТНОСТИ – диапазон частот, в пределах которого две или более волн когерентны.

ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ – диапазон длин волн, пропускаемый фильтром.

ПОЛОСА С – полоса пропускания в рентгеновском диапазоне, включающая длины волн от 5 до 10 нм.

ПОЛОСОВОЙ ФИЛЬТР – фильтр, пропускающий излучение в некотором диапазоне длин волн и поглощающий или отражающий излучение вне этого диапазона. В радиоэлектронике – устройство, пропускающее сигналы в ограниченном диапазоне частот.

ПОЛОСТЬ РОША – часть пространства, которую контролирует своим притяжением одно из тел в двойной системе с круговой орбитой, например в системе планета–спутник или в системе двойной звезды. Вокруг второго тела существует своя полость Роша. Обе они имеют форму, близкую к эллипсоиду, немного вытянутому в направлении соседа. Точка контакта полостей Роша обоих тел называется внутренней точкой Лагранжа (обозначается как L_1, иногда как L_2). Внутри каждой из полостей Роша движение лёгкой сво-



Полости Роша компонентов двойной звезды. Компонент справа целиком заполняет свою полость Роша, и его вещество перетекает на соседнюю звезду

бодной частицы оказывается ограниченным: частица не может покинуть окрестности массивного тела (но может упасть на его поверхность). Если энергия лёгкой частицы увеличивается и она способна достичь поверхности полости Роша, то через точку L_1 частица может перейти в соседнюю полость Роша и быть «присвоена» вторым массивным телом. Частица, попавшая за пределы области Роша любого из двух тел, становится общим спутником системы. Если звезда в тесной двойной системе расширяется настолько, что заполняет свою полость Роша, то вещество с поверхности этой звезды начнёт перетекать на вторую звезду и вытекать в околозвёздное пространство.

ПОЛУВОЛНОВАЯ ПЛАСТИНКА — оптический компонент, используемый в поляризаторах для вращения направления плоскости поляризации линейно поляризованного света. Полуволновые пластинки изготовляют из двулучепреломляющих материалов так, чтобы после прохождения через пластинку обыкновенный (не преломлённый) и необыкновенный (преломлённый) лучи имели относительный сдвиг фаз 180° (половину длины волны).

ПОЛУВОЛНОВОЙ ДИПОЛЬ — антенна, состоящая из двух проводников, каждый из которых имеет длину в четверть рабочей длины волны. Проводники располагаются в одну линию с небольшим промежутком. Радиосигнал индуцирует в полуволновом диполе электрический ток, который далее усиливается и преобразуется в последующих каскадах радиоприёмника. Антенна имеет максимальную чувствительность в плоскости, перпендикулярной линии, соединяющей элементы диполя, где её усиление составляет около 1,6. В направлении вдоль линии, соединяющей элементы диполя, чувствительность антенны равна нулю.

ПОЛУДЕННАЯ ЛИНИЯ — проекция небесного меридиана на плоскость математического горизонта. Проходит через точки севера и юга. В истинный полдень тень от предметов падает вдоль полуденной линии.

ПОЛУМЕСЯЦ — фаза Луны, при которой её видимый диск освещён ровно наполовину. В виде полумесяца Луна наблюдается дважды в течение синодического месяца. Полумесяц — это народный термин. В астрономической литературе фаза Луны, наблюдаемая приблизительно через неделю после новолуния, называется «первой четвертью». А зеркально подобная ей фаза, наблюдаемая приблизительно через три недели после новолуния, называется «последней четвертью». К указанным моментам возраст Луны составляет соответственно четверть и три четверти синодического месяца, откуда и происходит название фаз. (Иногда утверждают что «к указанным моментам Луна проходит соответственно четверть и три четверти пути по орбите», но это неверно, поскольку орбитальный период Луны — сидерический месяц — составляет 27,32 сут, а период смены лунных фаз — синодический месяц — 29,53 сут.)

ПОЛУПРАВИЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ — пульсирующие сверхгиганты или гиганты средних и поздних спектральных классов. Такие звёзды меняют свой блеск более или менее предсказуемым образом. Периоды изменения блеска у этих звёзд составляют от 20 до более чем 2000 сут, амплитуды — от 1^m до 2^m. Различают четыре типа полуправильных переменных, в обозначении которых всегда присутствует сочетание SR от «semi-regular» (полуправильный). Звёзды типа SRa (их называют ещё звёздами типа Z Водолея, Z Aqr), имеют периоды более 35 сут, а амплитуды изменения их блеска менее $2{,}5^m$. У них почти регулярная переменность, что делает их похожими на мириды, но с меньшей амплитудой. Звёзды типа SRb, типичным представителем которых является звезда Z Большой Медведицы (Z UMa), имеют периоды больше 20 сут и амплитуды менее $2{,}5^m$. Но, в отличие от звёзд типа SRa, их периодические колебания блеска иногда прерываются медленными неправильными изменениями или же эпохой постоянного блеска. Звёзды типа SRc, самым известным представителем которых является Бетельгейзе, относятся к сверхгигантам и характеризуются малой амплитудой и нерегулярными интервалами постоянного блеска. Все звёзды этих типов, от SRa до SRc, относятся к спектральным классам M, C или S, иногда с эмиссионными линиями в спектре. Звёзды группы SRd могут быть жёлтыми гигантами и сверхгигантами (спектральные классы от F до K), которые горячее других полуправильных переменных. Изменения их блеска происходят с амплитудой от $0{,}1^m$ до 4^m, и они подвержены случайным изменениям блеска.

ПОЛУТЕНЬ — при описании солнечных затмений так называют область частичной тени, окружающую конус полной тени, протянувшийся от Луны к земной поверхности. На Земле из области полутени видна часть Солнца (частное затмение), в то время как из области тени фотосфера Солнца не видно вовсе (полное затмение). При описании поверхности Солнца полутенью называют более светлую кайму, окружающую центральную тёмную часть солнечного пятна.

ПОЛЮСЫ ГАЛАКТИКИ — полюсы системы галактических координат, основной большой круг которой — галактический экватор. Северный полюс Галактики лежит в созвездии Волосы Вероники, южный — в созвездии Скульптор.

ПОЛЮСЫ МИРА — точки на небесной сфере, вокруг которых происходит её кажущееся суточное вращение. На небе этих точек две — северный полюс мира и южный полюс мира. Эти полюсы лежат в точках пересечения оси вращения Земли с небесной сферой. В нашу эпоху положение северного полюса мира отмечено Полярной звездой (α Малой Медведицы, α UMa), находящейся на расстоянии менее углового градуса от истинного полюса. Вблизи южного полюса мира нет ни одной яркой звезды, подобной Полярной. В популярной литературе нередко полюс мира называют «небесным полюсом», прямо переводя англ. celestial pole. Это неверно.

Положение полюсов мира в системе координат, связанной с далёкими звёздами, медленно изменяется из-за прецессии и нутации оси вращения Земли.

ПОЛЮСЫ — диаметрально противоположные точки сферы; обычно те две точки, в которых ось вращения сферы пересекает её поверхность. Ось вращения Земли пересекает земную поверхность в точках северного и южного географических полюсов. Ось мира (параллельная земной оси) пересекает небесную сферу в точках северного и южного полюсов мира. Северным полюсом считают тот, вокруг которого видимое вращение звёзд происходит против часовой стрелки.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ — процесс возникновения поляризованного излучения.

ПОЛЯРИМЕТР — прибор для измерения величины и типа поляризации излучения астрономических объектов. Поляриметр для оптического диапазона представляет собой фотометр, в оптический тракт которого добавлен поляризатор. Изменение сигнала фотометра при вращении поляризатора даёт информацию о поляризации света изучаемого объекта. В радиодиапазоне многие типы антенн в силу своей конструкции чувствительны к поляризации принимаемого излучения.

ПОЛЯРИМЕТРИЯ – наука, изучающая поляризацию электромагнитного излучения небесных объектов.

ПОЛЯРИЗОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – электромагнитное излучение, в котором максимальная амплитуда колебаний электрического вектора лежит в определённой плоскости (линейная поляризация) либо эта плоскость демонстрирует регулярное вращение (круговая и эллиптическая поляризация).

ПОЛЯРИЗАТОР – устройство, пропускающее линейно поляризованное электромагиитное излучение только в некоторой заданной плоскости. Поляризатор можно использовать для уменьшения добавки к фону неба от рассеянного лунного света, который имеет высокую степень поляризации в областях, удалённых от Луны на угол от 60° до 120°. Для точного выбора ориентации поляризатора его следует вращать, глядя в окуляр, до достижения минимальной яркости фона неба.

Поляризатор можно использовать и для выделения деталей объектов с высокой степенью поляризации излучения, например в Крабовидной туманности. Два скрещённых поляризатора позволяют получить нейтральный фильтр переменной плотности; изменение пропускания такого фильтра достигается поворотом одного из поляризаторов вокруг оси. Следует помнить, что подобный фильтр не предназначен для наблюдений Солнца, поскольку он поглощает значительную часть проходящего излучения, отчего может перегреться и лопнуть. См. также *Призма Николя*, *Поляроид*.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ СВЕТОФИЛЬТР – 1) нейтральный фильтр с переменным пропусканием, состоящий из двух поляроидов, скрещённых под регулируемым углом; 2) поляроид, который используется для ослабления фона неба. Рассеянный свет Луны (или Солнца) частично поляризован, а на расстоянии 90° от Луны имеет почти 100%-ю линейную поляризацию. Используя поляризационный светофильтр, можно значительного снизить яркость фона неба в лунные ночи для объектов на некотором угловом расстоянии от Луны.

ПОЛЯРНАЯ ЗВЕЗДА – α Малой Медведицы (α UMi), звезда 2,0 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 470 св. лет. В нашу эпоху эта звезда расположена на расстоянии около 1° от северного полюса мира и поэтому удобна для ориентирования: она всегда указывает приблизительное направление на север. К тому же по ней легко определить широту места, приблизительно равную высоте Полярной звезды над горизонтом.

Положение Полярной звезды относительно северного полюса мира со временем меняется (см. *Прецессия*). В 1900 г. она отстояла от полюса мира на 1°14′, а в 2000 г. – на 44′. В 2102 г. Полярная приблизится к полюсу на минимальное расстояние 27′31″ и затем будет удаляться от него. В прошлом роль Полярной звезды как указателя полюса мира принадлежала (и впоследствии будет принадлежать) иным светилам. Причиной этого служит явление прецессии, т. е. медленный поворот земной оси. Например, 14 тыс. лет назад роль Полярной звезды играла Вега. Долгие годы Полярная звезда проявляла себя как классическая цефеида, изменявшая свой блеск на $0{,}^m3$ с периодом около 4 сут. Но в 1990-е гг. колебания её блеска неожиданно прекратились.

ПОЛЯРНАЯ НОЧЬ – период, когда Солнце зимой на высоких географических широтах не поднимается над горизонтом, и поэтому прямое солнечное освещение отсутствует. Полярная ночь наблюдается на широтах более 65,7°. На северной широте 68° она продолжается 25 сут, на Северном полюсе – 175 сут. Аналогичное явление наблюдается в Южном полушарии, но в другое полугодие. На южной широте 68° полярная ночь продолжается 28 сут, а на Южном полюсе 182 сут.

ПОЛЯРНАЯ ОСЬ ТЕЛЕСКОПА – ось вращения в экваториальной монтировке телескопа, направленная на полюс мира, т. е. параллельная оси вращения Земли. Чтобы быть постоянно направленным на одну область неба, телескоп равномерно вращается часовым механизмом вокруг полярной оси вслед за звёздами, совершая 1 оборот за 1 звёздные сутки. По этой причине полярную ось телескопа часто называют часовой осью.

ПОЛЯРНОЕ РАССТОЯНИЕ – угловое расстояние небесного объекта от северного полюса мира. Полярное расстояние – одна из координат в экваториальной системе, измеряемая величиной дуги круга склонения от северного полюса мира до светила. Иногда используется как альтернатива склонения. Полярное расстояние объекта равно 90° – склонение.

ПОЛЯРНОЕ СИЯНИЕ – оптическое явление в атмосфере Земли, регулярно наблюдаемое ночью преимущественно на высоких географических широтах. Проявляется как красноватое или зеленоватое свечение самых разнообразных форм – в виде дуг, полос, лучей и т. п., – весьма подвижное и порой быстро изменяющееся. Происходит в результате свечения разреженных слоёв воздуха на высотах 90–1000 км под влиянием высокоэнергичных частиц, проникающих в атмосферу из космоса.

Источником полярного сияния служит излучение атомов азота и кислорода, возбуждаемых потоком заряженных частиц (электронов и протонов) высокой энергии, испускаемых Солнцем. Потоки частиц рождаются во время солнечных вспышек и корональных выбросов, поэтому в годы активного Солнца вероятность появления полярных сияний возрастает. Широты, где обычно наблюдаются полярные сияния, заключены в границах двух овальных зон диаметром около 40°, центрированных на северный и южный магнитные полюсы Земли. Их называют соответственно северным и южным полярным сиянием. Во время активных процессов на Солнце полярные сияния можно иногда наблюдать и на более низких широтах, порой на широте Москвы и даже Крыма. В исключительных случаях, как это было во время геомагнитной бури 1–2 сентября 1859 г., полярные сияния наблюдаются по всему миру вплоть до экватора.

ПОЛЯРНЫЕ КРУГИ (Северный и Южный) – параллели в Северном и Южном полушариях с широтами 66°34′. В Северном полушарии в день зимнего солнцестояния (21–22 декабря) к северу от полярных кругов Солнце не восходит (без учёта атмосферной рефракции и углового размера солнечного диска), а в день летнего солнцестояния (21–22 июня) не заходит. Аналогичные явления наблюдаются в Южном полушарии со смещением на полгода.

ПОЛЯРНЫЙ ДЕНЬ – период, когда Солнце на высоких широтах многие сутки не опускается за горизонт. Полярный день на 68° с. ш. длится 53 сут, на Северном полюсе 191 сут. Аналогичное явление наблюдается в Южном полушарии, но в другое полугодие. Там на широте 68° ю. ш. полярный день длится 50 сут, а на Южном полюсе 183 сут.

ПОЛЯРНЫЙ КАСП – область в околополуденной части магнитосферы, имеющая вид воронки, расширяющейся от Земли до магнитопаузы, и разделяющая силовые линии дневной магнитосферы и геомагнитного хвоста. Существуют северный и южный полярные каспы.

ПОЛЯРОИД – плёночный поляризатор, выпускаемый промышленно. Поляроид представляет собой тонкую пластиковую плёнку с множеством одинаково ориентированных дихроичных кристаллов. Обычно эта плёнка для жёсткости зажата между двумя стёклами.

ПОНИЖЕНИЕ ГОРИЗОНТА – превышение угла в 90° между направлением на зенит и видимым горизонтом наблюдателя, находящегося на ровной местности на высоте h. С учётом влияния рефракции

понижение горизонта δ приближённо выражается как $\delta = 0{,}0297'\sqrt{h} = 1{,}779'\sqrt{h}$, где h – высота наблюдателя над уровнем моря в метрах. Дальность горизонта в километрах (также с учётом рефракции) можно вычислить по формуле $D = 3{,}86\sqrt{h}$.

ПОПРАВКА ЧАСОВ – разность между показанием часов и точным временем в какой-либо момент. Поправка часов относительно звёздного или среднего солнечного времени определяется методами практической астрономии.

ПОПЯТНОЕ ДВИЖЕНИЕ, или обратное движение, – видимое перемещение планет на фоне звёзд с востока на запад, т. е. в направлении, обратном перемещению Луны и Солнца. Кинематические причины попятного движения у внутренних и внешних (по отношению к орбите Земли) планет разные. Движение внутренних планет – Меркурия и Венеры – меняется с прямого на попятное и обратно в силу того, что земной наблюдатель находится вне их орбиты; при этом движение самого наблюдателя не имеет решающего значения. Напротив, попятное движение внешних планет наблюдается лишь по причине перемещения самой Земли, опережающей внешнюю планету в эпоху её противостояния. С точки зрения земного наблюдателя, внешняя планета большую часть времени перемещается с запада на восток, но незадолго до противостояния останавливается и начинает двигаться с востока на запад, достигая максимальной скорости в момент противостояния. Через некоторое время её попятное движение прекращается и после стояния сменяется прямым. Существование попятного движения прямо связано с законом тяготения Ньютона, из которого следует, что с удалением от Солнца уменьшается скорость движения планет по круговым орбитам.

ПОРЦИЯ (U XII, Portia) – естественный спутник Урана. Его открыл Стивен Синнотт 3 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 66 097 км. Орбитальный период 0,51319592 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00005. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,059°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 156×126×126 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным, причём большая ось эллипсоидальной фигуры спутника постоянно ориентирована на планету. Масса около $1{,}7 \cdot 10^{18}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 23 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 58 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск $20{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 5″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

ПОСЛЕДНЯЯ ЧЕТВЕРТЬ – фаза убывающей Луны, когда её диск освещен ровно наполовину.

ПОСЛЕСВЕЧЕНИЕ – длительное ослабевающее свечение, наблюдающееся после яркой вспышки. Например, после кратковременного мощного гамма-всплеска обычно наблюдается значительно более продолжительное послесвечение в рентгеновском и оптическом диапазонах.

ПОСТОЯННАЯ ХАББЛА, или «параметр Хаббла», – см. *Закон Хаббла*.

ПОСТОЯННЫЕ ПЛАСТИНКИ – коэффициенты, позволяющие при вычислениях переводить измеренные линейные координаты объектов на фотопластинке в их угловые координаты на небесной сфере.

ПОТЕМНЕНИЕ К КРАЮ – зависимость интенсивности излучения, выходящего из атмосферы звезды, от направления. При термодинамическом равновесии, например в теплоизолированной замкнутой полости, интенсивность излучения описывается формулой Планка и не зависит от направления. Реальные звёздные атмосферы далеки от термодинамического равновесия, в частности потому, что атмосферы излучают и с излучением теряют энергию. Спектр этого излучения отклоняется от закона Планка, и интенсивность излучения зависит от направления.

Если физические условия в атмосфере звезды меняются с высотой не слишком сильно, то состояние такой атмосферы можно приближённо характеризовать так называемым локальным термодинамическим равновесием, при котором состояние каждого малого объёма атмосферы звезды можно охарактеризовать своей температурой. При отсутствии нетепловых источников нагрева вещества, таких как диссипация энергии акустических волн, температура в атмосфере звезды убывает с высотой, и для далёкого наблюдателя интенсивность выходящего наружу излучения максимальна в центре диска звезды и минимальна на краю диска. Физически это означает, что в направлении нормали к поверхности звезды наружу выходит излучение слоёв, расположенных на максимально возможной геометрической глубине (при оптической толще $\tau \approx 1$), где локальная температура наибольшая. Для излучения, испускаемого под углом к нормали, оптическая толща $\tau \approx 1$ (непрозрачность) достигается в слое с меньшими геометрической глубиной и температурой, поэтому интенсивность выходящего излучения убывает с увеличением угла α между лучом зрения и нормалью к поверхности звезды. Угол α максимален на краю звёздного диска, где и наблюдается наибольшее потемнение. Потемнение к краю хорошо заметно на солнечном диске, поверхностная яркость которого на краю составляет в видимом свете лишь около 40% от яркости в центре диска. Степень потемнения к краю зависит от градиента температуры, характера рассеяния излучения и непрозрачности вещества звёздной атмосферы. Поэтому для данной длины волны потемнение к краю усиливается при переходе от звёзд раннего к звёздам позднего спектрального класса (с ростом градиента температуры), а для данного спектрального класса этот эффект усиливается при переходе от длинноволнового конца спектра к коротковолновому.

Потемнение к краю можно изучать не только у Солнца, но и у звёзд, входящих в затменные двойные системы. Влияние этого эффекта на кривые блеска затменных переменных весьма слабо, поэтому эффект потемнения удаётся надёжно определить лишь у разделённых затменных переменных (когда звёзды мало искажают форму друг друга и их можно считать шарообразными). Определив из наблюдений закон потемнения, можно пытаться решать обратную задачу – найти распределение температуры и плотности в атмосфере звезды. Такая задача решается для Солнца, где потемнение к краю измеряют с хорошей точностью. Оценка этого эффекта имеет большое значение при интерпретации оптических кривых блеска рентгеновских источников в двойных системах. Амплитуда и форма кривых оптической переменности этих систем, которые используются при определении масс релятивистских объектов – рентгеновских источников, существенно определяются законом потемнения к краю оптических компонентов этих систем.

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ – тела Солнечной системы, чьи орбиты в настоящую эпоху сближаются с орбитой Земли до минимального расстояния, не превышающего 0,05 а. е. (7,5 млн км). Основанием для того, чтобы считать потенциально опасными тела на орбитах, проходящих от Земли на расстояниях до 20 радиусов лунной орбиты, является то обстоятельство, что в таких пределах можно ожидать изменения расстояний между орбитами в обозримом будущем (на протяжении столетия) под влиянием планетных возмущений, а также в связи с ошибками определения элементов орбит.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БАРЬЕР – область пространства, проникновению частиц в которую препятствуют действующие там силы.

ПОЯС АСТЕРОИДОВ, или **Главный пояс астероидов,** – область Солнечной системы шириной около 0,5 а. е. между орбитами Марса и Юпитера, где обнаружено большинство астероидов.

ПОЯС КОЙПЕРА, или Пояс Эджворта–Койпера, – область Солнечной системы за орбитой Нептуна, на расстоянии от 30 до 50 а. е. от Солнца, населённая планетами-карликами (Плутон, Эрида и др.), а также небольшими объектами типа астероидов и ядер комет. Первый объект пояса Койпера обнаружили в конце 1992 г.; к маю 2000 г. было открыто уже 270 транснептунных объектов, а спустя ещё 7 лет их было уже более 1200. Диаметры большинства из них превышают 100 км, в некоторых случаях достигают 1000 км, а рекордсмены (Плутон и Эрида) имеют диаметры около 2300 км. Самый маленький из замеченных к 2011 г. в этой области объектов имеет размер около 1 км. Некоторые крупные объекты пояса Койпера имеют спутники. Оценки показывают, что всего в этой области должно быть около 70 тыс. объектов диаметром более 100 км.

Существование этого скопления занептунианских тел подозревали давно. Ирландский инженер Кеннет Эджворт (K. E. Edgeworth, 1880–1972) в 1943 и 1949 гг. и американский астроном Джерард Койпер (G. P. Kuiper) в 1951 г. высказали предположение, что за орбитами планет-гигантов, на расстоянии 35–50 а. е. от Солнца, существует область, поставляющая во внутреннюю часть Солнечной системы короткопериодические кометы. Долгое время там не удавалось найти ни одного объекта, кроме Плутона (1930) и его спутника Харона (1978). Правда, систематические поиски далёких объектов привели в 1977 г. к открытию нового класса малых тел между орбитами Юпитера и Нептуна (см. *Кентавры*).

В конце 1992 г. Дейвид Джюит (D. Jewitt) и Джейн Луу (J. Luu) из Гавайского университета в Гонолулу обнаружили первый «транснептунианский объект» (Transneptunian Object, TNO) диаметром около 280 км, получивший обозначение 1992 QB1. К 1995 г. обнаружили ещё 17 малых планет за орбитой Нептуна, из них 8 – на расстояниях 40–45 а. е. от Солнца, т. е. даже за орбитой Плутона. К марту 1999 г. было открыто уже 113 транснептунианских объектов. Все они обращаются вокруг Солнца в прямом направлении, как большие планеты. По параметрам орбит их разделили на два класса. Более половины отнесли к классическим объектам пояса Койпера (Kuiper Belt Object, KBO), которые в своём орбитальном движении не входят в резонанс с Нептуном. Некоторые астрономы называют их объектами Эджворта–Койпера (EKO). Предлагается для них и название «кьюбивано» (cubewano), происходящее от обозначения первого объекта этой группы (15 760) 1992 QB1. Почти круговые орбиты этих тел лежат в области 40–50 а. е. от Солнца, а плоскости орбит наклонены к эклиптике менее чем на 40°. Около 1/3 планеток объединили в класс «плутино» (plutino, т. е. «плутончики», Plu). Большие полуоси их орбит близки к 39,5 а. е., а значит, их орбитальный период (248 лет, как у Плутона) связан с орбитальным периодом Нептуна как 3:2. Возможно, именно эта резонансная связь с планетой-гигантом служит стабилизирующим фактором движения плутино: некоторые из них пересекают орбиту Нептуна, но никогда не сближаются с ним, как и сам Плутон. В эту группу наряду с Плутоном входят 90482 Orcus, 28 978 Ixion, 38 083 Rhadamanthus, 38 628 Huya и др.

Несколько объектов не вписались в указанную классификацию. Движение шести из них также имеет резонансный характер по отношению к Нептуну, но с отношением периодов 4:3, 5:3 или 5:4. Прочие объекты не попадают ни в один из классов. Внешней границей пояса Койпера служит расстояние (около 50 а. е.), на котором существует орбитальный резонанс 2:1 с Нептуном. За этой границей число объектов резко уменьшается. Первым в этой области, названной «рассеянным диском» (scattered disc), был обнаружен объект 1996 TL66, имеющий весьма вытянутую (e=0,58) орбиту с большой полуосью 84 а. е. и удаляющийся от Солнца в афелии втрое дальше Плутона. Он стал родоначальником особого класса объектов рассеянного диска (scattered disc object, SDO).

Объекты за Нептуном пока трудно отнести к какому-либо классу малых тел Солнечной системы – к каменистым астероидам/планетам или к ледяным ядрам комет. Новооткрытые тела в большинстве своём имеют диаметры от 100 до 1000 км и очень тёмную красноватую поверхность, что указывает на её древний состав и возможное присутствие органических соединений. Судя по оценкам, это скопление малых тел в сотни раз массивнее пояса астероидов, расположенного между орбитами Юпитера и Марса, но уступает по массе гигантскому кометному облаку Оорта, простирающемуся на тысячи астрономических единиц от Солнца. Возможно, пояс Койпера представляет остаток протопланетной туманности, из которой сформировалась Солнечная система.

После 1995 г. стали высказываться предложения, что Плутон было бы правильнее называть не «самой маленькой планетой», а «крупнейшим членом пояса Койпера». Действительно, Плутон диаметром 2310 км и его спутник Харон диаметром 1200 км некоторое время лидировали в поясе Койпера по размеру и массе. Но затем там были найдены подобные им объекты, например Хаос (1998 WH24, Chaos), Варуна (2000 WR106, Varuna), Иксион (2001 KX76, Ixion), Квавар (2002 LM60, Quaoar), Седна (2003 VB12, Sedna), диаметры которых оцениваются в 900–1800 км. Наконец, был обнаружен наиболее крупный из них – Эрида (2003 UB313, 136 199 Eris) диаметром около 2330 км, немного превышающий размером Плутон. Некоторые крупные объекты пояса Койпера даже имеют свои спутники, так что это полноправные, хотя и небольшие, планеты. В то же время Плутон теперь уже нельзя считать даже крупнейшим в поясе Койпера. Поэтому на 26-й Генеральной ассамблее МАС (Прага, август 2006 г.) Плутон был лишён звания планеты и стал прототипом нового класса планет-карликов, к числу которых отнесены и крупнейшие объекты пояса Койпера. Помимо этого, Плутон занесён в список именованных малых планет под именем 134340 Pluto и отнесён к классу транснептуновых объектов, к подклассу плутино.

ПОЯС ОРИОНА – три яркие белые звёзды – Альнитак (ζ Ori), Альнилам (ε Ori) и Минтака (δ Ori), – расположенные вдоль прямой линии на равном расстоянии друг от друга в центральной части созвездия Орион. Названия «Альнитак» и «Минтака» связаны с арабским словом, означающим «пояс», а «Альнилам» на арабском означает «нитка жемчуга».

Близость друг к другу этих звёзд иллюзорна. На самом деле звёзды на концах пояса (Альнитак и Минтака) действительно близки. Альнитак удалена от нас примерно на 800 св. лет, а Минтака – на 100 св. лет дальше. Центральная звезда, Альнилам, расположена намного дальше их, на краю молекулярного облака Ориона, на расстоянии более 1300 св. лет от Солнца. Эта звезда ещё и самая массивная и яркая из трёх. Как и во всём созвездии, в поясе Ориона много туманностей. Особенно много их в направлении Альнитак. Здесь расположена знаменитая тёмная туманность Конская голова, а также менее известные NGC 2024 и NGC 2023.

ПОЯС ЭДЖВОРТА–КОЙПЕРА – *см. Пояс Койпера.*

ПРАВИЛО ТИЦИУСА–БОДЕ, или закон Боде, – эмпирическое правило для приблизительного определения расстояний планет Солнечной системы от Солнца. Намёк на существование строгой закономерности в расстояниях планет от Солнца содержался в работе Иоганна Кеплера (1571–1630) «Космографическая тайна» (1596). В явном виде это правило впервые сформулировал в 1766 г. немецкий математик Иоганн Даниель Тициус фон Виттенберг (1729–1797) в опубликованном им переводе книги известного естествоиспытателя Шарля Боне «Созерцание приро-

ды». Но Тициус не ограничился переводом текста, а сделал к нему небольшое примечание, причём в очень необычной и скромной форме: он попросту внес своё добавление в основной текст. Смысл этого примечания состоял в следующем: расстояния планет от Солнца подчиняются простому эмпирическому правилу, а точнее говоря – простой числовой последовательности.

Правило Тициуса для планетных расстояний гласит, что последовательность расстояний планет от Солнца, выраженных в астрономических единицах (1 а. е. – это среднее расстояние Земли от Солнца, около 150 млн км), можно получить, прибавляя к числу 0,4 члены прогресии 0, 0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 (в которой каждый член после второго получается удвоением предыдущего). Первые четыре и последние два таких числа, как видно из таблицы, действительно близки к расстояниям от Солнца шести известных в ту эпоху планет:

Расстояние	Меркурий	Венера	Земля	Марс		Юпитер	Сатурн
Тициус	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0
Истинное	0,39	0,72	1,0	1,52	–	5,2	9,5

Рассматривая эту таблицу, следует согласиться, что простая формула Тициуса очень хорошо описывает размеры орбит известных в те годы планет. Но этот замечательный факт вызвал интерес лишь у нескольких специалистов. Имя Тициуса не стало известным.

Правило Тициуса не привлекало общественного внимания до тех пор, пока не было опубликовано известным немецким астрономом Иоганном Элертом Боде (1747–1826). В 1772 г. Боде опубликовал своё «Руководство по изучению звёздного неба» и включил туда правило Тициуса, пересказав его почти дословно, но не сославшись при этом на первоисточник. В наши дни такой поступок сочли бы недостойным, но в те годы правила научной этики ещё только вырабатывались. К чести Иоганна Боде следует заметить, что в последующих изданиях своей книги он отмечал приоритет Тициуса. Числовая прогрессия планетных орбит глубоко поразила Боде, и он постарался передать своё восхищение читателям «Руководства». Особенно странным казался ему разрыв между Марсом и Юпитером. «Можно ли поверить, что творец Вселенной оставил это место пустым? Конечно, нет!» – писал Боде.

Когда в 1781 г. был открыт Уран на расстоянии 19,2 а. е. от Солнца и это всего на 0,4 а. е. не совпало с предсказанием правила Тициуса–Боде (19,6 а. е.), начались поиски «пропущенной планеты» на расстоянии 2,8 а. е. В 1801 г. на расстоянии 2,76 а. е. была обнаружена планета Церера. (Позже её считали прототипом астероидов, а с 2006 г. зачислили в группу карликовых планет.) Казалось, правило Тициуса–Боде подтверждено. Однако открытие в 1846 г. Нептуна и в 1930 г. Плутона, расстояния которых в 30,1 а. е. и 39,6 а. е. существенно отличаются от предсказанных этим правилом (38,8 и 77,2), сделало это правило сомнительным.

В наши дни правило Тициуса–Боде обычно формулируется в более изящном виде. Если принять расстояние Земли от Солнца за 10 условных единиц, то расстояния остальных планет составят $R_n = 4 + 3 \cdot 2^n$, где $n = -\infty$ для Меркурия и $n = 0, 1, 2, \ldots$ для последующих планет. Поскольку Плутон после 2006 г. выведен из числа больших планет, следует признать, что лишь расстояние Нептуна существенно не соответствует этой простой формуле.

Планета	n	Расстояние (а. е.)	
		Правило Т.–Б.	Истинное
Меркурий	$-\infty$	0,4	0,39
Венера	0	0,7	0,72
Земля	1	1,0	1,0
Марс	2	1,6	1,52
Астероиды	3	2,8	2,1–3,5
Юпитер	4	5,2	5,2
Сатурн	5	10,0	9,6
Уран	6	19,6	19,2
Нептун	7	38,8	30,0
Плутон	8	77,2	39,2

Хотя неоднократно предпринимались попытки дать правилу Тициуса–Боде физическое толкование, они оказались безуспешными. Сейчас астрономы считают, что это правило является простым совпадением, а не реальным законом, описывающим планетную систему.

ПРАКСИДИКЕ (J XXVII, Praxidike) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2000). Большая полуось орбиты 21 147 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 625,3 сут. Эксцентриситет орбиты 0,23. Наклонение орбиты к эклиптике 149°. Диаметр около 7 км. Альбедо около 4%. Блеск $21{,}2^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°14′45″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ – учение об астрономических инструментах и способах определения из астрономических наблюдений времени, географических координат и азимутов направлений. Практическая астрономия подразделяется на геодезическую, мореходную и авиационную.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ – необработанные данные, получаемые непосредственно с инструмента, установленного, например, на космическом аппарате; результаты измерений без калибровок, редукций и т. п. Используются для проверки работоспособности аппаратуры и беглого знакомства с полученным рядом наблюдений.

ПРЕДЕЛ ДАУЭСА (Dawes limit) – эмпирическая величина предельного углового разрешения телескопа, равная $116''/D$, где D – диаметр объектива в миллиметрах.

ПРЕДЕЛ КУМАРА – нижняя граница массы звёзд, равная 0,07–0,08 $M_\odot$. При меньшей массе тела температура в его центре так низка, что термоядерные реакции с участием лёгкого изотопа водорода (т. е. реакции pp-цикла) практически не происходят. Поэтому предел Кумара часто называют «границей возгорания водорода» (см. *Коричневые карлики*).

ПРЕДЕЛ ООРТА – верхний предел средней плотности Галактики в окрестности Солнца, вытекающий из частоты колебания звёзд поперёк галактической плоскости; составляет 0,18 $M_\odot$ пк$^{-3}$ = $1{,}2 \cdot 10^{-23}$ г·см^3 = 7,3 Н/см^3, т. е. 7,3 атома водорода в кубическом сантиметре (см. *Оорта*).

ПРЕДЕЛ СТАТИЧНОСТИ – поверхность, окружающая вращающуюся чёрную дыру, внутри которой невозможно оставаться в состоянии покоя.

ПРЕДЕЛ ЧАНДРАСЕКАРА – верхний предел массы белого карлика (M_{Ch}), равный примерно 1,4 массы Солнца ($M_\odot$). При большей массе происходит коллапс белого карлика. А поскольку ядро проэволюционировавшей звезды практически представляет собой белый карлик, то и для него это значение является верхним пределом массы. Физически это связано с тем, что при больших плотностях возникает вырождение газа электронов. В вырожденном газе из-за большой плотности число квантовых состояний с малой энергией ограничено в силу принципа Паули, поэтому электроны заполняют квантовые уровни с высокой энергией, значительно превышающей энергию их теплового движения. При этом независимо от температуры возрастает давление (p). Важнейшая особенность вырожденного газа состоит в том, что его давление зависит лишь от плотности: $p \sim \rho^{5/3}$ для нерелятивистского вырождения и $p \sim \rho^{4/3}$ для релятивистского вырождения (наступающего при более высокой плотности, когда скорость электронов приближается к скорости света). Давление газа электронов намного превосходит давление ионов. Отсюда следует принципиаль-

ный для эволюции звёзд вывод: поскольку сила тяготения, действующая на единичный объём релятивистски вырожденного газа, $F \sim M\rho/R^2 \sim M^{1/3}\rho^{5/3}$, зависит от плотности так же, как и градиент давления $p/R \sim \rho^{4/3}/R \sim M^{-1/3}\rho^{5/3}$, должна существовать предельная масса M_{Ch}, такая, что при $M > M_{Ch}$ давление электронов не может противодействовать тяготению и начинается сжатие. Предельная масса немного зависит от химического состава вещества белого карлика и лежит в интервале $M_{Ch} = (1{,}38–1{,}44)\ M_\odot$.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — звёздная величина наиболее слабых звёзд, которые ещё можно видеть или зарегистрировать с помощью данного телескопа, а также блеск слабейших объектов, внесённых в звёздный каталог или нанесенных на звёздную карту. Для случая визуальных наблюдений с телескопом, установленном в месте с низким уровнем засветки неба, предельная величина приблизительно такова: $m_{пред} = 6 + 5\lg D$, где D — диаметр объектива телескопа в сантиметрах. Например, телескоп диаметром 20 см (8 дюймов) при визуальных наблюдениях имеет предельную звёздную величину около $12{,}5^m$.

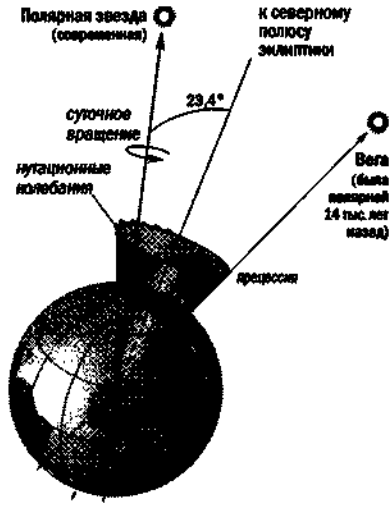
ПРЕДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ РОША — воображаемая поверхность, которая окружает обе звезды в двойной системе и указывает эффективные границы гравитационного влияния каждой из них. В проекции на орбитальную плоскость имеет форму восьмёрки.

ПРЕДЕЛЬНАЯ КЕРРОВСКАЯ ДЫРА — электрически нейтральная вращающаяся чёрная дыра, у которой $M = a$, где M — масса, a — удельный момент импульса.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ЧЁРНАЯ ДЫРА РАЙСНЕРА—НОРДСТРЕМА — электрически заряженная невращающаяся чёрная дыра, у которой $M = |Q|$, где M — масса, Q — заряд.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФОКУСА — оптический элемент, в простейшем случае — положительная ахроматическая линза, уменьшающая эффективное фокусное расстояние телескопа. Основное его назначение — уменьшить масштаб изображения и увеличить поле зрения телескопа. Преобразователь устанавливается непосредственно перед фокальной плоскостью объектива телескопа.

ПРЕЦЕССИЯ (лат. *praecessio* — движение впереди) — коническое движение земной оси вокруг полюса эклиптики с периодом около 25 800 лет и раскрывом конуса около 23,4°, вызванное гравитационным влиянием главным образом Луны и Солнца на экваториальное вздутие Земли. Вследствие прецессии небесный экватор поворачивается с тем же периодом в направлении суточного движения светил, а точки его пересечения с эклиптикой (точки равноденствия) перемещаются навстречу видимому годичному движению Солнца по эклиптике со скоростью около 50″ в год, делая более ранними (т. е. предваряя) моменты равноденствий.



Прецессия и нутация земной оси

Предваряние равноденствий делает тропический год почти на 20 минут короче сидерического (звёздного) года. К тому же медленное изменение ориентации небесного экватора и перемещение точки весеннего равноденствия вызывает изменение экваториальных координат всех небесных светил. Именно поэтому в астрономических каталогах и атласах указывается эпоха, для которой приведены координаты звёзд.

Описанный выше эффект иногда называют лунно-солнечной прецессией, желая отделить его от другого эффекта, также влияющего на положение точки весеннего равноденствия. Речь идёт об изменении ориентации плоскости земной орбиты (эклиптики) под влиянием притяжения планет. Этот эффект называют планетной прецессией; она уменьшает прямое восхождение всех звёзд примерно на 0,13″ в год. Суммарное действие лунно-солнечной прецессии и планетной прецессии называют общей прецессией. Она изменяет положение эклиптики, экватора и точки весеннего равноденствия. Общая прецессия по долготе за юлианское столетие (для эпохи J2000,0) составляет $p = 5029{,}0966'' = 1{,}3969713°$.

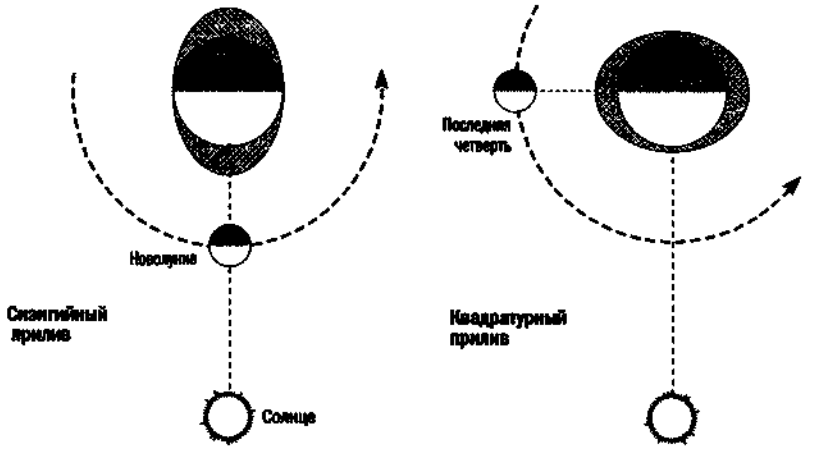
ПРИБОР С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ (ПЗС; англ. CCD — Charge-Coupled Device) — общее название класса полупроводниковых приборов, в которых применяется технология управляемого переноса заряда в объёме полупроводника. Наиболее известным представителем таких приборов служит ПЗС-матрица, используемая как приёмник света в электронных фотокамерах. Падающий на поверхность матрицы свет в результате внутреннего фотоэффекта создает объёмные заряды в каждой элементарной ячейке матрицы — пикселе. При этом величина заряда оказывается пропорциональной освещённости пиксела и времени экспозиции матрицы. В конце экспозиции распределение объёмного заряда в матрице соответствует распределению яркости в оптическом изображении. Затем, благодаря подаче на поверхность матрицы бегущей волны напряжения, объёмный заряд смещается шаг за шагом от одного ряда пикселей к другому в направлении края матрицы, где он считывается, оцифровывается и записывается в компьютер.

Одной из важных характеристик ПЗС-матрицы или системы таких матриц служит количество пикселей, характеризующее информационную ёмкость изображения. Бытовые камеры имеют матрицы ёмкостью порядка 10 млн пикселей. Крупнейшие астрономические ПЗС-камеры в 2011 г. имели размер порядка гигапиксела. Так, цифровая камера на миллиард пикселов будет использована на астрометрическом спутнике «Gaia» Европейского космического агентства, который запустят в 2013 г. в точку Лагранжа L_2 на расстоянии 1,5 млн км от Земли. В течение пятилетней вахты аппарат должен нанести на карту миллиард звёзд Млечного Пути и Местной группы галактик. Эта камера, оснащённая мозаикой из 106 ПЗС-матриц, станет самой большой из когда-либо запущенных в космос. Ещё более крупная составная матрица на 3 млрд пикселов создана для телескопа Large Synoptic Survey, строящегося на севере Чили.

ПРИЗМА ГЕРШЕЛЯ — оптическое устройство, позволяющее выполнять визуальные наблюдения Солнца с небольшим телескопом. Призма Гершеля представляет собой полированную клиновидную стеклянную пластинку, не имеющую отражающего покрытия. При наблюдениях она помещается непосредственно перед окуляром телескопа. Первая по ходу лучей грань пластинки является оптической плоскостью и работает как диагональное зеркало, отражая лучи под углом 90° по направлению к окуляру. Лучи, отражённые от второй грани пластинки, расположенной под углом к первой, не достигают окуляра благодаря наличию клина; большая часть солнечного света, собранного телескопом, проходит сквозь призму. Полированное стекло отражает около 5% падающего света, поэтому интенсивность солнечного изображения уменьшается приблизительно в 20 раз. Призму Гершеля можно использовать без дополнительных нейтральных фильтров только с малыми ($D \leqslant 50$ мм) телескопами при

больших увеличениях (⩾300 крат). При использовании призмы Гершеля следует помнить о потоке лучей, проходящем сквозь устройство: концентрированное солнечное излучение может вызвать ожоги, расплавить и повредить вспомогательное оборудование.

ПРИЗМА ГЛЕНА—ТОМПСОНА (Glan–Thompson prism) — оптический поляризатор, дающий один пучок линейно поляризованного света. Состоит из двух прямоугольных призм, вырезанных из кристалла исландского шпата и склеенных друг с другом гипотенузными гранями. Напоминает призму Николя (в которой такая же пара призм склеивается вдоль катетов), но обеспечивает более широкое поле зрения и более полную поляризацию.



Лунно-солнечные приливы

ПРИЗМА НИКОЛЯ (Nicol prism, николь) — оптическое устройство для получения линейно поляризованного света, в котором используются двулучепреломляющие войства кристалла исландского шпата. Для изготовления призмы Николя ромбический кристалл природного исландского шпата распиливают вдоль диагональной плоскости; из полученных половинок шлифуют прямоугольные призмы с неравными катетами, которые затем склеивают вдоль более длинных катетов. Призма Николя напоминает призму Глена–Томпсона, также состоящую из двух прямоугольных призм из исландского шпата, но склеенных гипотенузными гранями.

ПРИЗМА РОШОНА (Rochon prism) — оптическое устройство, поляризатор, дающий два расходящихся пучка света, линейно поляризованных под прямым углом друг к другу. Состоит из двух прямоугольных призм с перпендикулярными оптическими осями, склеенных гипотенузными гранями. Призма Рошона напоминает призму Волластона, но с тем отличием, что в призме Рошона оптическая ось первой из составляющих призм повернута на 90°.

ПРИЗМЕННАЯ АСТРОЛЯБИЯ — то же, что *Астролябия Данжона.*

ПРИЗМЕННЫЙ СПЕКТРОСКОП — спектроскоп с призмой или системой призм в качестве диспергирующего элемента. Для увеличения дисперсии может содержать до трёх последовательно расположенных призм.

ПРИЗМА ПОРРО — оптическая отражательная призма, основанием которой служит равнобедренный прямоугольный треугольник. Свет входит в призму и выходит обратно через гипотенузу, дважды испытывая полное внутреннее отражение от катетов. При этом изображение испытывает зеркальное отражение. Две последовательные призмы Порро, ориентированные взаимно перпендикулярно, поворачивают изображение в его плоскости на 180°. Такую комбинацию из двух призм Порро применяют как один из вариантов оборачивающей призмы. Часто используется в биноклях в качестве оборачивающей системы для получения прямого изображения. Пример — стандартный полевой бинокль.

ПРИЛИВЫ И ОТЛИВЫ — квазипериодические горизонтальные смещения и вертикальные колебания воды в океанах и морях, возникающие в результате гравитационного влияния Луны и Солнца на Землю и изменения их относительного положения, в первую очередь вызванного вращением Земли (полусуточные колебания), а также орбитальным движением Луны (полумесячные изменения). Приливный эффект вызван неоднородностью гравитационного поля, напряжённость которого (ускорение свободного падения) изменяется с изменением расстояния от массивного тела. В периоды сизигий (новолуние и полнолуние) приливное влияние Луны и Солнца складывается, и приливы обычно достигают максимальной величины. В периоды лунных квадратур (первая и последняя четверти Луны) приливное влияние Луны ослаблено приливным влиянием Солнца, поэтому амплитуда приливов уменьшается приблизительно вдвое.

Приливные эффекты наблюдаются также в твёрдом теле и атмосфере Земли, но именно в океанах они наиболее заметны по причине высокой подвижности воды и возможности её «набегания» на материковый берег (приливная волна). Приливно-отливные колебания уровня моря, приливные течения делают предсказание приливов важным для прибрежной навигации.

ПРИЛИПАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ К НЕЙТРАЛЬНЫМ ЧАСТИЦАМ — образование отрицательных ионов путём присоединения электронов к нейтральным частицам. Возможны три основных процесса прилипания: радиативное (с испусканием фотона), диссоциативное (с разрушением молекулы) и прилипание при тройном соударении. Чрезвычайно важную роль этот процесс играет в атмосфере Солнца, где основным источником непрозрачности служит отрицательный ион водорода H^-.

ПРИНЦИП ЗАПРЕТА ПАУЛИ — физический закон, согласно которому две одинаковые частицы (скажем, электроны или нейтроны) с одними и теми же значениями спина и скорости не могут одновременно находиться в одном и том же месте.

ПРИНЦИП КОВАРИАНТНОСТИ — утверждение, что большинство фундаментальных законов физики должно формулироваться независимо от состояния движения наблюдателя.

ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ — утверждение, что следствия должны происходить после своих причин, а не до них.

ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ — представление о том, что в малых областях пространства-времени тяготение невозможно отличить от ускорения. Более точное название — принцип эквивалентности сил гравитации и инерции. Один из вариантов его формулировки: «Силы гравитационного взаимодействия пропорциональны гравитационной массе тела, силы инерции же пропорциональны инертной массе тела. Если инертная и гравитационная массы равны, то невозможно отличить, какая сила действует на данное тело — гравитационная или сила инерции».

Существует и более общая формулировка этого принципа: «Все физические процессы протекают совершенно одинаково (при одинаковых условиях) в инер-

циальной системе отсчёта, находящейся в однородном гравитационном поле, и в системе отсчёта, движущейся поступательно с ускорением при отсутствии гравитационного поля». Этот принцип использовал Альберт Эйнштейн при выводе общей теории относительности.

Для иллюстрации этого принципа Эйнштейн рассмотрел следующий мысленный эксперимент. Пусть тела находятся в лифте, который бесконечно удалён от гравитирующих тел и двигается с ускорением a. Тогда на все тела, находящиеся в лифте, действует сила инерции $F=-ma$, а тела под действием этих сил будут давить на опору или натягивать подвес, т. е. будут обладать весом. Если лифт не движется, а висит над какой-то гравитирующей массой в однородном поле, то все тела также будут обладать весом. Находясь в лифте, невозможно различить эти две силы. Поэтому все механические явления в обоих лифтах будут происходить одинаково. Эйнштейн обобщил это положение на все физические явления.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ – одна из фундаментальных задач астрофизики. Теория происхождения химических элементов (теория нуклеосинтеза) занята построением эволюционной картины формирования всего наблюдаемого в природе многообразия химических элементов. Ключом к пониманию процесса ядерной эволюции вещества от первоначальной горячей плазмы элементарных частиц до современного состояния служит относительная распространённость элементов и их изотопов в веществе наблюдаемой части Вселенной.

Современный подход к объяснению основных наблюдаемых закономерностей химического и изотопного состава вещества Вселенной состоит в следующем. Представляется наиболее вероятным, что изотопы всех элементов со значением массового числа $A \geqslant 12$ образуются в звёздах. Гелий, вероятно, уже содержался в протозвёздном веществе, из которого формировались первые звёзды галактик, и за его образование ответственны реакции термоядерного синтеза на ранних стадиях расширения горячей Вселенной. Вполне удовлетворительное согласие наблюдаемой распространённости гелия со значением, предсказываемым в рамках модели горячей Вселенной, служит веским аргументом в пользу такого предположения. Этот же механизм, скорее всего, ответствен и за образование наблюдаемых количеств изотопов ^{2}H, ^{3}He, а также некоторой доли ^{7}Li.

Скорость образования элементов в Галактике была в прошлом существенно выше, чем на момент формирования Солнечной системы (4,6 млрд лет назад), и основное обогащение вещества Галактики элементами с $A>4$ произошло 10–13 млрд лет назад. Это заставляет предполагать, что среди первых поколений звёзд преобладали массивные звёзды, быстро заканчивавшие свою эволюцию выбросом значительной доли (или всего) переработанного в ядерных реакциях и обогащённого тяжёлыми элементами вещества в межзвёздное пространство, где оно входило в состав исходного материала для формирования следующих поколений звёзд.

Проблема образования лёгких элементов – Li, Be и B – решена пока не полностью. Эти элементы легко разрушаются в термоядерных реакциях, и поэтому их эффективное производство возможно только в неравновесных процессах. Считается, что они образуются главным образом при взаимодействии частиц галактических космических лучей с веществом межзвёздного газа в реакциях скалывания. Однако возникающие трудности в объяснении необычного изотопного состава Li и B (резко выраженное преобладание нечётных изотопов) указывают, скорее всего, на наличие дополнительного эффективного источника их образования. Наиболее вероятным кандидатом на эту роль являются взрывы сверхновых, так как прохождение через сбрасываемую оболочку мощного потока нейтринного излучения от коллапсирующего ядра звезды, а также сильной ударной волны приводит к образованию заметных количеств именно нечётных изотопов лёгких элементов в веществе оболочки.

Большинство изотопов химических элементов, начиная с углерода и вплоть до элементов района «железного пика» (Fe, Ni и др.), образуются в условиях высоких температур в реакциях термоядерного синтеза, причём начальным этапом этой последовательности ядерных превращений служат процессы $^4\mathrm{He}+{}^4\mathrm{He}+{}^4\mathrm{He}\rightarrow{}^{12}\mathrm{C}+\gamma$ и $^4\mathrm{He}+{}^{12}\mathrm{C}\rightarrow{}^{16}\mathrm{O}+\gamma$, приводящие к эффективному увеличению количества ^{12}C и ^{16}O на гидростатически равновесных стадиях эволюции звёзд. Наиболее благоприятные условия для образования Ne и всех более тяжёлых элементов этой группы реализуются, по-видимому, при взрывном горении C, O и Si на заключительном, неравновесном этапе эволюции массивных звёзд.

Наиболее распространённые изотопы элементов тяжелее железа сформировались, очевидно, в недрах массивных звёзд в результате последовательных реакций захвата нейтронов. Ряд характерных особенностей хода кривой распространённости этих тяжёлых ядер указывает на то, что процесс их построения должен протекать достаточно эффективно как на сравнительно продолжительной равновесной стадии эволюции звёзд в условиях малых интенсивностей потока нейтронов (s-процесс), так и в момент взрыва звезды при высокой интенсивности потока нейтронов (r-процесс).

Образование редких (с относительно низким содержанием нейтронов) изотопов тяжёлых элементов, которые не могли сформироваться в процессе последовательного присоединения нейтронов (откуда и термин «обойдённые ядра»), возможно только на последней, катастрофической стадии эволюции массивных звёзд, либо под действием потока нейтринного излучения от коллапсирующего ядра звезды, либо в каких-либо других неравновесных процессах.

Перечисленные механизмы образования каждой из основных групп изотопов химических элементов оказываются достаточно эффективными при физических условиях, которые могут реализовываться в известных типах астрофизических объектов и позволяют объяснить, по крайней мере в общих чертах, главные закономерности наблюдаемой распространённости химических элементов. В этом смысле можно говорить о том, что основные контуры картины происхождения химических элементов уже намечены, в то время как построение последовательной и самосогласованной теории их происхождения практически только начинается и требует решения ещё многих проблем космологии, теории строения и эволюции галактик и звёзд, физики атомного ядра и элементарных частиц.

ПРОМЕТЕЙ (S XVI, Prometheus) – естественный спутник Сатурна. Авторы открытия – С. Коллинз и Д. Карлсон (1980) по снимкам зонда «Вояджер-1». Большая полуось орбиты 139,38 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,61299 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0022. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,008°. Размер 135,6×79,4×59,4 км. Масса $1{,}6\cdot10^{17}$ кг. Средняя плотность 0,5 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности около 3 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 19 м/с. Альбедо около 60%. Блеск 15,8^m и максимальное угловое расстояние от планеты 23″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 74 К.

ПРОНИЦАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТЕЛЕСКОПА – предельная звёздная величина объектов, которые уверенно можно зарегистрировать данным телескопом. Иногда её называют также проницающей силой телескопа. Её значение зависит от многих факторов, важнейшие из которых – размер объектива и качество даваемого им изображения, чувствительность (квантовый выход) приёмника света, оптическое качество атмосферы в месте наблюдения. Если наблюдение ведётся глазом в небольшой телескоп в ясную

безлунную ночь, то проницающую силу можно оценить по формуле

$$m = 2 + 5 \lg D,$$

где D — диаметр объектива в миллиметрах. Проницающая способность лучших (крупнейших) телескопов при использовании электронных приёмников света приближается к 30^m.

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ СЧЁТЧИК — детектор космических частиц, рентгеновского и гамма-излучения. По сути, это счётчик Гейгера, работающий при более низком напряжении, чем обычно. Счётчик состоит из цилиндрического сосуда, заполненного газом, например аргоном. Между стенками сосуда и центральным проволочным анодом, идущим вдоль оси цилиндра, приложено напряжение. Ионизующее излучение рождает в газе электроны, которые летят с ускорением к аноду, рождая по пути при столкновениях новые пары ион—электрон. В результате после каждого попадания в рабочий объём космической частицы или высокоэнергичного кванта на анод приходит лавина электронов; в отличие от счётчика Гейгера, она не достигает насыщения, поэтому мощность импульса пропорциональна энергии кванта или частицы. В газовом сцинтилляционном пропорциональном счётчике регистрируются не импульсы тока, а свечение (сцинтилляции), вызванные прохождением лавины электронов.

ПРОПУСКАНИЕ — мера эффективности оптической системы, равная доле энергии, прошедшей через неё при освещении потоком единичной интенсивности на единицу площади в единичном телесном угле.

ПРОПУСКАЮЩАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЁТКА — дифракционная решётка, отдельные штрихи которой являются тонкими параллельными щелями, прозрачными для излучения. Существуют и другие типы дифракционной решётки, например отражающая, профилированная.

ПРОСВЕТЛЕНИЕ (англ. anti-reflection coating) — нанесение тонкоплёночного покрытия (просветляющего покрытия), например из фтористого магния, на поверхность прозрачного оптического элемента — фильтра, линзы, призмы. Позволяет снизить отражение света от поверхности стекла до трёх раз по сравнению с непросветлённой поверхностью. Просветлённая оптика пропускает больше света и создаёт меньше бликов.

ПРОСПЕРО (U XVIII, Prospero) — естественный спутник Урана. Его открыли Джон Кавелаарс, Б. Глэдман, М. Холман и др. 18 июля 1999 г. Большая полуось орбиты 16 256 тыс. км. Орбитальный период 1978,29 сут. Эксцентриситет орбиты 0,4448. Наклонение орбиты к эклиптике 152°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Диаметр около 50 км. Масса около $8{,}5 \cdot 10^{16}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Альбедо около 4%. Видимый блеск 23^m и максимальное угловое расстояние от планеты 29,7′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 65 К.

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ — непрерывное четырёхмерное многообразие (континуум), в котором три измерения пространственные, а четвёртое — временно́е.

ПРОТЕЙ (N VIII, Proteus) — естественный спутник Нептуна. Его открыли Стив Синнотт и Бредфорд Смит 16 июня 1989 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 117 647 км. Орбитальный период 1,12231477 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00053. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,52°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Размеры 420×416×404 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $5 \cdot 10^{19}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 7 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 170 м/с. Альбедо около 10%. Видимый блеск $20{,}3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 6″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 51 К.

ПРОТИВОРОСНИК — выступающий перед объективом (или коррекционной пластиной у телескопов Шмидта и Максутова) участок трубы телескопа, напоминающий бленду фотообъектива. Обычно изготавливается из более лёгкого материала, чем основная труба. Как и бленда, противоросник защищает объектив от боковых источников света, но основная его задача состоит в том, чтобы препятствовать выпадению росы на передней оптической поверхности, граничащей с уличным воздухом. Противоросник ограничивает движение воздуха вблизи объектива, не позволяя свежим порциям влажного воздуха соприкасаться с холодным стеклом и конденсироваться на нём влаге. Длина противоросника обычно составляет 1,5–3 диаметра трубы телескопа.

ПРОТИВОСИЯНИЕ — очень бледное и неясное свечение на ночном небе, в области, противоположной Солнцу, т. е. на расстоянии 180° от него. Свечение имеет форму размытого пятна диаметром около 20°. В западной научной литературе, независимо от национального языка, противосияние называют немецким словом *Gegenschein*. В англоязычной научно-популярной литературе используется также термин *counterglow*. В начале XX в. в русской литературе это явление называли «противосветом».

Противосияние соединяется с восточным и западным конусами зодиакального света так называемой зодиакальной полосой — очень слабым свечением, протянувшимся вдоль эклиптики в виде полосы шириной около 10°. Когда противосияние находится вблизи меридиана (т. е. около полуночи), оно выглядит светящимся овалом, яркость которого уменьшается от центра к периферии, а большая ось направлена горизонтально, вдоль эклиптики. По обе стороны от светлого овала, к западу и востоку, отходит зодиакальная полоса. Яркость противосияния превышает яркость фона ночного неба всего на 10–15%, вследствие чего его можно видеть только в тёмные, безлунные ночи при высокой прозрачности атмосферы, когда область неба, противоположная Солнцу, находится вдали от горизонта и Млечного Пути, на фоне которого противосияние меркнет. Для успешного наблюдения глаза должны быть полностью адаптированы к темноте. Наилучшие сезоны для наблюдения — с февраля по апрель и с августа по октябрь. Вообще противосияние — трудное для наблюдений явление. Часто его очертания довольно неопределённы, а яркость почти не превышает яркости соседних областей неба, поэтому его, как и зодиакальную полосу, можно увидеть только в очень хороших атмосферных условиях, вдали от больших городов, лучше всего — в высокогорных районах или каменистых пустынях.

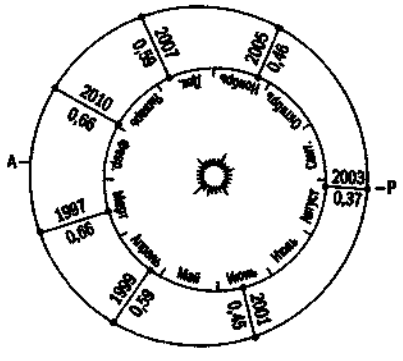
Впервые феномен противосияния ясно отметил Александр Гумбольдт (1769–1859) в марте 1803 г. в тропическом поясе Атлантического океана. Судя по описанию, он заметил противосияние у восточного горизонта в форме «ложного зодиакального света», конус которого напоминает по форме конус истинного зодиакального света, однако заметно уступает ему по яркости. Датский астроном Теодор Брорзен (1819–1895), не зная о наблюдениях Гумбольдта, вторично открыл противосияние в 1850 г. и провёл первые систематические наблюдения этого явления.

В XX в. противосияние исследовали фотометрическими и спектрографическими методами, а также по наблюдениям, выполненным со спутников и космических зондов. Большой вклад в его изучение внесли советские астрономы И. С. Астапович, Н. Б. Дивари, В. Г. Фесенков и др. Для объяснения природы противосияния выдвигались различные гипотезы, в частности гипотеза об околосолнечном пылевом облаке, гипотеза о скоплении пылевых частиц в так называемой антисолнечной либрационной точке системы Солнце—Земля, расположенной на

расстоянии 1,5 млн км от Земли. Рассматривалась гипотеза газового хвоста Земли, подобного хвосту кометы, а также гипотеза пылевого хвоста Земли (частицы пыли предполагались выброшенными с поверхности Луны при ударах о неё метеороидов).

Московские астрономы Н. Н. Парийский и Л. М. Гиндилис показали, что противосияние имеет солнцеподобный непрерывный спектр. В нём, как и в спектре зодиакального света, были обнаружены фраунгоферовы линии солнечного спектра. Это доказало, что оба явления обусловлены рассеянием солнечного света на межпланетных пылинках. Измерения, проведённые в 1972 г. с космического зонда «Пионер-10» (NASA), когда по пути к Юпитеру он находился на расстоянии 9 млн км от Земли, показали, что противосияние не связано с Землёй и обусловлено рассеянием солнечного света на пылевых частицах межпланетного пространства, расположенных за пределами земной орбиты. Феномен противосияния вызван тем, что мелкие пылевые частицы интенсивно отражают падающий на них свет назад. За пределами Главного пояса астероидов противосияние не наблюдается, что говорит о значительном снижении там концентрации пыли.

ПРОТИВОСТОЯНИЕ ПЛАНЕТ – такое расположение планеты (или иного тела Солнечной системы) на небе, когда её эклиптическая долгота отличается на 180° от долготы Солнца. При этом Земля находится на одной прямой между Солнцем и планетой. В противостоянии планета пересекает небесный меридиан в полночь, располагается ближе всего к Земле и имеет максимальный блеск. Моменты противостояния являются наилучшими для наблюдения внешних планет (от Марса до Нептуна) и большинства астероидов, поскольку в это время планета находится на минимальном расстоянии до Земли и её диск полностью освещён Солнцем. Вместо слова «противостояние» астрономы нередко используют слово «оппозиция», от лат. *oppositio* и англ. *opposition*. См. также *Великое противостояние Марса*.



Противостояния Марса. Вдоль орбиты Земли (внутренняя окружность) указаны месяцы её прохождения по данному участку. У орбиты Марса (наружная окружность) указаны точки её перигелия (P) и афелия (A). На радиальных линиях, соединяющих планеты в моменты противостояний, указаны год и минимальное расстояние от Земли до Марса в астрономических единицах. Отмечены все противостояния с 1997 по 2010 гг.

ПРОТОЗВЁЗДЫ – обособившиеся из газово-пылевого облака в результате его гравитационной неустойчивости плотные конденсации вещества, в недрах которых ещё не достигнуты температуры, необходимые для начала термоядерных реакций – основного источника энергии звёзд. Стадия протозвезды – это завершающий этап формирования звезды, который продолжается вплоть до момента загорания термоядерных реакций в ядре протозвезды, после которого её сжатие прекращается и она становится звездой главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рассела.

ПРОТОНОСФЕРА – часть ионосферы, в ионном составе которой преобладающими являются протоны.

ПРОТОПЛАНЕТНЫЙ ДИСК – газово-пылевой диск, обращающийся вокруг молодой звезды и содержащий остатки протозвёздного вещества, из которого могут формироваться планеты, их спутники и другие, малые, тела будущей планетной системы, принадлежащей данной звезде. В том случае, если звезда своим излучением и звёздным ветром не разрушает этот диск до конца, в нём сначала формируются небольшие протопланетные тела (планетезимали), часть из которых затем объединяется в крупные планеты и их спутники, а другая часть остаётся в виде астероидов и ядер комет.

Вещество диска, по-видимому, является остатком протозвёздного облака, не вошедшим в состав звезды по причине его высокого удельного момента импульса. Около 5 млрд лет назад в протопланетном диске, обращавшемся вокруг Солнца, началось формирование планет Солнечной системы. Косвенные свидетельства существования подобных дисков вокруг некоторых звёзд были известны давно, но их прямые изображения были получены только с помощью космического телескопа «Хаббл» в конце 1990-х гг.

ПРОТУБЕРАНЕЦ (лат. *protubero* – вздуваюсь) – плотное, волокнистое и клочковатое облако газа в солнечной короне, которое выглядит красным и ярким при наблюдении солнечного лимба, а при наблюдении солнечного диска в сильных спектральных линиях выглядит тёмным и узким волокном. Протуберанцы – это облака хромосферного вещества, поднятые в солнечную корону и некоторое время удерживаемые там от падения давлением магнитного поля. Протуберанцы отличаются волокнистой и клочковатой структурой постоянно движущихся нитей и сгустков плазмы и многообразием форм, классифицируемых либо по морфологическим, либо по динамическим признакам. Наиболее долгоживущие структуры – медленно изменяющиеся спокойные протуберанцы – подобны «белью», висящему вертикально на силовых линиях магнитного поля, как на верёвке. Именно такие протуберанцы при наблюдении на диске Солнца проецируются в длинные узкие волокна, которые на изображениях в сильных спектральных линиях выглядят тёмными.

Протуберанцы – крупные образования, нередко превосходящие размером Землю. Они отличаются от окружающего их вещества повышенной плотностью и пониженной температурой. Это наиболее заметный тип проявления активности в солнечной короне. В моменты полной фазы солнечного затмения они могут наблюдаться невооружённым глазом в виде ярких выступов у края диска Луны (отсюда их название). Вне затмения наблюдаются при помощи внезатменных коронографов, хромосферных телескопов и солнечных спектрографов в сильных спектральных линиях солнечного спектра (бальмеровская серия водорода, линии He, K CaII). На лимбе протуберанцы видны как яркие эмиссионные облака и струи. На спектрогелиограммах и фильтрограммах на солнечном диске они видны как тёмные изогнутые ленты, называемые волокнами.

Типичный протуберанец имеет вид гигантской светящейся арки, которая опирается на хромосферу и образована струями более плотного и холодного, чем окружающая корона, газа. Высота такого протуберанца 15–100 тыс. км при длине 60–600 тыс. км и толщине всего 4–15 тыс. км. При хорошем разрешении видно, что протуберанец состоит из множества тонких нитей. Описанный наиболее распространённый тип протуберанцев называют спокойным. Этому типу соответствуют упомянутые выше волокна. Время их жизни может достигать многих месяцев. Спокойные протуберанцы наиболее устойчивы и медленно изменяют свой облик. Они возникают либо вдали от групп солнечных пятен, либо вблизи них на поздних стадиях их развития. В последнем случае протуберанец (волокно) располагается по линии раздела полярностей магнитного поля активной области или на её периферии. При этом одним своим концом волокно направлено на ведущее (по вращению Солнца) пятно. С течением времени волокна медленно смещаются к полюсам Солнца, их длина увеличивается, а ориентация постепенно принимает восточно-западное направле-

ние. Примерно через 10 оборотов Солнца волокна достигают полярной области, где могут существовать ещё около 5 месяцев.

Часто встречается другой тип протуберанцев — так называемые активные протуберанцы, в которых наблюдаются быстрые изменения и активные движения. Многие спокойные протуберанцы также переживают активную стадию, длящуюся от десятков минут до нескольких суток, нередко заканчивающуюся полным исчезновением самого протуберанца или его превращением (обычно под действием возникшей вблизи солнечной вспышки) в эруптивный протуберанец, т. е. в выброс вещества в корону, происходящий со скоростью порядка нескольких сотен километров в секунду. Обычно скорость выброшенного вещества меньше параболической скорости, и в конце концов вещество вновь падает на Солнце. Вещество эруптивных протуберанцев может подниматься до высот, сравнимых с радиусом Солнца.

После солнечных вспышек могут возникнуть протуберанцы четвёртого типа — петлеобразные, или протуберанцы солнечных пятен, когда в короне в окрестности пятен наблюдается возникновение как бы из ничего ярких центров истечения вещества, которое по дугообразным траекториям стекает вниз в хромосферу. Всё явление длится несколько часов.

В спектрах протуберанцев наблюдаются прежде всего линии излучения водорода, гелия, ионизованного кальция и других металлов. Ширина, интенсивность и другие особенности этих линий указывают на то, что для протуберанцев характерны температуры 6–8 тыс. К при концентрации частиц $(1–5)\cdot10^{10}$ см$^{-3}$. Таким образом, газовое давление внутри протуберанца примерно такое же, как и в короне (температура короны в 100 раз выше температуры протуберанца, а плотность во столько же раз меньше). Обладая большей плотностью, вещество протуберанца должно «тонуть» в более разреженной среде. Длительное существование протуберанцев показывает, что их вещество удерживают магнитные силы. Наличие магнитного поля в протуберанцах напряжённостью в несколько сотен эрстед установлено спектроскопическими наблюдениями. Поле в окрестности протуберанца имеет вид анфилады арок. Плазма не может свободно двигаться поперёк магнитного поля, поэтому протуберанец как бы висит на магнитных силовых линиях.

Устойчивость протуберанцев объясняется прогибом силовых линий в вершинах арок, которые оказываются в состоянии удерживать вещество протуберанца, несмотря на действие силы тяжести. Возникновение этого прогиба силовых линий, возможно, связано с общей конфигурацией магнитного поля над протуберанцем и выносом части магнитного поля солнечным ветром. Накопление вещества протуберанца в образующейся таким путём седловине магнитного поля, скорее всего, связано с относительным уменьшением роли магнитогидродинамических волн, нагревающих плазму (до седловины им приходится пройти более длинный путь вдоль силовых линий магнитного поля, чем до той же высоты вне арки). Охлаждение вещества в седловине приводит к сжатию газа и засасыванию его через силовые трубки магнитного поля из более глубоких слоёв. В протуберанце накапливается значительная масса вещества, которое затем медленно просачивается вниз в результате различного типа неустойчивостей плазмы. В итоге за 1–2 сут вещество протуберанца может полностью обновиться.

ПРОТУБЕРАНЦ-СПЕКТРОСКОП — прибор для наблюдения солнечных протуберанцев. Представляет собой спектроскоп с дополнительной щелью, центрированной на одну из сильных линий поглощения в солнечном спектре, обычно на линию Hα. Входная щель спектроскопа совмещается с краем солнечного диска, а наблюдатель смотрит через вторую щель. Таким способом можно увидеть яркие протуберанцы, поскольку они имеют эмиссионный спектр и излучают в основном в узких линиях, в то время как эмиссия солнечной фотосферы распределена по всему спектру. Развитием этого подхода является спектрогелиоскоп.

ПРОТУБЕРАНЦ-ТЕЛЕСКОП — телескоп, предназначенный для внезатменных наблюдений солнечных протуберанцев. По конструкции телескоп напоминает коронограф: в нём используется «искусственная Луна» в комбинации с узкополосным фильтром Hα. С помощью протуберанц-телескопа можно изучать структуру и динамику протуберанцев, возвышающихся над солнечным лимбом. В отличие от коронографа, инструмент не нуждается в высокогорном месте для выполнения наблюдений, а также не предъявляет столь высоких требований к качеству оптических элементов.

ПРОТЯЖЁННЫЙ ИСТОЧНИК — объект наблюдения, угловой размер которого превышает разрешающую способность телескопа и детектора. Телескоп не увеличивает поверхностную яркость протяжённого источника, поскольку собранный телескопом свет распределяется по площади изображения, тем не менее различить протяжённый источник низкой поверхностной яркости при этом становится легче, поскольку с ростом углового размера изображения оно попадает на периферийную зону сетчатки глаза, более чувствительную к слабому свету (см. *Боковое зрение*). На этом основан эффект морского бинокля, или, как говорил М. В. Ломоносов, «ночезрительной трубы».

Для увеличений, превышающих равнозрачковое, видимая поверхностная яркость протяжённого источника будет меньше наблюдаемой невооружённым глазом. В случае, если объект выглядит точечным источником при малых увеличениях, но разрешается с данным инструментом при больших увеличениях, телескоп увеличивает видимую яркость по сравнению с наблюдениями невооружённым глазом. Выигрыш по видимой яркости при этом меньше по сравнению с выигрышем по свету для точечных источников и имеет место только до определённого порога увеличений.

ПРОФИЛЬ ЛИНИИ — график распределения яркости поперёк спектральной линии. На форму профиля спектральной линии оказывают влияние различные физические процессы: распределение температуры и давления в области излучения, движение вещества, наличие в нём магнитного поля, и т. п. Поэтому изучение профилей линий в принципе может дать информацию об этих процессах. К сожалению, зачастую влияние различных процессов трудно разделить. Для детального анализа профилей спектральных линий необходимы спектры с очень высоким спектральным разрешением и отношением сигнала к шуму.

ПРОФИЛЬ ЛИНИИ ТИПА Р ЛЕБЕДЯ — спектральная линия со сложным профилем, одновременно демонстрирующим излучение и поглощение относительно уровня соседнего с ним непрерывного спектра. При этом эмиссионный компонент линии имеет обычную длину волны, а абсорбционный компонент сдвинут в коротковолновую часть спектра. Подобные линии возникают в газовых оболочках вокруг звёзд в том случае, когда вещество оболочки расширяется с ускорением. Первой из звёзд, у которых обнаружился такой профиль спектральных линий, была переменная Р Лебедя (P Cygni, P Cyg).

ПРОХОЖДЕНИЕ — видимое пересечение светилом какой-либо линии или области на небе. Под прохождением звезды обычно понимают пересечение ею небесного меридиана. Прохождение Меркурия или Венеры происходит по диску Солнца, когда планета видна на его фоне как чёрное пятнышко. Ближайшее прохождение Меркурия будет 9 мая 2016 г., а Венеры — 10/11 декабря 2117 г.

В Солнечной системе земной наблюдатель может видеть прохождение по Солнцу только внутренних (нижних) планет — Меркурия и Венеры. Но в иных планетных системах мы можем наблюдать прохождение по диску звезды любой экзопла-

неты, если располагаемся вблизи её орбитальной плоскости. При этом яркость звезды немного уменьшается, поскольку происходит её частичное затмение. Этим пользуются для обнаружения экзопланет.

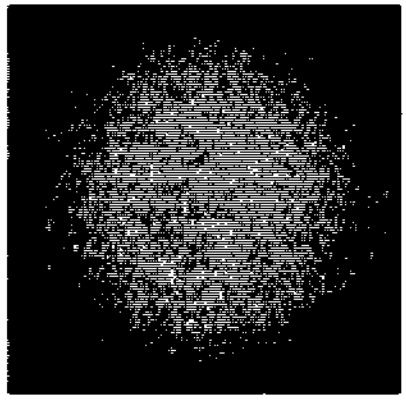
Когда диск Луны заслоняет какую-либо планету или иной небесный объект, говорят о прохождении Луны, хотя правильнее говорить о покрытии объекта Луной. В моменты солнечных затмений формально наблюдается прохождение Луны по диску Солнца, но астрономы никогда не называют это событие прохождением, но только затмением.

Наблюдаются также прохождения планет на фоне друг друга и прохождения спутников на фоне планет (например, прохождение Ио по диску Юпитера). Говорят также о прохождении какой-либо детали на поверхности планеты, Солнца или Луны через линию, проходящую через центр диска тела с точки зрения земного наблюдателя. В общем случае прохождением называют перемещение одного, более близкого, небесного объекта на фоне другого, более далёкого объекта в том случае, когда далёкий объект имеет существенно больший угловой размер, чем близкий объект.

Русскому термину «прохождение» соответствует английский термин «transit». Нередко журналисты и любители астрономии переводят его на русский как «транзит» и пишут, например, «наблюдался транзит планеты по диску звезды» или даже «транзитная планета». Профессиональные астрономы никогда так не говорят и не пишут. В 2012 г. в русской научно-популярной литературе родился новый синоним термину «прохождение» – микрозатмение, вполне адекватный и симпатичный и потому имеющий шанс сохраниться.

ПРОХОЖДЕНИЯ ВЕНЕРЫ ПО СОЛНЦУ – видимое пересечение Венерой солнечного диска в тот момент, когда она оказывается между Землёй и Солнцем. Обычно полное время прохождения занимает около 6 часов (не более 7,5 часов), но может быть и заметно короче, если видимый путь Венеры лежит вдали от диаметра Солнца. В момент прохождения Венера видна как маленький тёмный диск (диаметром 1′) на фоне большого (30′) и яркого солнечного диска. Наблюдая за прохождением Венеры из разных пунктов на Земле и точно измеряя длительность пересечения солнечного диска, можно определить горизонтальный параллакс Венеры и вычислить длину астрономической единицы. Этим активно занимались астрономы в XVIII и XIX столетиях.

Прохождения Венеры по Солнцу наблюдаются в моменты её нижних соединений с Солнцем, но далеко не каждый раз. Причина в том, что орбита Венеры



Прохождение Венеры по Солнцу 8 июня 2004 г.

наклонена к эклиптике на 3,4°. Поэтому в моменты нижних соединений Венера может быть видна на расстоянии до 9,6° от центра Солнца, а угловой диаметр солнечного диска всего полградуса. Прохождение по Солнцу можно наблюдать только в те моменты, когда Венера и Земля находятся вблизи узлов орбиты Венеры, т. е. Солнце, Венера и Земля располагаются примерно на одной линии. Земля проходит через эти точки дважды в году; в нашу эпоху – в июне и декабре.

Прохождения Венеры по Солнцу происходят сериями по два приблизительно раз в столетие. Точнее, наблюдаются два прохождения, разделённые 8 годами, затем следует перерыв в 121.5 года, затем ещё два прохождения, разделённые 8 годами, и перерыв в 105,5 года. Таким образом, полный цикл, содержащий 4 прохождения, длится 243 года. Иногда в этой последовательности могут быть небольшие вариации, но в целом она неплохо описывает картину прохождений Венеры. Объясняется это тем, что соотношение между орбитальными периодами Земли и Венеры близко к резонансам 8:13 и 243:395. За последние 500 лет наблюдались следующие прохождения Венеры:

25/26 мая 1518 г.

23 мая 1526 г. – последнее прохождение до изобретения телескопа.

7 декабря 1631 г. – впервые прохождение предвычислил Кеплер.

4 декабря 1639 г. – впервые прохождение наблюдали в телескоп.

6 июня 1761 г. – Ломоносов открыл атмосферу Венеры.

3/4 июня 1769 г. – Кук наблюдал прохождение на о. Таити.

9 декабря 1874 г. – уточнена астрономическая единица.

6 декабря 1882 г. – композитор J. Ph. Sousa создал марш «The Transit of Venus».

8 июня 2004 г. – первая медиатрансляция прохождения Венеры по всему миру.

5/6 июня 2012 г. – частично видно в Европе рано утром 6 июня.

В течение будущих 500 лет предстоят следующие прохождения:

10/11 декабря 2117 г. – частично видно в Европе рано утром.

8 декабря 2125 г. – частично видно в Европе.

11 июня 2247 г. – видно в Европе и частично к востоку от Урала.

9 июня 2255 г. – полностью видно в России.

12/13 декабря 2360 г. – видно к востоку от Урала.

10 декабря 2368 г. – начало видно в западных областях России.

12 июня 2490 г. – полностью видно на большей территории России.

10 июня 2498 г. – видно на всей территории России.

Внимание! При наблюдении прохождений планет по Солнцу не забывайте защищать глаза от яркого солнечного света!

ПРОХОЖДЕНИЯ МЕРКУРИЯ ПО СОЛНЦУ – видимое пересечение Меркурием солнечного диска в тот момент, когда он оказывается между Землёй и Солнцем. Обычно полное время прохождения занимает около 4–5 часов (не более 8 часов), но может быть и заметно короче, если видимый путь Меркурия лежит вдали от диаметра Солнца. В момент прохождения Меркурий виден как маленький (диаметром 12″) тёмный диск на фоне большого (30′) и яркого солнечного диска.

Прохождения Меркурия по Солнцу наблюдаются значительно чаще, чем прохождения Венеры. Они также происходят в моменты нижних соединений Меркурия с Солнцем, но далеко не каждый раз. Причина в том, что орбита Меркурия наклонена к эклиптике на 7°. Поэтому в моменты нижних соединений Меркурий может быть виден на расстоянии до 4,5° от центра Солнца, а угловой диаметр солнечного диска – всего полградуса. Прохождение по Солнцу можно наблюдать только в те моменты, когда Меркурий и Земля находятся вблизи узлов орбиты Меркурия, т. е. Солнце, Меркурий и Земля располагаются примерно на одной линии. Земля проходит через эти точки дважды в году, в нашу эпоху – в мае и ноябре. Ноябрьские прохождения происходят с интервалами в 7, 13 или 33 года, а майские – только с интервалами в 13 и 33 года.

В XX в. майские прохождения Меркурия происходили в 1924, 1937, 1957 и 1970 гг., а ноябрьские – в 1907, 1914, 1927, 1940, 1953, 1960, 1973, 1986, 1993 и 1999 гг. В XXI в. майские прохождения приходятся на 2003, 2016, 2049, 2062 и 2095 гг., а ноябрьские – на 2006, 2019, 2032, 2039, 2052, 2065, 2078, 2085 и 2098. Ближайшее будет наблюдаться 9 мая 2016 г. с 11:12 до 18:42 по Гринвичу (UTC).

Внимание! При наблюдении прохождений планет по Солнцу не забывайте защищать глаза от яркого солнечного света!

ПРОЦИОН – α Малого Пса, звезда 0,38 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 11,4 св. года. В 1844 г. по колебаниям собственного движения Ф. Бессель заподозрил наличие у Проциона спутника, а 14 ноября 1896 г. Дж. Шеберле, наблюдая Процион в 36-дюймовый рефрактор Ликской обсерватории, обнаружил этот спутник, который оказался белым карликом, обращающимся по орбите с периодом 40,65 года.

ПРОЯВЛЕНИЕ – химический процесс, превращающий скрытое изображение в фотографической эмульсии в действительное изображение путём восстановления зёрен металлического серебра из экспонированных кристаллов бромистого серебра.

ПРЯМОЕ ВОСХОЖДЕНИЕ – одна из двух координат в экваториальной системе небесных координат; вторая координата – склонение. Прямое восхождение и склонение позволяют определять положение объектов на небесной сфере. Прямое восхождение – это угол, измеряемый в сторону годичного движения Солнца (т. е. на восток) вдоль небесного экватора от точки весеннего равноденствия до меридиана, проходящего через полюсы мира и небесный объект. Отсчитывается в пределах от 0 д 360° (в градусной мере) или от 0 до 24^h (в часовой мере). Например, прямое восхождение точки летнего солнцестояния составляет 90°, или 6^h. Обычно в записи координат и в формулах прямое восхождение обозначается греческой буквой α, значительно реже – латинскими буквами R. A. или RA (от англ. *right ascension*).

ПРЯМОЕ ДВИЖЕНИЕ планет – видимое с Земли перемещение планет относительно звёзд с запада на восток, соответствующее направлению их обращения вокруг Солнца.

ПРЯМОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ – изображение объекта, имеющее естественную ориентацию, совпадающую с ориентацией, наблюдаемой невооружённым глазом. Иными словами, это «неперевёрнутое» изображение, «вниз ногами». Телескопы Галилея и Грегори дают прямые изображения, но более распространённые в астрономии системы (например, Кеплера) дают перевёрнутое изображение. Для получения с такими инструментами прямых изображений, более удобных при наблюдении земных объектов, применяются оборачивающие призмы или линзовые оборачивающие системы.

ПРЯМОЙ ФОКУС – фокус объектива телескопа. У рефлекторов – фокус главного зеркала. Синонимы – первичный фокус, главный фокус.

ПСАМАФА (N X, Psamathe) – один из естественных спутников Нептуна. Открыли его Скотт Шеппард, Дэвид Джюитт и Дж. Клейна в 2003 г. Большая полуось орбиты 48 096 тыс. км. Орбитальный период 9074,3 сут. Эксцентриситет орбиты 0,3809. Наклонение орбиты к эклиптике 126,3°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления вращения планеты. Средний диаметр около 38 км при альбедо 4%. Видимый блеск $25{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 52,5′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ПСЕВДОФОТОГРАФИЯ – изображение, представленное в виде фотографии, но полученное нефотографическими средствами, например радиоизображение или рентгеновское изображение. Обычно градации поверхностной яркости переданы в нём градациями серого или набором цветов. Подобные изображения зачастую удобнее для восприятия и интерпретации, нежели представление с помощью изофот и т. п.

ПСЕВДОЦВЕТА – метод визуализации изображений, при использовании которого цветное изображение синтезируется путём замены реальных диапазонов длины волны, использовавшихся при наблюдении, некоторыми цветами оптического диапазона. Например, монохроматические изображения, полученные в красном, ближнем инфракрасном и среднем инфракрасном диапазонах, в псевдоцветном изображении могут быть представлены градациями соответственно синего, зелёного и красного цветов. Иногда таким же способом передают градации поверхностной яркости монохроматических изображений, что делает их более информативными и выразительными. См. *Псевдофотография*.

ПТОЛЕМЕЕВА СИСТЕМА МИРА – получившая завершение в трудах древнегреческого астронома Птолемея геоцентрическая система мира.

ПТОЛЕМЕЙ, Клавдий (Claudius Ptolemaeus) (ок. 90 г., Египет – ок. 168 г., Александрия, Египет) – самый известный астроном и географ Древнего мира. Согласно теории Птолемея, Земля находится в центре Вселенной. Птолемей был гражданином Римской империи, жил в Александрии Египетской, писал по-гречески и, по-видимому, не был связан с царской династией Птолемеев, правившей в Египте в 305–30 гг. до н. э. Записи самого Птолемея о проводившихся им астрономических наблюдениях датированы 127 и 151 гг. н. э. Его звёздный каталог, входящий в «Альмагест», датирован 137 г. н. э. Все прочие сведения о жизни Птолемея поступили из более поздних источников и довольно сомнительны. Наиболее известными работами Птолемея являются «Альмагест» и «География», ставшие высшим достижением древней науки в области астрономии и географии. Работы Птолемея считались настолько совершенными, что определяли направление научных исследований в течение 1400 лет. За это время фактически ничего не было добавлено к «Географии», а достижения арабских астрономов состояли лишь в усовершенствовании «Альмагеста».

Хотя Птолемей был наиболее почитаемым авторитетом древности, его нельзя считать высокоодарённым математиком, астрономом или географом. Его гениальность заключалась в способности собрать воедино результаты исследований своих предшественников, использовать их для уточнений собственных наблюдений и представить это как логическую и завершённую систему, изложенную в понятной для читателя форме. Созданные его мастерством «учебно-справочные труды» позволили поддерживать довольно высокий уровень знаний по этим предметам. Современная эпоха научных исследований в этих областях началась с преодоления авторитета «Альмагеста» и «Географии».

Величайшая работа Птолемея – «Альмагест». Название является комбинацией определённого артикля арабского языка и греческого слова *megiste* – «величайший». Оригинальное название – «Mathematike Syntaxis» («Математическая система») указывает на теоретический характер книги. Эта работа увенчала вековые усилия греческих астрономов по объяснению сложного движения светил. Она содержит 13 книг текстов и является полным справочником по небесным явлениям. Книги I и II «Альмагеста» служат вступлением, где описаны основные астрономические предположения Птолемея и его математические методы. Он представляет свои доказательства сферичности Земли и неба, а также центрального положения Земли во Вселенной. Птолемей полагает, что Земля неподвижна, а небо совершает суточное вращение вокруг небесной оси. В книге I есть таблица хорд для дуг, стягивающих углы от 0,5 до 180° с шагом в 0,5°. Это эквивалент таблицы синусов половинных углов. Идея таблицы заимствована из утерянной работы греческого астронома Гиппарха (ок. 190 – ок. 125 до н. э.).

Книга II содержит такие методы математической географии, как определение самого длинного дня в году для точки с данной широтой и определение широт («climates») населённых областей по данным о продолжительности там наиболее длинного дня.

В книгах III и IV обсуждается движение Солнца и Луны. Птолемей применяет теорию Гиппарха для объяснения аномалий солнечного движения (в действитель-

ности вызванного эллиптичностью орбиты Земли вокруг Солнца); для этого он использует гипотезу об эпициклах и эксцентрах. Лунная теория Птолемея значительно сложнее. Он полагал, что Луна движется по эпициклу, центр которого перемещается с запада на восток по эксцентричному деференту. В свою очередь, центр деферента обращается с востока на запад вокруг Земли, и всё это лежит в плоскости видимого движения Луны. Для наблюдателя на Земле противоположные движения центра эпицикла и деферента эквивалентны по отношению к линии, соединяющей Землю и Солнце. Таким образом, эпицикл оказывается в апогее эксцентра в моменты новолуния и полнолуния, а в перигее — во время первой и последней четвертей. Эта схема успешно преодолела основной недостаток лунной теории Гиппарха и учитывала периодическое «покачивание» лунного апогея, названное позже эвекцией, для которой у Птолемея получилось почти правильное значение.

В книге V продолжается построение теории Луны, описывается конструкция астролябии, оцениваются размеры солнечной, лунной и земной теней, диаметры Солнца, Луны и Земли, а также расстояние до Солнца. Книга VI посвящена солнечным и лунным затмениям. В книгах VII и VIII описываются звёзды по созвездиям. Широта и долгота каждой звезды дана в градусах и минутах, а звёздные величины указаны в диапазоне от 1 до 6. Не ясно, в какой мере этот каталог представляет собственные наблюдения Птолемея и в какой они заимствованы у Гиппарха с учётом прецессии за прошедшие три столетия. Здесь же обсуждаются прецессия точки равноденствия, строение Млечного Пути и конструкция небесного глобуса.

Книги IX–XIII посвящены движению планет — проблеме, не обсуждавшейся Гиппархом. Книга IX рассматривает относительное расстояние планет от Земли, их периоды обращения; там же приведена теория движения Меркурия. Книга X посвящена Венере и Марсу, а XI — Юпитеру и Сатурну. В книге XII обсуждаются стояние и обратное движение каждой из этих планет, а также максимальные элонгации Меркурия и Венеры. Основная схема Птолемея представляет Венеру и три верхние планеты как тела, движущиеся с запада на восток по эпициклам, центры которых движутся в том же направлении по экцентрическим деферентам. Предполагается, что центр эпицикла движется с постоянной угловой скоростью не вокруг центра своего деферента, а вокруг точки, лежащей на прямой, соединяющей Землю с центром деферента, и удалённой от Земли на удвоенное расстояние между ней и центром деферента. Эпициклы и деференты при этом наклонены к эклиптике под различными углами. Схема движения Меркурия ещё сложнее.

«География» Птолемея занимает то же место в этой области знания, что и «Альмагест» в астрономии. До эпохи Ренессанса это сочинение считалось непогрешимым. Птолемей начинает с описания методов картографии — определения астрономической широты и долготы места и изображения сферических поверхностей на плоскости. Затем он переходит к основной части своего трактата, построенной на приблизительных расчётах путешественников по земле и морю. Хотя Птолемей преподносит предмет своего исследования в математической форме и в работе дан внушительный список из более чем 8000 названий городов, островов, гор, рек и т. д., было бы неверно думать, что эта работа представляет собой научное исследование. Хотя теоретические аспекты картографии изложены в этой книге вполне удовлетворительно даже для современного элементарного учебника, по-видимому, Птолемей знал, что истинные координаты мест не могли быть точно определены в его время.

В книге I «Географии» Птолемей обсуждает надёжность определения относительных положений точек на Земле астрономическими методами и по измерениям расстояний на поверхности и оценкам путей, пройденных путешественниками. Он признаёт, что астрономические методы более надёжны, но указывает, что для большинства мест нет иных данных, кроме грубых подсчётов путешественников. Птолемей считает наиболее надёжным взаимный контроль наземных и астрономических методов. Он даёт инструкции для построения карты мира на сфере (т. е. на глобусе), а также на плоской поверхности с помощью конической проекции или усовершенствованной сферической проекции. Остальные семь книг почти полностью состоят из списка названий различных мест и их географических координат.

Поскольку большинство данных было получено путешественниками и собрано воедино предшественником Птолемея Марином из Тира (ок. 120 г. н. э.), атлас Птолемея содержит много ошибок. Вычисленный Эратосфеном почти правильный размер Земли был уменьшен Посидонием более чем на четверть; это заниженное значение использовал Птолемей. Нулевой меридиан у Птолемея проходит через Канарские острова. Из-за преувеличенного путешественниками размера Азии получалось, что известный к тому времени мир протянулся более чем на 180° (в действительности же на 130°). На 180-м меридиане его карты находится Китай, гигантская суша, простирающаяся от вершины карты до экватора. Отсюда следовало, что неизвестная часть Азиатского континента тянется ещё дальше, туда, где сейчас изображают Тихий океан. Это и есть классическое представление Птолемея о Земле как о сфере, уменьшенной на четверть по сравнению с действительным размером и покрытой сушей, занимающей $^2/_3$ Северного полушария. Именно оно подтолкнуло Колумба к решению плыть на запад к Индии. Свою работу Птолемей сопроводил атласом из 27 карт: 10 региональных карт Европы, 4 карт Африки, 12 карт Азии и карты всего известного к тому времени мира. Эта работа имела такой авторитет, что даже спустя столетие после путешествий Колумба и Магеллана, разрушивших основные положения «Географии», все ещё выходили карты в стиле Птолемея. Некоторые из его ошибочных представлений настойчиво повторялись на картах XVII и XVIII вв., а его карта Африки печаталась даже в XIX в.

Многосторонность Птолемея и его изумительная способность писать доступно проявились и в других его трактатах, например, по оптике и музыке. Работа по оптике сохранилась только в латинском переводе потерянного арабского перевода утерянного греческого варианта. Она состояла из пяти книг, из которых книга I и конец книги V утеряны. Книги III и IV посвящены отражению. Птолемей использовал измерения, чтобы доказать, что угол падения равен углу отражения. Книга V была посвящена преломлению света. В ней описаны опыты по рефракции в воде и стекле при различных углах падения и сделана попытка применить эти результаты в астрономии для оценки степени преломления света, идущего от звезды через земную атмосферу. Трактат Птолемея — это самая полная работа о зеркалах и оптике, сохранившаяся с древних времён.

«Гармоники» Птолемея были признаны «наиболее научным и хорошо построенным трактатом по теории музыкальной шкалы в Греции». После работы Аристоксена это был самый значимый трактат по древней музыке, причём, в отличие от первого, он имел практический характер. Птолемей написал также подробный учебник по астрологии в четырёх книгах, называемый «Тетрабиблос»; до наших дней он считается классикой астрологического ремесла.

Труды Птолемея определяли направление научных исследований в течение почти 1400 лет, но их влияние на социальные теории оказалось ещё более длительным и ощущалось вплоть до революций XIX в. Предложенная Птолемеем теория антропоцентрической Земли, расположенной в геоцентрической Вселенной, получила широкое распространение, особенно в средневековых энциклопедиях. Примирение христианской доктрины с классическими учениями, осуществлённое Альбертом Великим (ок. 1193–1280) и Фомой Аквинским (1225–1274), сделали учения древних приемлемыми для Средних веков и Ренессанса. Установ-

ленный Птолемеем порядок планет и его предположение о воздействии каждой из них на определённый класс людей было интерпретировано церковью как часть великой иерархии бытия. Её наивысшим звеном были Бог и ангелы, затем следовали: мужчина, женщина, животные, растения и камни. Это учение вместе с историей из Книги Бытия о сотворении Мира за 6 дней обеспечивало основной фон поэзии и прозы со времен Средневековья до XVIII в. Считалось, что великая цепь бытия имеет божественное происхождение и определяет деление феодального общества на три составляющие: дворянство, духовенство и третье сословие, каждое из которых играет свою роль в жизни общества. Этот взгляд так сильно укоренился в обществе, что за отстаивание гелиоцентрической теории Коперника Галилея в 1616 г. в Риме подвергли суду инквизиции и заставили отречься.

Очень заметно влияние Птолемея на литературу. Некоторые авторы прямо указывают его как источник своего творчества. Другие, как Данте и Мильтон, делают вселенную Птолемея основой для построения своих миров. В произведениях Чоссера и Миллера встречаются упоминания Альмагеста и даются ссылки на труды Птолемея. Именем Птолемея названы кратеры на Луне и Марсе, астероид № 4001.

ПУЛКОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ, Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук. Расположена в 19 км от центра Санкт-Петербурга на Пулковских высотах (75 м над уровнем моря). Основана в 1839 г. как обсерватория Императорской АН под руководством В. Я. Струве. В XIX в. за высочайшее качество астрометрических измерений получила неофициальный титул «астрономической столицы мира».

ПУЛЬСАРЫ — астрономические объекты, испускающие мощные, строго периодические импульсы электромагнитного излучения. Первыми были открыты радиопульсары, а затем обнаружились оптические, рентгеновские и гамма-пульсары, причём это оказались одни и те же объекты — нейтронные звёзды. У каждого из пульсаров свой период пульсаций. Зарегистрированные периоды лежат в диапазоне от 640 импульсов в секунду до одного импульса за 5 секунд. Но периоды большинства пульсаров составляют от 0,5 до 1 с. Энергия излучения пульсара, которая регистрируется в импульсах, составляет лишь малую долю приходящей энергии его непрерывного излучения. Строгая периодичность импульсов является следствием вращения пульсара. Вращение же служит источником излучаемой энергии; это следует из того, что промежутки между импульсами у всех пульсаров медленно возрастают, а значит, вращение звезды замедляется.

Первый пульсар открыли случайно в 1967 г. астрономы Кембриджского университета — аспирантка Джоселин Белл и её руководитель профессор Энтони Хьюиш. Но отнюдь не случайным было то, что пульсары открыли именно эти учёные: именно они создали и в те дни испытывали новый радиотелескоп с уникальной аппаратурой для регистрации быстропеременного космического излучения. Правда, причиной переменности предполагались мерцания радиосигналов от далёких галактик и квазаров, проходящих сквозь неоднородности межзвёздной и межпланетной плазмы (подобно тому, как мерцают изображения звёзд, наблюдаемых сквозь неоднородную атмосферу Земли). Но когда вместо хаотически меняющихся сигналов учёные неожиданно обнаружили цепочки импульсов, приходящих с чёткой периодичностью, они поняли, что натолкнулись на совершенно новое явление. Исследовав одну за другой множество возможных причин, в том числе и приём сигналов внеземного разума, астрономы остановились на единственно возможном объяснении — источником периодических импульсов служат быстро вращающиеся нейтронные звёзды, предсказанные теоретиками ещё в 1939 г. За открытие радиопульсаров Э. Хьюиш был награждён Нобелевской премией в 1974 г.

Первый пульсар получил обозначение CP 1919, что значит «кембриджский пульсар» (Cambridge Pulsar), имеющий прямое восхождение 19 часов 19 минут. Сразу после открытия в поиски пульсаров включились крупнейшие радиообсерватории мира, давая обнаруженным объектам обозначения по своим каталогам. К 1975 г. было обнаружено 150 пульсаров. Для унификации их все стали обозначать буквами PSR с указанием прямого восхождения (до минут) и склонения (до градуса). Теперь первый пульсар имеет обозначение PSR 1919+21; он имеет период 1,3373 с и длительность импульса 0,037 с. Наиболее детально исследован пульсар PSR 0531+21, расположенный в Крабовидной туманности. Эта нейтронная звезда делает 30 оборотов в секунду (период пульсара 0,033 с); она родилась менее тысячи лет назад, вспышку сверхновой на этом месте в созвездии Тельца наблюдали на Земле в 1054 г. Радиоастрономы всего мира продолжают поиски пульсаров в нашей и соседних галактиках. В ноябре 1998 г. в Парксской обсерватории (Австралия) был открыт 1000-й радиопульсар. К середине 2012 г. их уже обнаружено 2008.

ПУЛЬСАР «ЧЁРНАЯ ВДОВА» — радиопульсар с периодом 1,6 миллисекунды, открытый в 1988 г. Является членом двойной системы, в котором вокруг нейтронной звезды-пульсара обращается спутник — нормальная звезда. Сигнал с пульсара задерживается, что приводит к удлинению периода за несколько минут до затмения и примерно через 20 минут после его окончания. Задержка возникает из-за того, что сигнал должен пройти сквозь ионизованную плазму, окружающую спутник.

Излучение нейтронной звезды сильно влияет на соседку: большая часть вещества спутника, выходящего за пределы его полости Роша, — это внешние слои звезды, сдуваемые нейтронной звездой. Быстро движущийся пульсар возбуждает головную ударную волну. Когда эта волна догоняет атомы водорода в газе, окружающем пульсар, они сталкиваются с быстро движущимися за ударной волной протонами и электронами. Это вызывает излучение Hα, видимое в оптические телескопы как жёлтый ободок вокруг пульсара. Внутри головной ударной волны пульсар генерирует ветер из высокоскоростных частиц и античастиц, летящих наружу во всех направлениях со скоростью, близкой к скорости света, который выдувает вокруг пульсара пустоту овальной формы, вытянутую в сторону движения. На некотором расстоянии от пульсара этот ветер затихает до скорости окружающего газа. Описанный процесс вызывает синхротронное излучение, фиксируемое в рентгеновском диапазоне. Этот мощный ветер оказывает сильное влияние на спутник, который обращается вокруг пульсара с периодом 9,2 часа. Звезда сама генерирует ветер, но гораздо слабее. Два ветра сталкиваются вблизи поверхности звезды, и в результате возникает рентгеновское излучение. Мощный ветер пульсара и это рентгеновское излучение «сдирают» со звезды газ, постепенно рассеивая его. Расчёты показывают, что примерно за 1 млрд лет «Чёрная вдова» уничтожит свой спутник, с чем связано название объекта.

ПУЛЬСИРУЮЩИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ — тип переменных звёзд, излучение, температура поверхности и спектр которых меняются из-за расширения и сжатия внешних слоёв звезды. Если пульсации радиальные, то они симметрично распространяются по всей поверхности, и звезда сохраняет форму шара. Так пульсирует большинство гигантов и сверхгигантов, включая цефеиды, звёзды типа RR Lyr, RV Tau и мириды. Если пульсации нерадиальные, как, например, у звёзд типа ZZ Ceti, то волны выходят в разных точках поверхности в разных фазах, и наблюдатель видит распространение волны по поверхности в различных направлениях. Это приводит к возникновению дополнительных периодов и к разным формам максимумов и минимумов блеска.

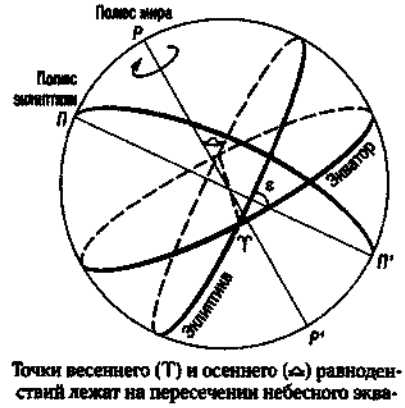
ПУРБАХ, Георг (Georg von Peuerbach, или Purbach, или Peurbach, или Purbachius) (30.05.1423, Пурбах близ Линца, Австрия, —

8.04.1461, Вена, Австрия) — австрийский астроном и математик. Первым в Европе изложил теорию Птолемея в книге «Новая теория планет» (1472), вместе с Региомонтаном создал «Краткое изложение великого сочинения Птолемея» (1473). Изобрёл прибор («геометрический квадрат»), заменявший таблицу тангенсов.

Р

РАБОТА ВЫХОДА — минимальная энергия, необходимая для эмиссии (испускания) электрона из твёрдого тела вследствие внешнего фотоэффекта. Обычно измеряется в электронвольтах. У простых веществ работа выхода обычно составляет от 2 до 5 эВ; при наличии специальных покрытий может быть снижена до 1 эВ.

РАВНОДЕНСТВИЕ — момент прохождения центра Солнца в его видимом движении по небесной сфере через небесный экватор. Равноденствие происходит 20–21 марта (весеннее равноденствие) и 22–23 сентября (осеннее равноденствие). В это время продолжительность дня и ночи одинакова.



Точки весеннего (♈) и осеннего (♎) равноденствий лежат на пересечении небесного экватора и эклиптики

РАВНОЗРАЧКОВОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ — увеличение телескопа, при котором диаметр выходного зрачка (т. е. пучка световых лучей, выходящих из окуляра) равен диаметру зрачка глаза наблюдателя. При таком или большем увеличении весь свет, собранный объективом, попадает в зрачок глаза. Можно выполнять наблюдения и при увеличениях меньше равнозрачкового, но при этом часть света, собранного телескопом, будет теряться, поскольку диаметр выходного зрачка превышает диаметр зрачка глаза.

Адаптированный к темноте глаз человека имеет зрачок диаметром от 8 мм у молодых людей до 5 мм у пожилых; в среднем около 7 мм. Это даёт простое выражение для определения равнозрачкового увеличения: $M_{min} \approx 1{,}4D$, где D — диаметр объектива телескопа в сантиметрах. Например, при наблюдении в телескоп с объективом 15 см равнозрачковое увеличение составляет 21×.

РАДАР — система для обнаружения и измерения объекта, использующая отражённые от него радиоволны. Слово «radar» — это аббревиатура словосочетания «radio detection and ranging», т. е. радиолокация. Радар (радиолокатор) состоит из радиопередатчика, радиоприёмника и анализирующей аппаратуры. С помощью передатчика радар посылает излучение в сторону объекта, а затем с помощью приёмника регистрирует отражённые от объекта радиоволны. По времени прохода радиоимпульса измеряется расстояние до объекта, по изменению частоты принятого сигнала определяется скорость объекта (эффект Доплера). Анализируя спектр отражённого сигнала, можно определить структуру поверхности объекта и даже свойства покрывающего её вещества.

Излучение радара может быть непрерывным или импульсным; непрерывное излучение не позволяет оценить расстояние до объекта. Небольшие радары применяются в наземной астрономии для дневного наблюдения метеоров: радиосигнал отражается от ионизованного газа, ответственного за вспышку метеора. Радары устанавливают на борту некоторых космических зондов для изучения поверхности планет, в том числе Земли. Имеются также специализированные наземные радары для изучения планет, их спутников и астероидов с большого расстояния. Основой такого радара служит радиотелескоп, оборудованный мощным передатчиком, который посылает радиоимпульсы, сфокусированные с помощью антенны радиотелескопа, на исследуемую планету. Отражённый от планеты сигнал чрезвычайно слаб, поэтому его удаётся принять лишь с помощью большой антенны и чувствительного приёмника радиотелескопа. Только с помощью радаров — наземных и космических — удалось изучить топографию поверхности Венеры, закрытую от оптических телескопов плотным слоем облаков.

РАДИАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ — см. *Лучевая скорость*.

РАДИАН — мера угла, обозначается «рад»: угол, соответствующий дуге окружности, длина которой равна радиусу этой окружности. Полная окружность (360°) содержит 2π радиан, поэтому 1 рад = $360°/2\pi$ = 57,29578...° ≈ 57,3°. Полезно запомнить соотношение: 1 рад ≈ 200 000″ (более точно — 206 265″).

РАДИАНТ (лат. *radians* излучающий) — точка перспективы, из которой кажутся выходящими объекты, параллельно движущиеся в сторону наблюдателя, или в которой сходятся траектории объектов, удаляющихся от наблюдателя. Например, для потока параллельных метеоров это точка на небесной сфере, из которой они выходят, т. е. в которой пересекаются их продолженные назад траектории. Положение радианта определяется взаимной ориентацией в пространстве векторов скоростей движения Земли и частиц метеорного потока. Созвездие, в котором расположен радиант, часто используют для наименования метеорного потока, например, Леониды, Лириды, Персеиды и т. д. Собственные движения звёзд, принадлежащих одному близкому к нам скоплению, также пересекаются вблизи одной точки на небе, которую называют радиантом движущегося скопления. Причина в том, что характерная скорость скоплений относительно Солнца (30–50 км/с) значительно больше, чем скорость хаотического движения звёзд внутри скопления (1–2 км/с).

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В КОСМОСЕ — уровень радиационной опасности для человека (космонавта), работающего за пределами земной атмосферы без эффективных средств защиты. Дозу радиации, полученную человеком, измеряют в системе СИ в зивертах (Зв) или во внесистемных единицах — бэрах (бэр = биологический эквивалент рентгена). 1 Зв = 100 бэр. Доза более 1 Зв приводит к сильному радиационному поражению организма. Доза более 5 Зв практически смертельна.

От естественного радиоактивного фона человек на уровне моря получает около 0,03 бэр/год; на высоте 3000 м — около 0,1 бэр/год; в стратосфере на высоте 12 тыс. м — около 3 бэр/год. На низкой околоземной орбите (300–500 км) космонавты получают около 10 бэр/год, т. е. 0,1 Зв/год, если на Солнце не было сильных вспышек. Для сравнения: максимальная допустимая доза облучения работников атомных станций обычно принимается от 0,02 до 0,05 Зв/год. Для космонавтов в полёте продолжительностью 1 год считается допустимой доза 0,5 Зв.

В радиационных поясах Земли радиоактивный фон составляет 15 Зв/год, в межпланетном пространстве — около 0,2 Зв/год, на поверхности Луны — около 0,1 Зв/год. Однако сильная солнечная вспышка может дать дозу свыше 10 Зв. На поверхности Луны средняя годовая доза солнечной активности составляет около 5 Зв, максимальная — 10 Зв. Поэтому в лунном убежище для космонавтов толщина защиты из реголита плотностью 1,5 т/м^3 должна быть 2–3 м. В межпланетном полёте эффективная защита космонавта пока невозможна. При полёте к Марсу и обратно космонавт только от фоновой радиации получит около 1 Зв. Если за этот период (около 4 лет) на Солн-

це произойдут сильные вспышки, то доза будет значительно выше.

РАДИАЦИОННЫЙ ПОЯС ПЛАНЕТЫ — область пространства вокруг планеты, заполненная заряженными частицами, которые захвачены магнитным полем планеты. Обычно это частицы высоких энергий — десятки и сотни МэВ. Земное магнитное поле улавливает частицы солнечного ветра (протоны и электроны) и формирует вокруг Земли две заполненные ими тороидальные области на высотах около 4000 и 17 тыс. км от поверхности Земли. В англоязычной литературе их нередко называют поясами Ван Аллена в честь физика, приборы которого, установленные на первых американских спутниках, позволили открыть первый (внутренний) радиационный пояс. Практически одновременно его обнаружили и советские физики. Самыми мощными радиационными поясами среди планет обладает Юпитер.

РАДИОАСТРОМЕТРИЯ — раздел астрометрии, в котором для определения координат космических радиоисточников, всемирного времени, движения полюсов и фигуры Земли. расстояний до ближайших тел Солнечной системы применяются радиофизические методы и приборы — радиоинтерферометры, радиолокаторы и др.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ВЕСТЕРБОРК — обсерватория близ деревни Вестерборк (Westerbork) в северо-восточной части Нидерландов, располагающая системой апертурного синтеза WSRT (Westerbork Synthesis Radio Telescope), состоящей из 14 радиотелескопов с параболическими антеннами диаметром 25 м и максимальной длиной базы около 3 км. Инструмент начал функционировать в 1970 г. Наблюдения проводятся в диапазоне от 120 МГц до 8,3 ГГц. В первые годы в основном проводились наблюдения межзвёздного водорода в линии 21 см, но затем возможности инструмента были существенно расширены (изучение радиопульсаров и пр.), а также создана аппаратура для участия в интерферометрических наблюдениях со сверхдлинной базой. Обсерватория принадлежит Голландской ассоциации астрономических исследований ASTRON.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ В НАНСЭ — обсерватория в местечке Нансэ (Nançay, Франция), в двух часах езды к югу от Парижа. Там установлен двухзеркальный Дециметровый радиотелескоп Нансэ (NRT) длиной около 300 м, один из крупнейших в мире. Это меридианный инструмент, сооружённый в 1961–1965 гг. и предназначенный для регистрации источников в момент их прохождения через небесный меридиан. Фактически это вариант радиотелескопа Краусса, состоящий из двух частей — плоского подвижного первичного зеркала и неподвижного вторичного зеркала, имеющего форму сферического пояса. Первичное зеркало играет роль целостата, отражая волны источников, проходящих через меридиан на разной высоте. Поэтому телескоп способен регистрировать источники со склонением более −39°. Вторичное зеркало фокусирует волны на антенне приёмника. Первичное зеркало составлено из 10 панелей, каждая длиной 20 м и высотой 40 м. Вторичное зеркало имеет длину 460 м при радиусе сферы 560 м. Приёмники располагаются на подвижной платформе, перемещающейся по рельсам в направлении восток–запад. Это позволяет сопровождать источники вблизи меридиана: на небесном экваторе — в течение часа, в области зенита — ещё дольше. Минимальная длина рабочей волны этого радиотелескопа 9 см. Обычно наблюдения проводятся на волнах 21, 18 и 9 см.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НАФФИЛД (Nuffield Radio Astronomy Laboratory) — прежнее название Обсерватории Джодрелл-Бэнк, которое она носила с 1966 по 1999 гг. Это радиоастрономическая лаборатория и обсерватория Манчестерского университета (Англия), основанная в 1945 г. сэром Бернардом Лавеллом (р. 1913) и расположенная в графстве Чешир у небольшой возвышенности Джодрелл-Бэнк. Основным инструментом обсерватории является полноповоротный радиотелескоп Марк I (теперь под именем «Лавелл») с параболической антенной диаметром 76 м. Этот радиотелескоп наряду с несколькими другими входит в состав радиоинтерферометра MERLIN.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ НОБЕЯМА — отделение Национальной астрономической обсерватории Японии, специализирующееся в области радиоастрономии. Обсерватория Nobeyama Radio Observatory (NRO) расположена близ деревни Нобеяма (Nobeyama) в Японских Альпах, на высоте 1350 м. Оснащена несколькими инструментами, наибольший из которых — радиотелескоп с параболической антенной диаметром 45 м. Имеется также интерферометр миллиметрового диапазона Nobeyama Millimetre Array (NMA) из семи 10-метровых антенн и радиогелиограф из 84 антенн.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ООТАКАМУНД — обсерватория в г. Оотакамунд (Ootacamund) в Индии, располагающая антенной решёткой размером 530 м. Антенны установлены на склоне холма таким образом, что плоскость решётки параллельна оси вращения Земли.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ОУЭНС-ВЕЛЛИ (Owens Valley Radio Observatory) — обсерватория Калифорнийского технологического института. Расположена в 400 км к северу от Лос-Анджелеса, близ городка Бишоп на восточном склоне Сьерра-Невады в Калифорнии, на высоте 1222 м. Крупнейший инструмент — радиотелескоп с параболической антенной диаметром 40 м. Имеется также солнечный радиоинтерферометр: две 27-метровые параболические антенны и пять 1,8-метровых, наблюдающие в диапазоне от 1 до 18 ГГц. Этой системой руководят Технологический институт Нью-Джерси и Солнечная обсерватория Биг Бёр.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ХЕРТБИЗТХОУК (Hartebeesthoek Radio Astronomy Observatory, HartRAO) — обсерватория, оснащённая радиотелескопом с параболической антенной диаметром 26 м, расположенная в 50 км к северо-западу от Йоханнесбурга (Южно-Африканская республика). Основана в 1961 г. как Deep Space Station 51 NASA. Единственная крупная радиоастрономическая обсерватория в Африке.

РАДИОАСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, занимающийся исследованием источников космического радиоизлучения. Регистрация этого излучения происходит с помощью радиотелескопов в широком диапазоне радиоволн — от миллиметровых до километровых. Объектами изучения являются практически все космические тела — от объектов Солнечной системы до Метагалактики в целом. Источниками космического радиоизлучения служат быстрые элементарные частицы космических лучей, движущиеся в межзвёздных магнитных полях, горячая межпланетная и межзвёздная плазма, радиационные пояса планет, магнитосферы нейтронных звёзд, горячее вещество молодой Вселенной (источник реликтового излучения), холодный молекулярный газ межзвёздных облаков и т. п.

Радиоастрономия зародилась в начале 1930-х гг., когда американский радиоинженер Карл Янский (1905–1950) из компании «Белл Телефон» изучал помехи радиотелефонной связи. Для этой цели он сконструировал направленную антенну и использовал высокочувствительный по тем временам приёмник. Наряду с хаотическими помехами земного, атмосферного происхождения (грозовые разряды, ионосферные шумы и др.) Янский заметил регулярные вариации мощности радиошума, период которых в точности совпадает с периодом вращения Земли. Вскоре он надёжно установил космическое происхождение источника этих сигналов и обнаружил, что они приходят из центральной части Млечного Пути. Пер-

вый настоящий радиотелескоп построил в 1937–1938 гг. американский радиоинженер Гроут Ребер (1911–2002), самостоятельно сделавший у себя в саду из листов железа 9-метровый рефлектор, в принципе такой же, как нынешние гигантские параболические антенны. Ребер составил первую радиокарту неба и нашёл, что на волне 1,5 м излучает весь Млечный Путь, но наиболее сильно — его центральная часть. Радиоизлучение Солнца в сантиметровом диапазоне в 1942–1943 гг. открыл Ж. Саузворт, хотя немного раньше, в феврале 1942 г., Дж. Хей заметил, что в метровом диапазоне Солнце «ставит помехи» радиолокаторам, когда на нём происходят вспышки.

До Второй мировой войны космическое радиоизлучение не интересовало астрономов. Новый метод исследования космоса требовал новых, необычных инструментов наблюдения и новых исследователей, владеющих этим методом. Во время войны ускорилось развитие радиотехники. Антенны и высокочувствительные приёмники созданных в это время радарных систем дали мощный толчок развитию радиоастрономических исследований. С 1950-х гг. началось бурное развитие радиоастрономии.

Как работают радиоастрономы

Распространяющиеся в космическом пространстве радиоволны можно зарегистрировать наземными приёмниками в диапазоне частот от $\nu \approx 10$ МГц ($\lambda \approx 30$ м) до $\nu \approx 30$ ГГц ($\lambda \approx 1$ см), Радиоволны с $\lambda > 30$ м не проходят (поглощаются или отражаются) через ионосферу Земли. Наблюдения в этом диапазоне могут проводиться радиотелескопами, вынесенными за пределы атмосферы. Радиоволны с $\lambda < 1$ см поглощаются молекулами атмосферных газов. Однако эта граница атмосферного «радиоокна» нерезкая. Она представляет собой ряд интервалов прозрачности и полупрозрачности между полосами поглощения молекул, что позволяет проводить наблюдения на некоторых волнах миллиметрового диапазона, в частности вблизи длин волн 8, 4 и 2,6 мм. Полностью непрозрачной атмосфера становится на частотах выше 200 ГГц. Радиоастрономические наблюдения, в отличие от оптических, можно проводить и в облачную погоду, так как атмосферные условия слабо влияют на прохождение радиоволн (кроме коротковолнового сантиметрового и миллиметрового диапазонов).

Радиоастрономические обсерватории оснащены большими радиотелескопами, основой которых служат специальные антенны или комплексы антенн. Они снабжены набором высокочувствительных приёмных устройств — радиометров, а также специальными многоканальными приёмниками излучения для целей радиоспектроскопии в различных радиолиниях, устройствами для исследования линейной и круговой поляризации радиоволн. Для обработки данных радиоастрономических наблюдений непременно требуются компьютеры, причём нередко чрезвычайно мощные.

Отдельно взятый радиотелескоп не может «перекрыть» весь диапазон приходящих из космоса радиоволн. В длинноволновой области (декаметровые, метровые волны) применяются сложные антенны, «набранные» из многих десятков и сотен элементов (например, диполей). В дециметровом и сантиметровом диапазонах с успехом используются большие полу- и полноповоротные параболические антенны. Антенны этого типа применяются и в миллиметровом диапазоне, но требования к точности изготовления зеркал при этом значительно выше.

Исследование космического радиоизлучения во всём диапазоне является задачей, решение которой возможно лишь с использованием многих радиотелескопов различных обсерваторий мира. Это требует координации и кооперации работы радиоастрономов многих стран, эффективного обмена научной информацией, т. е. тесного международного сотрудничества.

Если бы «радионебо» можно было видеть так же, как мы видим в ясную ночь звёздное небо, нам представилась бы картина, существенно отличающаяся от той, которая наблюдается в световых лучах. Мы увидели бы более широкую (в 2–3 раза) яркую полосу вдоль Млечного Пути со значительным увеличением яркости в галактическом центре (оптическое излучение от центра Галактики ненаблюдаемо из-за сильного поглощения света межзвёздной пылью). Всё небо было бы усеяно «радиозвёздами» и протяжёнными туманностями различной яркости. При сопоставлении вида неба в световых и радиолучах мы обратили бы внимание на странное, на первый взгляд, несоответствие: на месте многих оптически ярких звёзд не было бы видно даже слабых «радиозвёзд», в то время как некоторые оптически слабые объекты, невидимые невооружённым глазом, в радиолучах были бы очень яркими. При помощи сильного оптического телескопа на месте некоторых ярких «радиозвёзд» мы увидели бы далёкие туманности и слабые звездообразные объекты — галактики и квазары.

Самым ярким объектом радионеба остаётся Солнце (из-за близости к нам), однако мощность его радиоизлучения в миллионы раз меньше оптического. Это сравнение показывает, насколько слабо, вообще говоря, радиоизлучение космоса и почему его интенсивное исследование стало возможным лишь после создания гигантских высокочувствительных радиотелескопов. Вторым по потоку радиоизлучения источником является туманность в созвездии Кассиопея (радиоисточник Кассиопея А) — остаток вспышки сверхновой звезды. Но уже следующим по наблюдаемому потоку излучения объектом является радиоисточник в созвездии Лебедя, отождествлённый с далёкой (расстояние около 200 Мпк) тусклой (16^m) радиогалактикой Лебедь А. Абсолютное большинство ярких источников на «радионебе» — это внегалактические объекты (радиогалактики и квазары).

Непрерывное радиоизлучение является излучением больших ансамблей заряженных частиц (прежде всего электронов). Быстро и хаотически меняющийся радиошум «размазан» по широкому интервалу частот, т. е. имеет непрерывный спектр. Одна из задач радиоастрономических исследований — определение спектрального распределения потока энергии, приносимого радиоволнами от космических объектов. Спектральный состав радиоизлучения — важная характеристика механизма излучения. Основными механизмами непрерывного радиоизлучения служат тормозное излучение и магнитотормозное излучение (в том числе синхротронное). Основной механизм радиоизлучения в линиях связан с переходами между уровнями энергии атомов и молекул.

Регистрируемое на некоторой частоте ν радиоизлучение космического объекта выражают в так называемых единицах спектральной плотности потока F_ν [Вт/(м^2 Гц)].

На примере измерения F_ν проиллюстрируем, как проводятся радионаблюдения. Радиотелескоп наводят на точку небесной сферы, в которой расположен или через которую вследствие её суточного вращения должен пройти исследуемый радиоисточник. Самопишущий регистратор приёмника (например, вольтметр) записывает кривую изменения антенной температуры ΔT_a. Чтобы получить из записи ΔT_a поток F_ν, необходимо выразить ΔT_a в кельвинах, т. е. прокалибровать приращение антенной температуры. Тогда поток от источника определяется по формуле $F_\nu = 2k\Delta T_a / A_\nu$, где A_ν — известная эффективная площадь антенны радиотелескопа. Для калибровки используют либо запись радиоисточника с уже хорошо известным потоком F_ν, либо подключение к входу радиометра согласованных нагрузок (сопротивлений с известной температурой, а следовательно, мощностью «радиошума»).

Радиотелескоп, работающий на некоторой частоте ν, представляет собой «монохроматический» инструмент, регистрирующий излучение в полосе $\Delta\nu$, следовательно, даёт лишь одну «точку» на спектре источника. Построение и исследование непрерывных спектров радиоизлучения требует измерений F_ν на многих частотах.

Другая, более сложная задача радиоастрономии — исследование структуры радиоисточников. Если ширина диаграм-

мы направленности радиотелескопа больше угловых размеров источника, то эта задача решается с помощью сложных многоантенных радиоинтерферометров. Разрешение деталей структуры размером от секунды до нескольких десятков секунд дуги осуществляется системами апертурного синтеза. Например, система VLA (США) позволяет получать на длинах волн сантиметрового диапазона радиоизображения с разрешением до 0,5″, что соответствует разрешающей способности крупнейших наземных оптических телескопов (без системы адаптивной оптики). В тысячу раз более высокое разрешение структуры источников радиоизлучения (до десятых долей миллисекунды дуги) достигается методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами. Этим методом изучаются компактные образования в ядрах галактик и квазаров, источники мазерного излучения в линиях молекулы H_2O ($\lambda = 1{,}35$ см).

Помимо спектров излучения и структуры радиоисточников, исследуются также поляризация излучения. Это позволяет получать данные о структуре магнитных полей, а также (на основе эффекта Фарадея) о свойствах среды, например, о плотности плазмы как в области формирования излучения, так и на пути его распространения.

Радиоизлучение многих космических объектов меняется в различных шкалах времени — от микросекунд до десятков лет. Разнообразны, например, явления переменности радиоизлучения активного Солнца, Юпитера, пульсаров. Наконец, обнаружена и всесторонне изучается переменность радиоизлучения на сантиметровых и дециметровых длинах волн многих внегалактических объектов — радиогалактик и квазаров.

Важное направление радиоастрономии — радиоспектроскопия, исследование излучения космических объектов в различных радиолиниях, таких, как радиолиния 21 см нейтрального водорода, в линиях возбуждённого водорода, в линиях молекул OH ($\lambda = 18$ см), H_2O ($\lambda = 1{,}35$ см), CO ($\lambda = 2{,}6$ мм) и многих других молекул.

Этапы развития и достижения радиоастрономии

В 1945–1946 гг. была впервые осуществлена радиолокация Луны. В последующие годы этот активный метод исследования тел Солнечной системы позволил с высокой точностью определять расстояния, в частности уточнить астрономическую единицу длины, а также детально изучить строение твёрдых поверхностей ряда планет.

В 1951 г. тремя группами радиоастрономов в Нидерландах, США и Австралии была открыта предсказанная в 1944 г. голландским астрономом ван де Хюлстом радиолиния атомарного водорода 21 см. Возможность её обнаружения в излучении Галактики существовавшими в то время средствами показал И. С. Шкловский в 1948 г. Водород — самый обильный элемент в космическом пространстве. Малая его часть ионизована горячими звёздами, а большая часть примерно поровну состоит из атомарного и молекулярного водорода. Но молекула H_2 не имеет линий в радиодиапазоне, поэтому водород в холодных областях межзвёздной среды виден только в атомарной линии 21 см. Радионаблюдения в этой линии стали важнейшим инструментом исследования межзвёздной среды, дающим важные сведения о кинематике нашей Галактики и соседних звёздных систем.

В 1950-е гг. интенсивно изучалось радиоизлучение Солнца и были открыты его основные особенности. Исследование радиоизлучения Луны позволило, в частности, установить, что её поверхность покрыта значительным слоем пыли. Было обнаружено, что поверхность Венеры имеет высокую температуру (~700 К). Изучались физические условия и на поверхности других планет, в частности Марса и Меркурия. Была открыта обширная магнитосфера планеты Юпитер, а также его мощное спорадическое излучение на декаметровых волнах.

На метровых волнах изучалось фоновое радиоизлучение Галактики, были проведены первые интерферометрические наблюдения, выявившие ряд интенсивных дискретных радиоисточников, составлены их первые каталоги. Отдельные радиоисточники были отождествлены с галактическими остатками вспышек сверхновых звёзд и зонами HII.

В 1951 г. американские астрономы В. Бааде и Р. Минковский отождествили мощный радиоисточник в созвездии Лебедь с далёкой галактикой (радиогалактика Лебедь А). Вскоре были отождествлены радиоисточники с галактиками NGC 4486 (Дева А). NGC 5128 (Кентавр А) и др., началось всестороннее исследование радиогалактик. В 1953 г. обнаружена двойная структура источника в радиогалактике Лебедь А, оказавшаяся типичной для многих внегалактических радиоисточников.

В конце 1950-х — начале 1960-х гг. был проведён ряд детальных обзоров неба, что позволило обнаружить значительное число дискретных радиоисточников. Отметим Кембриджские (Великобритания) обзоры неба и соответствующие каталоги радиоисточников (особенно каталог 3C), обзоры, проведённые в Австралии (MSH и PKS) и США (обзор Национальной радиоастрономической обсерватории NRAO, Калифорнийского технологического института — CT, Огайского университета — O и др.). Методами интерферометрии уточнялись координаты источников, что позволило сделать надёжные оптические отождествления, приведшие к ряду открытий. Число известных (содержащихся в каталогах) дискретных радиоисточников достигло нескольких десятков тысяч. Абсолютное большинство их — внегалактические. Поскольку радиоастрономические методы позволяют проникнуть во Вселенную значительно глубже, чем оптические, радиоастрономия позволяет решать важные космологические проблемы. Попытки такого рода, основанные на подсчётах радиоисточников и анализе зависимости их числа N от наблюдаемого потока F_ν (построение кривых $\lg N - \lg F_\nu$), пока не дали однозначного ответа на вопрос о строении Вселенной. Однако наблюдения свидетельствуют о высокой степени изотропии распределения внегалактических радиоисточников по небу (подтверждая предположение о крупномасштабной изотропии мира), а также о нехватке числа источников с малыми потоками по сравнению с тем числом, которое можно было бы ожидать при их однородном пространственном распределении, например в статической евклидовой модели Вселенной.

Важным достижением теоретической радиоастрономии было установление в 1950-е гг. синхротронной природы радиоизлучения многих космических источников. Изучение распределения радиояркости и областей, обнаруживающих нестационарность радиоизлучения, даёт информацию о вероятных источниках космических лучей. Достаточно хорошо разработанный теоретический аппарат позволяет по наблюдаемым параметрам синхротронного радиоисточника (поток излучения, размеры источника) оценивать напряжённость магнитного поля, концентрацию релятивистских электронов, полное энергосодержание радиоисточников.

Особенно богатыми на открытия были 1960-е гг. В 1963 г. ряд интенсивных радиоисточников был отождествлён с далёкими звездообразными оптическими объектами — квазарами. Методами оптической спектроскопии было установлено, что они имеют значительные красные смещения эмиссионных линий (сейчас известны квазары с красным смещением до 7,1) и, следовательно, находятся на больших космологических расстояниях. Большой интерес, обусловивший всестороннее интенсивное исследование этих необычных объектов, объясняется их необычно мощным излучением в широчайшем диапазоне длин волн — от радио- до рентгеновских, а также тем обстоятельством, что они служат своеобразными пространственными реперами во Вселенной.

В том же году было открыто излучение в радиолиниях гидроксида OH ($\lambda \approx 18$ см). Дальнейшие исследования этого излучения показали, что оно обусловлено мазерным механизмом, а источниками являются очень компактные, богатые моле-

кулами газово-пылевые комплексы вблизи зарождающихся звёзд. В 1964 г. были открыты предсказанные Н. С. Кардашевым радиолинии возбуждённого водорода (рекомбинационные радиолинии), и астрономы получили новый эффективный метод исследования областей ионизованного водорода (зон HII) как в нашей, так и в других галактиках.

В 1965 г. было сделано одно из фундаментальных открытий радиоастрономии — обнаружено реликтовое излучение (космологическое микроволновое фоновое излучение). Это радиоизлучение свидетельствует, что в прошлом расширяющаяся Вселенная была плотной, имела очень высокую температуру вещества, находившегося в равновесии с излучением.

В том же году было сделано ещё одно неожиданное открытие — обнаружена переменность радиоизлучения квазаров и радиогалактик, связанная с мощными выбросами излучающего вещества из активных ядер этих объектов. С тех лет проводятся систематические исследования вариаций потока, а также изменений степени и позиционного угла линейно поляризованной составляющей их радиоизлучения.

В 1967 г. английские радиоастрономы (Дж. Белл, М. Райл, Э. Хьюиш и др.) открыли галактические радиоисточники с импульсным характером излучения — пульсары. Детальные исследования особенностей радиоизлучения пульсаров, наряду с развитием теоретических представлений об этих объектах, позволили надёжно установить, что они представляют собой быстровращающиеся нейтронные звёзды. Была установлена связь пульсаров с остатками взрывов сверхновых звёзд.

В 1969–1971 гг. методом интерферометрии со сверхдлинными базами было обнаружено явление видимого (кажущегося) сверхсветового расширения структур в ядрах квазаров и радиогалактик. Как показали детальные исследования, это расширение носит характер быстрого относительного движения (разделения) отдельных компонентов структуры. Видимая скорость разлёта компонентов варьируется в различных объектах от 4 c до 20 c. Средняя угловая скорость разделения источников составляет 0,17 мс дуги в год, что соответствует видимой скорости разлёта около 6 c. Имеются разнообразные теоретические модели, объясняющие это явление. Наиболее вероятными являются выбросы с релятивистскими скоростями отдельных «плазмонов» (структур, содержащих магнитное поле, плазму и релятивистские частицы) из активных ядер объектов либо инжекция отдельных сгустков релятивистских частиц в регулярно расширяющуюся трубку магнитного поля в полосе его биполярной структуры. При высокой скорости сгустков излучающего вещества ($v \approx c$) и достаточно малых углах φ между лучом зрения и вектором скорости наблюдаемая (кажущаяся) скорость движения проекции на картинную плоскость $v_{\text{наб}} = v \sin\varphi / [1 - (v/c)\cos\varphi]$ может быть во много раз больше скорости света из-за того, что фактор $[1 - (v/c)\cos\varphi] \ll 1$. Отметим, что явление видимого сверхсветового разлёта компактных околоядерных радиоструктур тесно связано с наблюдаемой переменностью радиоизлучения.

В 1970-е гг. не было таких ярких открытий, как в 1960-е гг., хотя исследования космоса методами радиоастрономии продолжались с нарастающей интенсивностью. Был проведён ряд глубоких обзоров локальных областей неба, позволивших обнаружить радиоисточники с потоками вплоть до нескольких десятков и даже единиц миллиянских (мЯн): обзор 5С (Кембридж, Великобритания), обзор на радиотелескопе РАТАН-600 (СССР). Обзоры показали заметный дефицит радиоисточников с малыми потоками. Это, по-видимому, указывает на то, что имеющимися обзорами исчерпываются все мощные далёкие внегалактические радиоисточники (квазары, радиогалактики), вплоть до горизонта Вселенной. Следует также отметить обнаружение линий радиоизлучения разнообразных молекул межзвёздной среды, в том числе сложных органических.

Важные результаты были получены при изучении мощных внегалактических радиоисточников (квазаров и радиогалактик), часто обладающих двойной структурой. Выяснилось, что областями выделения энергии у них являются активные ядра. Очевидно, что существует какой-то механизм переноса энергии из ядер в компоненты двойных структур, в область их «горячих пятен», а уже из них — в протяжённые образования типа «хвостов» и «мостов». Однако неясно, в какой форме и как передаётся эта энергия.

Методом апертурного синтеза в ряде двойных радиоисточников были найдены узконаправленные (коллимированные) выбросы излучающей материи. Эти выбросы тянутся непосредственно от ядер к одному из компонентов двойной структуры. Интересен именно односторонний видимый характер выбросов (всегда контрастно видна одна струя, тянущаяся к одному из двух компонентов). Это можно объяснить либо релятивистской скоростью движения струй как целого, когда из-за эффекта Доплера более интенсивной и потому легче наблюдаемой является струя, движущаяся к наблюдателю, либо анизотропным излучением релятивистских электронов, движущихся от ядер к периферии в «каналах», образованных крупномасштабным магнитным полем.

При большом объёме материала, накопленного за десятилетия наблюдений, мы ещё далеки от правильного понимания большей части явлений, происходящих в различных радиоисточниках. В частности, неясна природа активных ядер, ускорения релятивистских частиц и их «канализации» в протяжённые радиоструктуры, природа магнитных полей и т. п. Радиоастрономия располагает значительным количеством сведений об интегральных характеристиках радиоисточников: спектрах, светимостях, поверхностной яркости, структуре, энергосодержании и т. д. Существуют соотношения между параметрами радиоисточников, которые имеют эволюционный смысл. Однако отдельные известные детали ещё не создают полной картины, и предстоит длительная работа, чтобы соединить все звенья в единую цепь представлений о природе и эволюции космических радиоисточников.

РАДИОГАЛАКТИКА — галактика, отличающаяся необычно сильным радиоизлучением. Обычно это крупные массивные галактики с плотной центральной областью — ядром. У наиболее мощных радиогалактик светимость в радиодиапазоне превышает оптическую светимость. Механизм их радиоизлучения синхротронный, т. е. связан с движением в магнитном поле энергичных электронов, выброшенных из активного ядра галактики. Ближайшие радиогалактики — Кентавр А (NGC 5128) и Дева А (NGC 4486).

РАДИОДИАПАЗОН — наиболее длинноволновый, а значит, самый низкочастотный диапазон электромагнитного излучения. Длина волн в радиодиапазоне — от 10 мм и более, т. е. частота колебаний менее $3 \cdot 10^{10}$ Гц.

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЕ — электромагнитное излучение космических тел в диапазоне длин волн λ от нескольких сотен метров до долей миллиметров. Существуют дискретные источники космического радиоизлучения (радиогалактики, квазары, пульсары и др.) и фоновое излучение. В длинноволновом диапазоне космическое радиоизлучение обусловлено суммарным излучением удалённых радиоисточников. При $\lambda < 50$ см в фоновом космическом радиоизлучении доминирует реликтовое излучение.

РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ СО СВЕРХДЛИННОЙ БАЗОЙ (англ. Very-Long-Baseline Interferometry) — метод синтеза изображений в радиоастрономии, позволяющий при помощи нескольких разнесённых на межконтинентальное расстояние радиотелескопов достигать очень высокого углового разрешения. См. *Интерферометрия со сверхдлинной базой.*

РАДИОЛИНИЯ 21 САНТИМЕТР — спектральная линия атома водорода с дли-

ной волны 21,1 см (частота 1420,4 МГц). Это излучение обусловлено сверхтонким расщеплением основного уровня энергии атома водорода на два близких подуровня. Переход электрона между этими подуровнями состоит в том, что спин электрона меняется из параллельного ядру атома на антипараллельный. Вероятность этого перехода крайне мала, ($3 \cdot 10^{-15}$ с$^{-1}$), но громадное количество атомов водорода во Вселенной приводит к тому, что линия является легко детектируемой и поэтому используется, например, для построения карт распределения водорода в нашей галактике и в соседних.

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ (РАДАРНАЯ) АСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, изучающий небесные тела путём посылки к ним зондирующего радиосигнала и анализа отражённого радиоэха. Система из передатчика, антенны и приёмника — радар может располагаться как на Земле, так и на космическом аппарате. Радарная астрономия, в отличие от радиоастрономии, изучает не собственное радиоизлучение небесных тел, а отражённое от них искусственное радиоизлучение.

Удобство радарного метода состоит в том, что, измеряя время прохождения сигнала туда и обратно, можно с высокой точностью определять расстояние до объекта, а по изменению частоты сигнала находить скорость объекта, используя эффект Доплера. Но поскольку мощность отражённого сигнала быстро убывает с расстоянием, пока радарным исследованиям доступны лишь тела Солнечной системы, да и то не самые далёкие.

История. В 1930-е гг. возникло подозрение, что радиосигналы иногда отражаются от ионизованных метеорных следов в атмосфере; окончательно это подтвердили Чаман Лал и К. Венкатараман в Индии в 1941 г. Первое радиоэхо от метеоров с помощью специальных радаров получили Дж. Хей и Г. Стюарт в Англии в 1946 г. В том же году Джон ДеВитт из Войск связи Армии США и Золтан Бэй в Венгрии осуществили радиолокацию Луны. По существу, это стало первым экспериментом в астрономии; ведь до тех пор астрономы только наблюдали за небесными телами, никак не воздействуя на них. В 1961 г. специалисты Англии, СССР и США почти одновременно предприняли локацию Венеры для измерения расстояния до неё, а повторив эксперимент в 1964 г., довели точность измерения до нескольких километров. С помощью современных радаров проводят также локацию Солнца, Меркурия, Марса, Юпитера и его галилеевых спутников, Сатурна, его колец и спутника Титана, астероидов и ядер комет.

Вслед за радиолокацией началось активное исследование небесных тел с помощью космических зондов. Но и локация осталась очень полезным методом в астрономии. К радиолокации добавилась лазерная локация Луны с использованием доставленных на её поверхность отражателей оптических импульсов. Этот метод позволяет регулярно измерять расстояние между Землёй и Луной с точностью до 1 см, что очень важно для изучения сложного относительного движения этих двух тел.

Аппаратура для регистрации отражённого сигнала. Чтобы сигнал наземного передатчика прошёл не поглотившись сквозь ионосферу Земли, его излучение должно быть достаточно коротковолновым — короче 20 м. Проходя от передатчика до объекта, сигнал распределяется по всё большей площади, при этом его мощность на единицу поверхности уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния. Часть импульса отражается от объекта, и по пути к Земле его мощность вновь уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния. В итоге энергия принятого радиоэха обратно пропорциональна четвёртой степени расстояния до объекта. Вот почему радарные методы применимы лишь для ближайших тел Солнечной системы, но и при этом требуются очень мощные передатчики, гигантские антенны и сверхчувствительные приёмники.

Учитывая, что время пути сигнала до планет велико, используют длинные импульсы, а полосу пропускания приёмников делают широкой, поскольку из-за эффекта Доплера частотный диапазон отражённого сигнала оказывается сдвинутым за счёт движения объекта и расширенным за счёт его вращения (разные части вращающегося объекта движутся с разными лучевыми скоростями).

Метеоры. Для исследования метеоров используются стандартные авиационные радары, но на более длинной волне. Двигаясь с высокой скоростью в атмосфере, метеорные частицы оставляют за собой ионизованный след, от которого отражаются радиоволны. Обычно этот след возникает на высоте 80–110 км и сохраняется от одной до нескольких секунд. По характеру отражённых импульсов можно судить о размере, скорости и направлении полёта частицы, а также о строении атмосферы на этих высотах.

Луна. До полётов на Луну её радиолокация дала много полезных сведений. Используя волны разной длины — от 8 мм до 20 м, — по характеру их взаимодействия с лунной поверхностью узнали её диэлектрическую постоянную, что позволило приблизительно определить состав грунта. По величине рассеяния волн определили степень неровности лунной поверхности. Оказалось, что поверхности материковых и морских районов заметно различаются.

Планеты. Планеты значительно дальше Луны, поэтому для их локации требуется гораздо более мощное оборудование. Например, отражённый сигнал от Венеры в 10 млн раз слабее, чем от Луны. Полёты к планетам требуют точного знания расстояния до них, поэтому в начале 1960-х гг. была значительно увеличена мощность радиолокаторов и с их помощью точно измерено расстояние до Венеры, что позволило уточнить и все прочие расстояния в Солнечной системе, орбиты планет, их диаметры и скорости вращения. О вращении Венеры, покрытой облаками, до этих экспериментов вообще ничего не было известно. Локация показала, что её звёздные сутки длятся в 243 раза дольше земных суток, т. е. на 18 суток дольше венерианского года. Иными словами, один поворот вокруг оси у Венеры занимает больше времени, чем оборот вокруг Солнца. К тому же вращается Венера, как выяснилось, в обратном направлении относительно своего орбитального движения, чем существенно отличается от других планет.

Локация Венеры позволила также впервые «взглянуть» на её поверхность. Это стало возможным, благодаря методу «задержка–смещение», позволяющему узнать, от какой области планеты пришёл отражённый сигнал. Когда радар посылает сигнал к планете, он «освещает» весь её видимый диск коротким импульсом в узком диапазоне частот. Но отражённый сигнал, как мы уже знаем, приходит растянутым по времени и по частоте. Сдвиг по частоте зависит от того, на каком расстоянии от оси вращения планеты лежит отражающая область: чем она дальше, тем больше её скорость и сильнее сдвиг. Все точки диска на полоске диска параллельной оси вращения движутся к нам с одинаковой скоростью, следовательно, отражённые от них сигналы имеют одинаковое доплеровское смещение длины волны. Поскольку планета сферическая, все точки на кольце вокруг центра диска одинаково удалены от Земли, а значит, отражённые от них сигналы придут к нам с одинаковой задержкой времени. Выделяя определённую длину волны и временну́ю задержку, мы получаем сигнал, отражённый двумя областями, где окружность пересекается вертикальной полосой. Чтобы выделить сигнал от каждой из них по отдельности, применяют другую технику — интерферометрию. Так, точка за точкой, получают радарную карту планеты.

С помощью метода «задержка–смещение», суть которого поясняется ниже рисунком, были получены карты Венеры двух типов: на одних показана степень отражения радиоволн от различных участков поверхности, а на других — перепады высот между ними. Вместе они позволяют изучать топографию Венеры, её высокие горы, кратеры и долины, а также судить о структуре её поверхности. На картах, полученных наземными радарами,

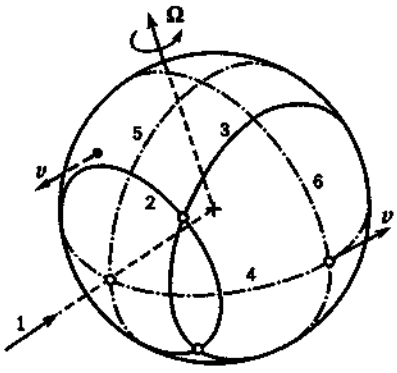
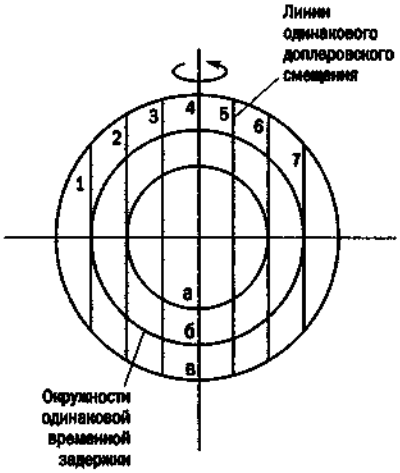


Схема отражения сигнала от поверхности планеты: *1* – направление прихода сигнала (луч зрения); *2* – линия равного запаздывания. *3* – линия равного доплеровского смещения; *4* – видимый экватор планеты; *5* – видимый центральный меридиан; *6* – граница видимого диска планеты (лимб); Ω – вектор угловой скорости видимого вращения; *v* – скорость движения краев видимого диска



Расположение линий равного смещения и равной задержки с точки зрения наблюдателя. Последовательное нарастание запаздывания эха показано буквами: а, б, в. Последовательный сдвиг (в сторону уменьшения) частоты эха показан цифрами: 1...7

мельчайшие детали поверхности Венеры имеют размер 3 км. Но значительно более подробными оказались карты Венеры, полученные радарами с борта межпланетных зондов «Пионер-Венера-1» (NASA, 1978), «Венера-15, -16» (СССР, 1983) и «Магеллан» (NASA, 1990). ставших спутниками Венеры: на лучших из них различимы детали поверхности размером до 100 м.

Радиолокация Меркурия показала, что период его вращения вокруг оси около 59 земных суток и не совпадает с орбитальным периодом длительностью 88 сут, как считалось до этого. Поэтому Солнце освещает оба полушария планеты, а не одно, как думали раньше.

Локация Марса выявила на его поверхности большие перепады высот, до 15 км. Позже наблюдения с орбиты подтвердили, что на Марсе действительно встречаются горы такой высоты. Методом радиолокации изучали также кольца Сатурна, спутники Юпитера, астероиды и ядра комет.

Солнце. Огромный размер Солнца делает его (как и близкую Луну) привлекательным объектом для радиолокации. Однако к Солнцу нужно посылать очень мощный импульс, чтобы отражённый сигнал был различим на фоне собственного радиоизлучения Солнца. Наилучший результат даёт использование длинных волн (5–15 м), поскольку короткие волны поглощаются в солнечной атмосфере. Радарные исследования Солнца дают информацию о структуре его короны и облаках заряженных частиц, которые Солнце выбрасывает в периоды высокой активности.

РАДИОМЕТР – прибор для измерения интенсивности лучистой энергии (*лат. radius* – луч), т. е. электромагнитного излучения, работающий в некоторой области спектра электромагнитных волн. Например, фотометр можно рассматривать как радиометр оптического диапазона. В отличие от радиометра, болометр измеряет интенсивность излучения в очень широком (формально – в полном) диапазоне спектра.

РАДИОПРИЁМНИК – часть радиотелескопа, которая усиливает и преобразует в требуемую форму электрические сигналы, индуцируемые в облучателе приходящим радиосигналом. Большинство радиоприёмников работают на принципе супергетеродина. Гетеродин смешивает принимаемый сигнал и сигнал от внутреннего генератора, имеющий близкую, но несколько иную частоту. Сложение двух близких по частоте сигналов приводит к биению на более низкой, так называемой промежуточной, частоте. Далее сигнал, имеющий промежуточную частоту, подвергается усилению: это проще, чем усиливать сигнал высокой частоты. Радиоприёмник может также фильтровать сигнал и преобразовывать его в напряжение, пропорциональное входной мощности. Конечный выходной сигнал выводится на какое-либо устройство хранения данных, например оцифровывается и записывается в память компьютера.

РАДИОПРОЗРАЧНОЕ УКРЫТИЕ – павильон, часто сферической формы, защищающий антенну радиотелескопа от воздействия внешней среды. Изготавливается из материала, прозрачного для радиоизлучения в области рабочей длины волны радиотелескопа, что позволяет выполнять наблюдения прямо сквозь стену павильона. Поэтому, в отличие от куполов оптических телескопов, укрытия радиотелескопов не имеют открывающихся створок или люков.

РАДИОТЕЛЕСКОП – устройство для сбора, детектирования и усиления длинноволнового электромагнитного излучения. Иногда этапы детектирования и усиления разделяют, называя соответствующую часть инструмента «радиоприёмником», а под термином «радиотелескоп» подразумевают собственно физические структуры, собирающие радиоизлучение. Этими структурами могут быть отражающие параболические антенны, иногда в комбинации с вторичным отражателем по схеме Кассегрена, или менее привычные конструкции, например набор облучателей, выстроенных вдоль фокальной линии параболического цилиндра, или фиксированные параболоиды, питаемые вспомогательными отражателями (радиотелескоп Краусса). В большинстве случаев собирающая часть радиотелескопа имеет большие геометрические размеры, что позволяет сконцентрировать излучение исходно слабых источников и повысить угловое разрешение инструмента. Более высокое разрешение и чувствительность можно получить, комбинируя выходные сигналы двух и более отдельных радиотелескопов: на этом основаны конструкция фазированной решётки, метод интерферометрии и метод апертурного синтеза.

РАДИОТЕЛЕСКОП В АЛГОНКИНЕ – полноповоротный радиотелескоп с параболической антенной диаметром 46 м, установленный в 1966 г. в национальном парке Алгонкин (Algonquin, пров. Онтарио, Канада). Этот радиотелескоп использовался в первых экспериментах по интерферометрии со сверхдлинной базой. В обсерватории имеются и другие радиотелескопы меньшего размера для исследования Солнца и геодезических измерений с использованием системы GPS.

РАДИОТЕЛЕСКОП В АРЕСИБО – крупнейший в мире радиотелескоп с цельным рефлектором, расположенный в естественной карстовой впадине вблизи города Аресибо на севере острова Пуэрто-Рико. Первичный сферический отражатель радиотелескопа имеет диаметр 305 м и лежит неподвижно, направленный в зенит. Над ним на тросовой системе, растянутой на трёх опорах, перемещаются вторичный отражатель системы Грегори с дополнительным зеркалом и приёмники в диапазоне от 3 см до 1 м. Несмотря на то, что главное зеркало телескопа неподвижно, вращение Земли позволяет сканировать участки неба, проходящие через зенит, а использование подвижного облучателя (т. е. приёмной части) даёт возможность отслеживать суточное движение наблюдаемого объекта и увеличивает доступную для наблюдений зону не-

ба вплоть до 20° от зенита. Эффективная площадь главного зеркала 73 тыс. м². Оно собрано из 38 778 перфорированных алюминиевых пластин. Мощные передатчики позволяют использовать эту систему как планетный радиолокатор, а также для передачи посланий внеземным цивилизациям.

РАДИОТЕЛЕСКОП В ПАРКСЕ — полноповоротный радиотелескоп с параболической антенной диаметром 64 м, работающий в радиоастрономической обсерватории Parkes Observatory, расположенной в 20 км к северу от города Паркс (Новый Южный Уэльс, Австралия). Телескоп сооружён в 1961 г. при финансовом участии фондов Карнеги и Рокфеллера. Он участвовал в приёме радиосигналов с Луны в момент посадки на неё первых астронавтов 20 июля 1969 г. В силу своего географического положения (Южное полушарие, удалённость от других континентов), этот телескоп принимает участие во многих кооперативных радиоастрономических проектах (см. с. 6 цветной вкладки).

РАДИОТЕЛЕСКОП ГОМОЛОГИЧЕСКИ ТРАНСФОРМИРУЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ — радиотелескоп с параболической антенной, для которой допускаются расчётные деформации поверхности под влиянием переменных нагрузок силы тяжести при наведении инструмента в различные области неба. Деформации рассчитываются таким образом, чтобы форма антенны при любой её ориентации (обычно при изменении высоты объекта над горизонтом) оставалась параболоидом вращения. Для компенсации изменения в положении фокуса параболоида, возникающего при этих деформациях, перемещают облучатель радиотелескопа.

РАДИОТЕЛЕСКОП «ЛАВЕЛЛ» (Lovell telescope) — первый в мире крупный полноповоротный параболический радиотелескоп, принадлежащий обсерватории Джодрелл-Бэнк Манчестерского университета. Расположен на северо-западе Англии, в графстве Чешир. Первоначально он назывался Марк I; его строительство было закончено в 1957 г. Диаметр его параболической антенны 76 м (250 футов). Сегодня его превзошли по размеру только два полноповоротных радиотелескопа: американский в Грин-Бэнк (с. 6 цветной вкладки) и немецкий в Эффельсберге, так что теперь он третий в мире среди ему подобных. Инструмент установлен на альт-азимутальной монтировке и весит 3200 т. С момента создания радиотелескоп несколько раз модернизировался, в основном для улучшения качества его поверхности. Теперь центральная часть его параболоида фокусирует лучи длиной до 1,3 см. В настоящее время этот радиотелескоп служит составной частью радиоинтерферометра MERLIN. Нынешнее название радиотелескоп получил в честь английского физика и радиоастронома сэра Бернарда Лавелла (р. 1913), который был главным инициатором его создания и директором обсерватории Джодрелл Бэнк с 1945 по 1980 г.

РАЗДЕЛЕНИЕ — угловое расстояние между двумя объектами, например между компонентами двойной звезды, планетой и её спутником и т. п.

РАЗДЕЛЁННЫЙ КРУГ, или координатный круг, — круговая шкала на оси монтировки телескопа, по которой можно определить координаты точки небесной сферы, на которую направлен телескоп. Обычно монтировка телескопа имеет два разделённых круга: у экваториальной монтировки это круги часового угла и склонения, у альт-азимутальной — азимута и высоты.

РАЗРЕШАЮЩАЯ СИЛА, или разрешение, — мера того, насколько мелкие детали можно различить у объекта наблюдения с помощью данного оптического инструмента. Если две звезды видны в телескоп по отдельности на взаимном расстоянии не менее Q угловых секунд, то Q называют «предельным углом разрешения» (или просто разрешением) телескопа, а обратную ему величину $1/Q$ — разрешающей силой телескопа. Для идеального объектива при отсутствии атмосферного размытия изображений в качестве Q принимают угловой радиус первого тёмного кольца в изображении удалённого точечного источника, т. е. радиус диска Эри, иными словами — расстояние первого минимума функции рассеяния точки (ФРТ) данного объектива (*см. Дифракция света*).

РАЗРЕШЁННАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ЛИНИЯ — «нормальная» спектральная линия, возникающая без нарушения каких-либо правил отбора для переходов в квантовых системах (в отличие, например, от запрещённой спектральной линии).

РАЙЕ, Жорж Антуан Пон (Rayet, Georges-Antoine-Pons) (12.12.1839, Бордо, Франция, — 14.06.1906) — французский астроном, директор обсерватории Флуарак (с 1879 г.). Вместе с Ш. Ж. Э. Вольфом открыл (1867) нестационарные звёзды нового типа с широкими эмиссионными линиями в спектре (звёзды Вольфа—Райе), интенсивно теряющие вещество из своей атмосферы.

РАЙЛ, Мартин (Sir Martin Ryle) (27.09.1918, Брайтон, Англия, — 14.10.1984, Кембридж, Англия) — английский радиоастроном. Разработал метод апертурного синтеза, значительно повышающий разрешающую способность радиотелескопов. Исследовал множество космических радиоисточников. Нобелевская премия по физике 1974 г. (совместно с Э. Хьюишем), первая, присуждённая астрономам.

РАЙСКАЯ ПТИЦА — небольшое южное созвездие. Вопреки красивому названию, это созвездие малопривлекательно. Его тусклые звёзды расположились недалеко от полюса мира. Среди них наибольший интерес представляет S Райской Птицы (S Aps), Она относится к очень интересной группе звёзд типа R Северной Короны. Блеск такой звезды может несколько лет держаться почти неизменным, а затем за короткое время ослабевает в десятки, а то и сотни раз. По прошествии нескольких недель, а то и года, звезда возвращается к нормальному состоянию. Временные ослабления яркости снижают блеск звезды S Aps с 10 до 15-й звёздной величины (т. е. в 100 раз), причём в этих изменениях обнаруживается некоторая регулярность с периодом около 113 сут. Астрономы подозревают, что причиной ослабления блеска таких звёзд служит конденсация в их атмосфере вещества, похожего на сажу. Этому способствует избыток у них углерода и невысокая температура атмосферы. Время от времени чёрные облака затягивают небеса этих звёзд, скрывая от нас их яркую фотосферу.

РАЙТ, Томас (Wright, Thomas) (22.09.1711, Байерс-Грин, граф. Дарем, Англия, — 25.02.1786) — английский астроном, математик, механик, архитектор, проектировщик садов. Первым предложил (1750) модель Млечного Пути как состоящего из звёзд кольца или ряда колец. Считал, что туманности являются далёкими звёздными системами.

РАК — зодиакальное созвездие. Согласно мифу, Рак ущипнул Геракла за ногу, когда тот сражался с Гидрой; Геракл раздавил Рака, а Юнона позже поместила его на небо. Это самое неприметное из всех созвездий зодиака: его звёзды можно увидеть лишь в ясную безлунную ночь между Львом и Близнецами. Однако в нём много интересных объектов. Арабское имя звезды α Cnc — Акубенс, что значит «клешня»; это визуальная двойная звезда $4{,}3^m$; её спутник 12^m отстоит на 11″ от главной звезды. Любопытно, что и сама главная также двойная: её два одинаковых компаньона разделены расстоянием в 0,1″. Для любительского телескопа это недоступно. Звезда ζ Cnc — одна из интереснейших кратных систем: две её звезды образуют двойную систему с периодом обращения 59,6 лет, а третий компонент обращается вокруг этой пары с периодом около 1150 лет.

В Раке находятся два известных рассеянных скопления. Одно из них — Ясли (Praesepe, M44), которое иногда называ-

ют Улей. Оно различимо глазом как туманное пятнышко чуть к западу от линии, соединяющей звезды γ и δ Рака. Первым разрешил это скопление на звёзды Галилей. В современный телескоп в нём наблюдается около 350 звёзд в диапазоне блеска от $6{,}3^m$ до 14^m, причём около 200 из них являются членами скопления, а остальные — более близкие или далёкие звёзды, случайно наблюдаемые в проекции на скопление. Ясли — одно из ближайших к нам звёздных скоплений: расстояние до него 520 св. лет, поэтому его видимый на небе размер весьма велик — втрое больше лунного диска. Второе скопление M67, расположенное на 1,8° к западу от звезды α Спс, удалено на 2600 св. лет и содержит около 500 звёзд от 10^m до 16^m. Это одно из самых старых рассеянных скоплений, его возраст более 3 млрд лет. Для сравнения: Ясли — скопление среднего возраста, ему всего 660 млн лет. Большинство рассеянных скоплений движется в плоскости Млечного Пути, но M67 значительно удалено от неё, и это не случайно: вдали от плотного галактического диска скопление меньше разрушается и дольше живёт.

Географические понятия «тропик Рака» и «тропик Козерога» возникли несколько тысячелетий назад, когда точка летнего солнцестояния располагалась в созвездии Рака, а точка зимнего солнцестояния — соответственно в Козероге. Прецессия земной оси нарушила эту картину. Теперь географы называют эти линии на глобусе, удалённые от экватора на 23,5°, Северным и Южным тропиками.

РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ — многоступенчатая ракета, предназначенная для выведения в космическое пространство полезных нагрузок: космических аппаратов, технических устройств, предметов, веществ, материалов. Обычно она имеет от двух до пяти ступеней. Носители классифицируют по массе полезной нагрузки, которую они могут вывести на круговую орбиту минимально возможного радиуса с высотой около 200 км над поверхностью Земли. Можно выделить четыре их типа: лёгкий — типа «Космос-2», «Taurus», «Pegasus», «Conestoga», «J-1», «M-5» с грузоподъёмностью от 0,5 до 1,5 т; средний — типа «Союз», «Молния», «Циклон-2, «Delta-2», «Atlas» с грузоподъёмкостью от 3,5 до 7,5 т; тяжёлый — типа «Протон, «Зенит-2», «Titan-4», «Delta-3», «Ariane-5» с грузоподъёмностью от 10 до 25 т; сверхтяжёлый — типа «Энергия», «Saturn-5» с грузоподъёмностью от 80 до 120 т. Кроме того, в России начинают использовать для запусков космических аппаратов конверсионные, снятые с вооружения, ракеты: «Старт», «Рокот», «Днепр» с грузоподъёмностью от 1 до 4,2 т.

После вывода ракетой-носителем полезной нагрузки на промежуточную орбиту для дальнейших манёвров — выведения космического аппарата на рабочую орбиту или межпланетную траекторию — часто применяются разгонные блоки. В сущности, они представляют собой последние ступени ракет-носителей. Иногда для таких манёвров применяются собственные, называемые маршевыми, ракетные двигатели космического аппарата.

РАССЕКАТЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ — оптическое устройство, используемое для расщепления изображения звезды на ряд тонких прилегающих друг к другу отрезков. Круглое изображение превращается при этом в линейное. Это позволяет весь свет звезды, собранный телескопом, пропустить в щель спектрографа.

РАССЕЛ, Генри Норрис (Russell, Henry Norris) (25.10.1877, Ойстер-Бей, шт. Нью-Йорк, — 18.02.1957, Принстон, шт. Нью-Джерси, США) — американский астроном. Учился у Чарлза Юнга в Принстонском университете и у Роберта Болла в Кембриджском университете. В 1905 г. сменил Юнга в должности профессора астрономии и директора обсерватории в Принстоне. С 1947 г. был также сотрудником Гарвардской обсерватории. Внёс фундаментальный вклад в теорию звёздной эволюции. Независимо от Герцшпрунга открыл, что звезды делятся на два класса — гигантов и карликов (см. *Диаграмма Герцшпрунга–Рассела*). Считал, что гиганты — это сжимающиеся и поэтому разогревающиеся звезды, а карлики — остывающие звёзды. Его теорию звёздной эволюции критиковал Артур Эддингтон. В 1925 г. Рассел пересмотрел свою теорию, предположив существование у звёзд неизвестных источников энергии (теория ядерных реакций в то время ещё не была разработана).

РАССЕЯННЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ (или просто «рассеянные скопления») — звёздные скопления в дисках спиральных и неправильных галактик, обычно состоящие из нескольких сотен или тысяч звёзд молодого или умеренного возраста (от 10 до 100 млн лет). Рассеянные скопления имеют меньшую плотность и выглядят более разреженными, чем шаровые скопления.

До середины XX в. рассеянные скопления нередко называли «галактическими скоплениями» по причине их видимой концентрации к Млечному Пути, т. е. к плоскости Галактики. Однако в последние десятилетия этот термин почти не употребляется. В то же время журналисты и физики нередко переводят английский термин «galactic cluster» (скопления галактик) как «галактические скопления», что неверно, ибо приводит к путанице. Кроме того, в англоязычной научной литературе для рассеянных звёздных скоплений используется термин «open cluster», который в нашей научно-популярной литературе иногда переводят как «открытое скопление», что тоже неверно. В профессиональной русскоязычной астрономии нет термина «открытое скопление», а есть только «рассеянное скопление».

Поскольку в большинстве областей Млечного Пути межзвёздное поглощение света очень велико, рассеянные скопления в нашей Галактике открыты и изучены весьма неполно: их популяция с высокой полнотой прослежена лишь до расстояния 700–800 пк от Солнца, а дальше известны только отдельные (наиболее молодые и богатые звёздами) скопления. Всего обнаружено около 1800 рассеянных скоплений, находящихся в основном в пределах 2 кпк от Солнца, а исследовано из них около 800. Ожидаемое число рассеянных скоплений в Галактике около 20 тыс. Даже в тех направлениях, где поглощение света не очень велико, далёкие скопления не обнаруживаются из-за высокой звёздной плотности Млечного Пути, на фоне которого далёкие скопления теряются. Два самых близких к нам рассеянных скопления — Плеяды и Гиады — без труда видны невооружённым глазом в созвездии Телец. Ближайшее из них — Гиады — находится на расстоянии 47 пк (= 153 св. года).

Несмотря на то, что такие скопления называют «рассеянными», это гравитационно связанные группы звёзд, имеющих близкий химический состав и возраст; т. е. несомненно имеющие общее происхождение.

Обычно в рассеянных скоплениях насчитывается от 100 до 1000 звёзд, но известны скопления, содержащие ~10^4 членов. Типичная масса скоплений ~10^3 масс Солнца, а концентрация звёзд около 1 пк$^{-3}$, что примерно на порядок выше, чем у звёзд поля. Рассеянные скопления состоят из относительно плотного ядра и более разреженной короны, содержащей, однако, сравнимое с ядром число звёзд. В среднем радиус ядра ≈3 пк, радиус короны в 2–10 раз больше (это зависит от массы скопления).

Для рассеянных скоплений характерен чрезвычайно разнообразный звёздный состав. В них наблюдаются голубые и красные сверхгиганты, гиганты, двойные и магнитные звёзды, различные переменные звёзды — цефеиды, вспыхивающие и др. В отличие от шаровых звёздных скоплений, рассеянные скопления сильно концентрируются к плоскости Галактики. Для большинства из них расстояние от галактической плоскости составляет не более 100–300 пк. Как и другие объекты плоской составляющей, эти скопления участвуют в обращении вокруг центра Галактики. Дисперсия пространственных скоростей рассеянных скоплений невелика — около 15 км/с, их орбиты

характеризуются малым эксцентриситетом. Молодые скопления служат довольно хорошими индикаторами спиральной структуры Галактики.

В отличие от шаровых скоплений, у рассеянных намного разнообразие вид диаграмм Герцшпрунга–Рассела, что связано с большой дисперсией возрастов рассеянных скоплений. Возраст самых молодых скоплений оценивается в несколько миллионов лет, а самых старых – в 5–10 млрд лет. Химический состав рассеянных скоплений весьма однороден – металличность скоплений (т. е. содержание в звёздах элементов тяжелее гелия) различается не более чем в 5 раз и в среднем близка к солнечной. Для сравнения: металличность звёзд шаровых скоплений может различаться в 20–30 раз, и в среднем она на 1–2 порядка меньше, чем у Солнца. Обнаружена связь между химическим составом рассеянных скоплений и их пространственным положением: металличность скоплений уменьшается с увеличением расстояния от центра Галактики и от плоскости диска. По-видимому, имеется зависимость между возрастом скоплений и их химическим составом: у старых скоплений металличность в среднем меньше.

Для определения расстояний до скоплений особую ценность имеют диаграммы «показатель цвета – видимая звёздная величина» (С–М, от *color–magnitude*) для звёзд скопления. Из-за малости размеров скоплений по сравнению с их расстоянием до Солнца диаграммы С–М рассеянных скоплений представляют собой узкую полосу точек, лежащую параллельно начальной главной последовательности (НГП). Верхняя часть главной последовательности (ГП) на этих диаграммах обычно отклоняется вправо, в область гигантов или сверхгигантов. Относительная узость диаграмм С–М скоплений позволяет с большой точностью определять расстояние до них путём совмещения основной (нижней) части ГП скоплений со стандартной НГП.

Благодаря перечисленным свойствам рассеянные скопления играют важную роль в решении многих проблем астрофизики. Для теории внутреннего строения и эволюции звёзд эти скопления служат пробным камнем: большие различия в возрасте звёзд разных скоплений и близость их в одном и том же скоплении позволяют непосредственно сравнивать выводы теории эволюции звёзд с данными наблюдений. Так, указание на генетическую связь красных гигантов и звёзд ГП, давшее толчок развитию теории внутреннего строения звёзд, было получено на основе анализа диаграмм Герцшпрунга–Рассела рассеянных скоплений.

Не менее важны для теории образования звёзд наблюдения молодых и формирующихся скоплений. Статистические исследования звёзд в молодых скоплениях дают информацию о начальной функции масс – распределении количества образующихся звёзд (N) по их массам (M). Для звёзд с массами от 1 до 25 $M_\odot$ начальная функция масс определена наиболее надёжно: её можно представить степенной функцией $dN/dM \sim M^{-7/3}$.

Возможность надёжно определять расстояния до рассеянных скоплений, их возраст, химический состав и другие параметры помогает решать широкий класс задач по изучению структуры и эволюции Галактики, определению характеристик звёзд с повышенной металличностью, цефеид, белых карликов и других интересных объектов. К тому же рассеянные скопления играют важную роль при построении шкал спектральных и фотометрических калибровок. Фундаментом современной шкалы расстояний до космических объектов служит шкала расстояний до рассеянных звёздных скоплений.

РАССТОЯНИЯ ДО КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ – одна из самых важных и трудно определяемых характеристик космических объектов. От правильного определения расстояния до космического объекта зависит наше знание о его важнейших физических характеристиках – массе, светимости, космологическом возрасте и пр. Даже наши представления о прошлой и будущей эволюции Вселенной целиком основываются на измерении расстояний до далёких галактик.

Главная трудность при измерении космических расстояний заключается в их огромных значениях. Это исключает большинство обычных, «земных» методов измерения и требует развития специальных астрономических методов, нередко основанных на множестве предположений. Хотя эти методы опираются на прямые наблюдательные измерения высочайшей, «астрономической», точности, их конечные результаты нередко обладают невысокой точностью и требуют подтверждения другими, независимыми методами. Поэтому не удивительно, что одни и те же расстояния иногда заметно различаются в зависимости от избранной методики измерений: удивительно, что эти гигантские расстояния астрономы вообще научились измерять, и год от года точность измерений становится всё выше.

В астрономии нет универсального способа определения расстояний. По мере перехода от близких небесных тел к более далёким одни методы определения расстояний сменяются другими, служащими, как правило, основой для последующих. Точность оценки расстояний ограничивается либо точностью самого грубого из методов, либо точностью измерения астрономической единицы длины: 1 а. е. = 149 597 870 ± 2 км (см. *Астрономическая единица*).

Определение расстояний до планет

Среднее расстояние r планеты от Солнца (в долях а. е.) находят по периоду её обращения T:

$$r = [T^2(1 + M/M_\odot)]^{1/3} \approx T^{2/3}, \qquad (1)$$

где r выражено в а. е., а T – в земных годах. Массой планеты M по сравнению с массой Солнца $M_\odot$ можно пренебречь. Формула (1) следует из 3-го закона Кеплера. Расстояния до Луны и ближайших планет с высокой точностью определены методами радиолокации.

Определение расстояний до ближайших звезд

Вследствие годичного движения Земли по орбите близкие звёзды немного перемещаются относительно далёких «неподвижных» звёзд. За год такая звезда описывает на небесной сфере малый эллипс, размеры которого тем меньше, чем дальше звезда. В угловой мере большая полуось этого эллипса приблизительно равна величине максимального угла, под каким со звезды видна 1 а. е. (большая полуось земной орбиты), перпендикулярная направлению на звезду. Этот угол (p), называемый годичным или тригонометрическим параллаксом звезды, служит для измерения расстояния до неё на основе тригонометрического соотношений между сторонами и углами треугольника Земля–Солнце–звезда, в кототом известен угол p и базис – большая полуось земной орбиты.

Расстояние r до звезды, определяемое по величине её тригонометрического параллакса p, равно:

$$r = 206265''/p \text{ (а. е.)}, \qquad (2)$$

где параллакс p выражен в угловых секундах, а число 206265 – округленное количество угловых секунд в радиане (более точное его значение – 206264,806247...). Замечание: в старых книгах параллакс часто обозначали буквой π, не имеющей отношения к известной математической константе; во избежание путаницы рекомендуется обозначать параллакс буквой p.

Для удобства определения расстояний до звёзд с помощью параллаксов в астрономии применяют специальную единицу длины – парсек (пк). Звезда, находящаяся на расстоянии 1 пк, имеет параллакс, равный 1″. Согласно формуле (2), 1 пк = 206 265 а. е. = $3{,}0857 \cdot 10^{16}$ м. Связь между параллаксом и расстоянием, выраженным в парсеках, ещё проще:

$$r = 1/p \text{ (пк)}. \qquad (3)$$

Наряду с парсеком применяется ещё одна внесистемная единица расстояний – световой год, он равен 0,3066 пк, или $9{,}46053 \cdot 10^{15}$ м. Ближайшая к Солнечной системе звезда – красный карлик 11-й звёздной величины Проксима Кентавра; её параллакс 0,769″, т. е. расстояние до неё равно 1,301 пк или 4,24 св. года.

Нижний предел измерений тригонометрических параллаксов с поверхности Земли ~0,01″, поэтому так можно измерять расстояния, не превышающие 100 пк (с относительной погрешностью 50%). Лишь на расстояниях до 20 пк относительная погрешность не превышает 10%. Первый же опыт измерения параллаксов за пределом атмосферы, с помощью спутника Hipparcos, позволил понизить указанный предел до 0,001″, т. е. прямым тригонометрическим методом измерить расстояния до 1000 пк. В этом диапазоне с помощью спутника Hipparcos измерены расстояния до 120 тыс. звёзд с блеском вплоть до 12^m. Расстояния до более далёких звёзд определяют в основном фотометрическим методом (см. ниже).

Кроме параллактических смещений близких звёзд можно отметить лишь два случая, когда видимые перемещения деталей космических объектов по небу можно также использовать для точного определения расстояний до них. Это – несколько движущихся близких звёздных скоплений и быстро перемещающиеся газовые оболочки или сгущения. Примером служат новые и сверхновые звёзды, для разлетающихся оболочек которых наряду с видимой скоростью расширения в угловых секундах можно спектральным способом определить радиальную скорость расширения.

Фотометрический метод определения расстояний

Освещённости, создаваемые одинаковыми по мощности источниками света, обратно пропорциональны квадратам расстояний до них. Следовательно, видимый блеск одинаковых светил (т. е. освещённость, создаваемая у Земли на единичной площадке, перпендикулярной лучам света) может служить мерой расстояний до них. Выражение освещённостей в звёздных величинах (m – видимая, M – абсолютная звёздная величина) приводит к следующей основной формуле фотометрических расстояний $r_ф$ (пк):

$$\lg r_ф = 0{,}2\,[m - M - A(r)] + 1, \qquad (4)$$

где $A(r)$ – межзвёздное поглощение света в пространстве между звездой и наблюдателем, выраженное в звёздных величинах

Для светил, у которых уже известны тригонометрические параллаксы, можно, определив M по этой же формуле (4), сопоставить физические свойства с абсолютными звёздными величинами. Это сопоставление показало, что абсолютные звёздные величины многих классов светил (звёзд, галактик и др.) можно оценивать по ряду их физических свойств.

Основным способом оценки абсолютных величин звёзд служит спектральный способ: в спектрах звёзд одного и того же спектрального класса обнаружены особенности, указывающие на их абсолютные величины. Чаще всего это усиление линий ионизованных атомов с возрастанием светимости звёзд (например, эффект Уилсона–Баппу). По таким признакам звёзды разделены на классы светимости (см. *Классы светимости*). По классам и более мелким подклассам светимости, оцениваемым по спектрам звёзд, можно находить их абсолютные величины с погрешностью до $0{,}5^m$. Эта погрешность соответствует относительной погрешности ≈30% при определении $r_ф$ по формуле (4).

Для определения расстояний до звёздных скоплений имеется особый способ, использующий диаграмму «видимая величина – показать цвета» звёзд скопления. Она сравнивается с диаграммой «абсолютная величина – показать цвета», которая составлена по звёздам того же типа близких к нам скоплений (см. *Диаграмма Герцшпрунга–Рассела*). Сдвиг между сравниваемыми диаграммами по вертикали равен модулю расстояния ($m-M$), по которому при помощи формулы (4) и находят фотометрическое расстояние $r_ф$ звёздного скопления (с относительной погрешностью ≈ 20%).

Важный метод определения фотометрических расстояний в Галактике и до соседних звёздных систем – галактик – основан на характерном свойстве переменных звёзд – цефеид. Короткопериодические цефеиды с периодами колебания блеска менее суток в среднем имеют абсолютную величину $+0{,}75^m$ (см. *Переменные звёзды типа RR Лиры*). Они встречаются в шаровых звёздных скоплениях, в центральной области и сферическом гало Галактики и относятся к её звёздному населению II типа. По этим звёздам в конечном счёте найдены расстояния до шаровых звёздных скоплений и установлено расстояние от Солнца до центра Галактики.

Для классических долгопериодических цефеид (периоды колебаний от 1 до 146 сут), относящихся к звёздному населению I типа (плоской составляющей Галактики). установлена важная зависимость период–светимость, согласно которой чем короче период колебаний блеска, тем меньше светимость цефеиды. С помощью этой зависимости можно определить абсолютные величины цефеид по длительности их периодов колебаний блеска и, следовательно, фотометрические расстояния до цефеид и звёздных скоплений, спиральных рукавов и звёздных систем, где они наблюдаются (см. *Зависимость период–светимость*). Погрешность определения расстояний по цефеидам составляет для звёздных скоплений в среднем 40% (в отдельных случаях меньше).

Определение внегалактических расстояний

Расстояния до ближайших галактик были установлены по оценкам видимых звёздных величин цефеид и ярчайших звёзд в этих звёздных системах. Более тысячи цефеид найдено в Магеллановых Облаках, несколько сотен – в Туманности Андромеды. Цефеиды обнаружены также во многих неправильных и спиральных галактиках, находящихся в радиусе около 30 Мпк вокруг нашей Галактики. Погрешность определения расстояний по ним составляет около 7%, увеличиваясь до 15% на максимальных расстояниях, где они ещё видны.

В системах, где не удаётся обнаружить цефеиды, ищут ярчайшие звёзды – сверхгиганты и гиганты высших классов светимости. Ярчайшие сверхгиганты обнаружены во многих спиральных и неправильных галактиках в радиусе до 10 Мпк (их абсолютные величины: от -9^m до -10^m). В эллиптических галактиках население I типа (долгопериодические цефеиды, сверхгиганты и горячие газовые туманности) отсутствует. Однако небольшие эллиптические галактики нашей Местной группы на фотографиях разделяются на звёзды, ярчайшие из которых оказались красными гигантами, аналогичными гигантам в шаровых звёздных скоплениях нашей Галактики. Абсолютная величина этих гигантов достигает -2^m, радиус обнаружения – около 10 Мпк. По красным гигантам удаётся оценивать фотометрические расстояния до эллиптических галактик внутри Местной группы галактик и по соседству с ней с погрешностью ≈20%.

В качестве индикаторов расстояний используются также вспышки новых и сверхновых звёзд. Новые позволяют определять расстояния до 20 Мпк с погрешностью около $0{,}4^m$. Вспышки сверхновых – один из самых «дальнобойных» индикаторов расстояния. Например, сверхновые типа Ia используются для измерения расстояний более 1000 Мпк.

В некоторых галактиках наблюдаются яркие газовые туманности. Оказалось, что линейные размеры наибольших туманностей в галактиках почти одинаковы. Поэтому, измерив угловой размер d'' ярчайшей туманности в какой-либо галактике, можно определить расстояние r до этой галактики. Данный способ применим к спиральным и неправильным галактикам до расстояний ≈15 Мпк. Погрешность этого метода – не менее 10%.

До остальных галактик фотометрические расстояния можно определять более грубым способом по оценке интегральной звёздной величины галактики. По особенностям внешнего вида спиральных галактик (толщина, длина спиральных рукавов, поверхностная яркость и т. п.) часто можно грубо оценить светимость галактики или, по крайней мере, установить, что галактика не относится к числу карликовых. В последнем случае её абсолютную интегральную величину можно условно принять равной -20^m (среднее значение для галактик-гигантов) и по видимой величине грубо оценить расстояние.

На больших расстояниях (>1000 Мпк) видимый блеск галактик и других космических объектов ослабляется не только в силу фотометрического закона квадрата расстояния, но также, помимо поглощения света, вследствие красного смещения — «покраснения» далёких источников излучения, отражающего расширение Вселенной, что приходится учитывать при определении фотометрических расстояний.

Определение расстояний по красному смещению

Сравнение фотометрических расстояний до галактик с величиной смещения z их спектральных линий к красному концу спектра показало, что величина $z=(\lambda_{\text{прин}}-\lambda_{\text{испущ}})/\lambda_{\text{испущ}}$ пропорциональна расстоянию r (закон Хаббла): $z=H_0r/c$, где H_0 – постоянная Хаббла. Отсюда получается формула для определения расстояний до далёких галактик и квазаров:

$$r=cz/H_0 \text{ (Мпк)}. \qquad (5)$$

В пределах гравитационно связанных систем галактик (пар, групп, скоплений) эта зависимость неприменима из-за собственных скоростей галактик в этих системах. Определение расстояний до сравнительно близких галактик по формуле (5) требует также учёта движения нашей Галактики в Местной группе галактик и Местной группы относительно окружающих галактик (эта скорость составляет несколько сотен км/с).

Проверка пропорциональности красного смещения фотометрическому расстоянию для галактик и радиогалактик, предельно доступных наблюдениям в телескопы, в основном подтвердила закон Хаббла. Однако расстояние, определённое по красному смещению (хабловское), уже нельзя считать фотометрическим, хотя H_0 и получена по фотометрическим расстояниям галактик. До 1000 Мпк система внегалактических расстояний (фотометрических и хабловских) проверена прямыми определениями расстояний до сверхновых звёзд по измерениям температур их поверхности и скоростей расширения оболочек. Надёжных оценок значительно больших расстояний пока нет. Для галактик с $z>0{,}5$ зависимость (5) принимает более сложный вид и неодинакова для различных космологических моделей Вселенной.

РАСТУЩАЯ ЛУНА (или планета) — фаза Луны, а также планет Меркурий и Венера, при которой освещено более половины диска планеты, и при этом освещённая часть увеличивается. Луна в промежутке между первой четвертью и полнолунием называется растущей. Внешние планеты всегда находятся в растущей или убывающей фазах (за исключением моментов соединения и противостояния). Для внешних планет фазы, заметно отличающиеся от полной, наблюдаются только у Марса.

РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ — увеличение со временем средних расстояний между галактиками или их скоплениями. Проявляется в том, что далёкие галактики обладают красными смещениями, свидетельствующими (в соответствии с эффектом Доплера) об их удалении от наблюдателя, причём скорости удаления (для не слишком больших красных смещений) пропорциональны расстояниям до объектов. Расширение Вселенной не затрагивает отдельные галактики или их системы (двойные галактики, группы и скопления галактик), где объекты связаны друг с другом гравитационными силами. Расширение Вселенной описывается космологическими теориями как проявление нестационарности Вселенной.

РАТАН-600 — радиотелескоп Специальной астрофизической обсерватории РАН на Северном Кавказе. Его отражатель составлен из почти 900 панелей с индивидуальным управлением, расположенных в виде кольца диаметром около 600 м.

РАХМАГУПТА (Brahmagupta) (598 – ок. 665), последний и наиболее выдающийся из древних индийских математиков и астрономов. Родом из Уджайна в Средней Индии; возглавлял там астрономическую обсерваторию. В 628 г. изложил четвёртую индуистскую астрономическую систему в стихотворной форме в сочинении «Открытие Вселенной» (Брахма-спхута-сиддханта). Две главы посвящены математике, включая арифметическую прогрессию, квадратное уравнение и доказательство различных геометрических теорем о прямоугольном треугольнике, о площадях треугольников и четырёхугольников, о поверхностях и объёмах. Остальные 23 главы посвящены астрономии: в них описаны фазы Луны, соединения планет, солнечные и лунные затмения, расчёты положений планет. Этот его труд был переведён на арабский и таким образом попал в Египет, а оттуда в Европу.

РЕАКЦИИ СКАЛЫВАНИЯ — ядерные реакции, в которых лёгкая частица высокой энергии, сталкиваясь с тяжёлым ядром, выбивает из него сравнительно лёгкий осколок (ядро лёгкого элемента). В ядерной астрофизике реакции скалывания привлекают для объяснения образования лёгких элементов: D, Li, Be, B, а также аномалий в химическом составе магнитных звёзд. При этом предполагается, что реакции скалывания вызываются протонами, ускоренными в переменных электромагнитных полях во внешних слоях звёзд. Протоны с энергиями выше 20 МэВ могут вызывать реакции скалывания всех без исключения тяжёлых ядер, но наибольшее значение имеют реакции скалывания с участием самых распространённых ядер – ядер атомов C, N, O, Fe. Высокое содержание Li в молодых звёздах (в особенности в звёздах типа T Тельца) может объясняться реакциями скалывания на ранних стадиях эволюции звёзд. Впрочем, не исключено, что в этих звёздах первичный Li просто не успел ещё «сгореть» в термоядерных реакциях.

Столь же высокое содержание Li и преобладание нечётных изотопов Li и B в веществе Земли и метеоритов могут быть объяснены реакциями скалывания в процессе образования Солнечной системы, когда ускорение частиц происходило в тех же магнитных полях, какие обеспечивали передачу вращательного момента от молодого Солнца рождающимся планетам.

РЕБЕР, Гроут (Reber, Grote) (22.12.1911, Уитон, шт. Иллинойс, США, – 20.12.2002, Тасмания, Австралия) — американский радиоинженер, один из пионеров радиоастрономии. В юности был радиолюбителем-коротковолновиком. В 1933 г. окончил Иллинойский технологический институт. С 1933 по 1947 г. сотрудник радиотехнических фирм в Чикаго. С 1948 г. работал в Национальном бюро стандартов. Заинтересовавшись природой космического радиоизлучения, открытого К. Янским в 1932 г., Ребер хотел продолжить эти исследования и предлагал свои услуги фирме «Bell Laboratories», где работал Янский, а также некоторым астрономическим обсерваториям, но нигде не получил работу в связи с тяжёлым экономическим кризисом. В 1937 г. самостоятельно спроектировал и построил во дворе своего дома в Уитоне (пригород Чикаго) первый радиотелескоп с параболической антенной диаметром 9,5 м и фокусным расстоянием 6 м. До начала 1940-х гг. Ребер был единственным в мире, кто вёл радиоастрономические наблюдения. Параболический рефлектор его антенны фокусировал слабое космическое радиоизлучение любых частот и позволял размещать в фокусе антенны любые приёмники. Первые два приёмника Ребера на частотах 3300 и 900 МГц не смогли зафиксировать космическое излучение и ловили только земные помехи. Третий приёмник, рассчитанный на частоту 160 МГц (длина волны 1,9 м), зарегистрировал в 1938 г. излучение Млечного Пути, подтвердив открытие К. Янского.

С 1938 по 1943 г. Ребер провёл первый обзор неба в радиодиапазоне, составив радиокарту Млечного Пути и обнаружив мощные источники излучения в созвездиях Лебедь и Кассиопея. Он первым стал выражать интенсивность космического радиоизлучения в единицах плотности потока и яркости; первым обнаружил, что галактическое радиоизлучение имеет нетепловую природу. Свои ре-

зультаты он публиковал в радиотехнических и астрономических журналах: с его статей, опубликованных в 1940 и 1944 гг. в «Astrophysical Journal», по существу, началось развитие радиоастрономии. В 1942 г. он опубликовал первую радиокарту неба. В 1944 г. первый сообщил об открытии радиоизлучения Солнца, которое в 1942 г. наблюдали также Дж. С. Хей и Дж. Саутуорт. В 1946–1948 гг. Ребер изучил и описал вспышки солнечного радиоизлучения. Ребер участвовал в радиоастрономических экспедициях на Гавайские острова и на остров Тасмания. Он награждён медалью им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1962); после У. Хёггинса он стал вторым любителем астрономии, удостоенным этой престижной награды. В его честь назван астероид № 6886 Грот.

РЕГМАГЛИПТЫ (от греч. *rhegma* – трещина, царапина, рана и *glyptós* – вырезанный, изваянный) – мелкие углубления на поверхности метеоритов, возникающие при их быстром движении в атмосфере планеты.

РЕГОЛИТ (от греч. *rhegos* – покрывало и *lithos* – камень) – рыхлый материал, покрывающий поверхность небольших безатмосферных планет (Меркурий, Луна и т. п.) и астероидов. Это разнозернистый обломочно-пылевой материал, обломки которого представлены породами и минералами, стеклом, литифицированными брекчиями, фрагментами метеоритов. Насыщен инертными газами. Формируется под воздействием внешних факторов, в основном метеоритной бомбардировки, приводящей к дроблению, плавлению, испарению, перемешиванию и спеканию вещества. На Луне мощность реголита – от долей метров до десятков метров.

РЕГУЛ – α Льва, звезда 1,4 звёздной величины, удалённая от Солнца на 78 св. лет. Его светимость в 160 раз выше солнечной. У древних персов Регул слыл одной из четырёх «царских звезд»; другие три – Альдебаран (α Тельца), Антарес (α Скорпиона) и Фомальгаут (α Южной Рыбы). Иногда Регул называют «Сердцем Льва» (Cor Leonis).

РЕЗЕЦ – южное созвездие, введённое Н. Лакайлем в 1756 г. Этот «инструмент гравёра» представляет собой маленькую, почти пустую область к юго-западу от Зайца. Это одно из самых невыразительных созвездий.

РЕЙНМУТ, Карл (Reinmuth, Karl Wilhelm) (4.04.1892, Гейдельберг, Германия, – 6.05.1979, Гейдельберг, Германия) – немецкий астроном. За 1914–1957 гг. открыл 382 астероида (рекордное количество) и несколько комет (1928, 1947).

РЕКОМБИНАЦИЯ – процесс, обратный ионизации, т. е. захват ионом свободного электрона с последующим освобождением энергии, как правило, в виде электромагнитного излучения.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – фоновое космическое радиоизлучение, которое образовалось на ранних стадиях развития Вселенной. Это электромагнитное излучение приходит к Земле с одинаковой интенсивностью со всех областей неба и имеет спектр, соответствующий тепловому излучению при температуре 2,725 ± 0,002 К. Поскольку источник реликтового излучения лежит дальше всех известных объектов, а максимум в спектре приходится на длину волны 1 мм, его называют также «космическим микроволновым фоновым излучением» (cosmic microwave background radiation, CMBR) или «космическим микроволновым фоном». Термин «реликтовое излучение» ввёл советский астрофизик И. С. Шкловский (1916–1985), поэтому он чаще используется в русскоязычной литературе.

Существование теплового излучения с температурой в несколько кельвинов было предсказано в 1946 г. Георгием Гамовым при разработке модели горячей Вселенной, а открыли его в 1965 г. радиоастрономы Арно Пензиас и Роберт Вилсон (США). Реликтовое излучение родилось около 14 млрд лет назад, когда Вселенная в целом была значительно плотнее и горячее, чем в нынешнюю эпоху. Тогда это было оптическое излучение горячего газа с температурой в несколько тысяч кельвинов, практически однородно заполнявшего всю Вселенную. В ходе расширения Вселенной температура реликтового излучения уменьшилась примерно в тысячу раз.

Точные измерения показали, что температура реликтового излучения в разных точках неба не совсем одинакова. Заметнее всего проявляется дипольная составляющая, связанная с эффектом Доплера. Солнечная система движется так, что амплитуда дипольной составляющей температуры реликтового излучения $\Delta T = 3{,}35$ мК; это соответствует скорости движения $V = 366$ км/с. Движется Солнце относительно излучения в направлении границы созвездий Льва и Чаши, к точке с экваториальными координатами $\alpha = 11^h 12^m$ и $\delta = -7{,}1°$ (эпоха J2000,0); что соответствует галактическим координатам $l = 264{,}26°$ и $b = 48{,}22°$.

Учёт движения самого Солнца в Галактике показывает, что относительно всех галактик Местной группы Солнце движется со скоростью 316 ± 5 км/с в направлении $l = 93 \pm 2°$ и $b = -4 \pm 2°$. Поэтому движение самой Местной группы относительно реликтового излучения происходит со скоростью 635 км/с в направлении около $l = 269°$ и $b = +29°$ (т. е. $\alpha = 10^h 40^m$, $\delta = -25°$; центр созвездия Гидры). Это примерно под углом 45° относительно направления на центр скопления галактик в Деве (Virgo).

Угловые флуктуации температуры реликтового излучения имеют также мелкомасштабную составляющую (1–0,1°) значительно меньшей амплитуды (30–80 мкК), связанную с первичными акустическими волнами, заполнявшими однородную Вселенную до эпохи рекомбинации, т. е. до красного смещения $z = 1400$, соответствующего возрасту Вселенной $t = 380$ тыс. лет.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АСТРОФИЗИКА – раздел астрофизики, изучающий на основе общей теории относительности (теории тяготения А. Эйнштейна) свойства сверхплотных космических тел – нейтронных звёзд и чёрных дыр.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ КОСМОЛОГИЯ – теория нестационарной Вселенной, рассматривающая структуру и эволюцию Вселенной в целом на основе общей теории относительности А. Эйнштейна.

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЧАСТИЦЫ – частицы, движущиеся со скоростями, приближающимися к скорости света c. Для них становятся важными эффекты теории относительности, в первую очередь зависимость энергии E от скорости: $E = m_0c^2/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, где m_0 – масса покоя частицы, v – её скорость. При этом импульс частицы даётся формулой $p = m_0v/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$. Кинетическая энергия релятивистских частиц порядка или больше их энергии покоя. Сверх- или ультрарелятивистскими называют частицы, у которых кинетическая энергия гораздо больше энергии покоя. Предельным случаем являются частицы с массой покоя $m_0 = 0$ и $v = c$. Энергия такой частицы связана с её импульсом соотношением $E = |p|c$. Согласно теории относительности, время жизни t нестабильных относительно распада релятивистских частиц растягивается: $t = \tau/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, где τ – время жизни покоящейся частицы. В астрофизике важное значение имеют релятивистские электроны, образующиеся при ускорении в космических электромагнитных полях и испускающие синхротронное излучение. В частности, электроны ускоряются в электромагнитных полях остатков вспышек сверхновых. Из релятивистских частиц состоят и космические лучи. Разогнанные на ускорителях пучки релятивистских частиц используют в экспериментальной физике элементарных частиц. Процессы взаимодействия релятивистских частиц имеют характерную особенность: движение рождённых частиц или рассеяние частиц в таком взаимодействии происходит преимущественно вперёд – в направлении налетающей релятивистской частицы.

РЁМЕР, Оле (Rømer, Ole Christensen) (21.09.1644, Орхус, Ютландия, — 23.09.1710, Копенгаген) — датский астроном. Получив образование в Копенгагенском университете, провёл 9 лет в Парижской обсерватории, руководимой тогда Дж. Кассини. Рёмер обнаружил, что затмения спутников Юпитера отклоняются от расчётного времени, причём по-разному в разные сезоны года. Объяснил это тем, что перемещение Земли по орбите изменяет её расстояние от Юпитера, и свету требуется разное время, чтобы покрыть это расстояние. Обнаружил, что «свет задерживается на 22 минуты, проходя удвоенное расстояние от Земли до Солнца» (по современным данным, для этого требуется около 17 мин). Сообщение Рёмера о конечной скорости света стало вторым, после закона всемирного тяготения, крупнейшим достижением человеческого гения.

Рёмер значительно усовершенствовал астрономическую технику: изобрёл пассажный инструмент, создал прототип универсального инструмента и экваториальную монтировку телескопа. В 1681 г. приглашён обратно в Данию на пост Королевского профессора математики и астрономии в Копенгагенском университете. На окраине Копенгагена основал обсерваторию, где проводил наблюдения с усовершенствованными им инструментами. Большой пожар 1728 г. уничтожил многие его записи, но сделанные им изобретения послужили быстрому прогрессу астрономии.

РЕНТГЕН-КАЛОРИМЕТР — детектор рентгеновских лучей, работающий на основе нагрева вещества при поглощении рентгеновского излучения.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ДВОЙНАЯ — двойная звёздная система, являющаяся источником космического рентгеновского излучения.

РЕНТГЕНОВСКАЯ АСТРОНОМИЯ — область астрономии, в которой природа космических объектов исследуется по их излучению в диапазоне энергии от 0,1 до нескольких сотен килоэлектронвольт (кэВ). В мягком рентгеновском диапазоне (0,1–2 кэВ) излучение заметно поглощается межзвёздным газом, но в более жёстком диапазоне (2–200 кэВ) поглощение несущественно.

Первые измерения космического рентгеновского излучения начались в США в 1949 г. с борта вертикально взлетавших баллистических ракет «Фау-2». Они позволили открыть рентгеновское излучение Солнца. В 1962 г. с борта геофизической ракеты «Аэроби» был открыт первый звёздный рентгеновский источник — Скорпион X-1. Но детальный обзор неба стал возможен только с борта орбитальных аппаратов.

Первые рентгеновские спутники имели пропорциональные счётчики для регистрации жёсткого рентгеновского излучения из космоса, но у них не было фокусирующих телескопов. Поэтому астрономы лишь приблизительно могли определять направление на яркие источники. Первые обзоры неба, показавшие, что главными рентгеновскими источниками служат двойные звёзды, ядра активных галактик и скопления галактик, провели спутники «Ухуру» (Uhuru, он же Explorer-42 и Small Astronomical Satellite 1; NASA, 1970), «Ариель-5» (Великобритания, 1974) и более мощный HEAO-1 (High Energy Astronomical Observatory 1, NASA, 1977).

Спутник HEAO-2, известный как Обсерватория «Эйнштейн» (NASA, 1978), имел первый фокусирующий рентгеновский телескоп для исследования объектов вне Солнечной системы. Излучение фокусировалось при косом падении на зеркало, составленное из гиперболоидов и параболоидов. Поскольку поверхности зеркал были почти параллельны потоку падающих квантов (в отличие от оптических телескопов, где они почти перпендикулярны), их эффективная площадь была намного меньше геометрической. Но для увеличения собирающей площади несколько этих почти цилиндрических зеркал было помещено одно внутри другого, как матрёшки. Сфокусированное ими излучение в большинстве наблюдений направлялось на изображающий пропорциональный счётчик (IPC), имевший проволочную сетку. Попавший в счётчик рентгеновский квант рождал облачко электронов, положение и мощность которого определялись по току в сетке. На «Эйнштейне» был и другой детектор изображений, а также спектрометры, но высокая чувствительность IPC сделала его самым полезным прибором.

«Эйнштейн» исследовал структуру обнаруженных до него скоплений галактик и остатков сверхновых, а также обнаружил значительно более слабые рентгеновские источники, например обычные звёзды. Благодаря «Эйнштейну», получившему более 4000 изображений источников, рентгеновская астрономия стала зрелой наукой.

Вслед за успешно поработавшим «Эйнштейном» летали европейский EXOSAT (1983), советский «Астрон» (1983), японский «Ginga» (1987) и и международный ROSAT (см. *Космические обсерватории*), завершившие обзор неба в мягком рентгеновском диапазоне. Японский аппарат ASCA (Asuka, 1993) впервые был оснащён рентгеновской ПЗС-камерой, способной определять энергию фотонов, создающих изображение. Но самым значительным стал запуск рентгеновского телескопа по программе NASA «Great Observatories» (Большие обсерватории). Эта программа предусматривала создание четырёх космических телескопов разного типа — оптического, рентгеновского, инфракрасного и гамма-диапазонов. Первым стал оптический (+ близкие ИК- и УФ-диапазоны) телескоп «Хаббл» (1990), вторым — гамма-телескоп «Комптон» (1991). Третьим 23 июля 1999 г. был запущен рентгеновский телескоп «Чандра» (Chandra X-ray Observatory, CXO). Имея оптику косого падения, он обладает угловым разрешением 0,5″ и в 100 раз более высокой чувствительностью, чем у работавших до него рентгеновских телескопов. С появлением этого телескопа качество рентгеновских изображений не уступает качеству оптических.

Менее чем через полгода, 10 декабря 1999 г., на орбиту был выведен европейский рентгеновский спутник «Ньютон» (XMM-Newton, т. е. X-ray Multi-Mirror Mission — Newton). У него три телескопа косого падения с угловым разрешением около 5″ и 30-сантиметровый оптический/УФ телескоп системы Ричи—Кретьена. «Ньютон» в основном предназначен для изучения спектров слабых рентгеновских источников. В начале 2012 г. он работает и, возможно, останется в строю до 2018 г.

Описанные выше рентгеновские спутники наблюдают излучение в диапазоне от 0,1 до 10 кэВ. Для получения изображений в диапазоне от 10 до 1000 кэВ используют иной тип телескопов с так называемой кодированной маской. Один из наиболее удачных — французский прибор SIGMA, основной инструмент российской обсерватории «Гранат» (1989–1998), получивший в жёстком рентгеновском и мягком гамма-диапазонах изображения интереснейших источников, включая источник в центре Галактики, излучение которого вызвано аннигиляцией электронов и позитронов.

На начальном этапе исследований открываемым рентгеновским объектам присваивались наименования по созвездиям, в которых они находятся. Например, Геркулес X-1 означает первый по рентгеновской яркости объект в созвездии Геркулес; Кентавр X-3 — третий по яркости в созвездии Кентавр. Рентгеновский пульсар в Малом Магеллановом Облаке обозначается как SMC X-1, в Большом Магеллановом Облаке — LMC X-4. Обнаружение со спутников большого числа рентгеновских источников потребовало другой системы обозначений. Например, 4U 1900-40 соответствует обозначению рентгеновского пульсара Паруса X-1 в четвёртом каталоге спутника «Ухуру». Первые четыре цифры обозначают прямое восхождение ($19^h\ 00^m$), а вторые две вместе со знаком дают склонение объекта в градусах. Аналогичный смысл имеют цифры в обозначении источников, открытых спутником «Ариэль», например, A 0535+26. Обозначения типа GX 1+4 относятся к источникам в центральной области Галактики,

причём цифры соответствуют галактическим координатам l и b (в данном случае l=1°, b=+4°). Употребляются и другие обозначения. Так, открытый с борта советских АМС «Венера-11, -12» в эксперименте «Конус» вспыхивающий рентгеновский пульсар с периодом 8 секунд получил наименование FXP 0520-66.

РЕНТГЕНОВСКАЯ НОВАЯ – редкий тип вспыхивающих рентгеновских источников. В отличие от рентгеновских барстеров, рентгеновская новая внезапно появляется на несколько месяцев, а затем полностью исчезает. Исследования показали, что рентгеновские новые находятся в тесных двойных системах, в которых происходит аккреция газа с обычной звезды на массивный компактный объект, являющийся, по-видимому, чёрной дырой.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «ЧАНДРА» – автоматическая космическая обсерватория NASA с телескопом мягкого рентгеновского диапазона (0,1–10 кэВ). Этот составной телескоп с зеркалами косого падения диаметром 1,2 м имеет эффективную площадь 0,04 м^2 для квантов с энергией 1 кэВ. Фокусное расстояние телескопа 10 м, угловое разрешение 0,5″, а чувствительность в 100 раз выше, чем у работавших до него рентгеновских телескопов.

До запуска этот проект назывался AXAF (Advanced X-ray Astrophysics Facility, «Передовой аппарат рентгеновской астрофизики»). Перед запуском администрация NASA провела конкурс на название своей новой космической рентгеновской обсерватории. В этом конкурсе приняло участие около 6000 человек из 61 страны; было предложено более 1000 различных названий. В результате комиссия выбрала имя «Чандра», в честь одного из выдающихся астрофизиков XX в. Субраманьяна Чандрасекара. Соответственно, аббревиатура обсерватории изменена с AXAF на CXO (Chandra X-ray Observatory, Рентгеновская обсерватория «Чандра»). Победителями конкурса стали студент Тайрел Джонсон из штата Айдахо и преподаватель физики и астрономии Ятила ван дер Вин из Калифорнии.

Запуск телескопа на борту шаттла «Колумбия» (STS-93) состоялся 23 июля 1999 г. Спутник массой 4,8 т выведен на высокоапогейную орбиту (апогей 133 тыс. км, перигей 16 тыс. км) с орбитальным периодом 64,2 часа, чтобы большую часть времени он проводил за пределом радиационных поясов Земли. Первоначально работа аппарата планировалась на 5 лет, но в начале 2012 г. он ещё продолжает работать, оставаясь самым эффективным рентгеновским телескопом.

По результатам, полученным обсерваторией «Чандра», было показано, что практически все звёзды главной последовательности являются рентгеновскими источниками, что в остатках многих сверхновых присутствуют нейтронные звёзды, что рентгеновское излучение приходит из окрестности сверхмассивной чёрной дыры в центре Галактики (объект Стрелец A*). В галактике M82 была обнаружена чёрная дыра нового типа – промежуточной массы между сверхмассивными чёрными дырами в ядрах гигантских галактик и чёрными дырами звёздной массы. По рентгеновскому изображению двух столкнувшихся скоплений галактик было ограничено сверху сечение взаимодействия присутствующей в них тёмной материи, поскольку массы межгалактического газа этих скоплений столкнулись и, нагревшись от этого, стали источником рентгеновского излучения (его зафиксировал «Чандра»), а скопления тёмной материи прошли друг сквозь друга практически без торможения и разошлись в разные стороны, обозначив себя эффектом гравитационного линзирования (его обнаружил «Хаббл»).

РЕНТГЕНОВСКИЙ БАРСТЕР – то же, что *Барстер*.

РЕНТГЕНОВСКИЙ ПУЛЬСАР – источник космического рентгеновского излучения, имеющего периодический характер, связанный с вращением компактного объекта вокруг своей оси. Считается, что эти объекты представляют собой вращающиеся нейтронные звёзды с сильным магнитным полем, излучающие за счёт аккреции, т. е. падения вещества на их поверхность. По этой причине их ещё называют «аккрецирующими пульсарами».

Заметим, что некоторые радиопульсары излучают также и в рентгеновском диапазоне, например молодые пульсары в Крабе и Парусах. Источником их энергии служит не аккреция, а собственное быстрое вращение, но в дальнейшем речь идёт не о них, а именно об аккрецирующих пульсарах, основную долю энергии излучающих в виде рентгеновских квантов.

Индукция магнитного поля на поверхности рентгеновских пульсаров $\sim 10^{11}$–10^{14} Гс. Светимости большинства из них от 10^{28} до 10^{32} Вт. Периоды следования импульсов (P) от 0,7 с до нескольких десятков минут. Обнаружено уже несколько десятков рентгеновских пульсаров. Регистрируя сигналы рентгеновских пульсаров, космические аппараты могут определять своё положение в глубоком космосе, подобно тому как это делается на Земле и в её окрестностях с помощью системы GPS.

Рентгеновские пульсары входят в тесные двойные звёздные системы, вторым компонентом которых является нормальная (невырожденная) звезда, поставляющая вещество, необходимое для аккреции, обеспечивающей функционирование пульсара. Если второй компонент находится на стадии эволюции, когда скорость потери массы (этим компонентом) мала, нейтронная звезда не проявляет себя как рентгеновский пульсар.

Рентгеновские пульсары встречаются как в массивных молодых двойных звёздных системах, относящихся к населению I типа и лежащих в плоскости Галактики, так и в маломассивных двойных системах, относящихся к населению II типа и принадлежащих сферической составляющей Галактики. Такие пульсары открыты и в Магеллановых Облаках.

Переменность излучения

Одним из первых был открыт рентгеновский пульсар Кентавр X-3 (1971 г., «Ухуру») с периодом следования импульсов P=4,8 с. У него обнаружилась и долгопериодическая переменность: раз в двое суток пульсар «исчезает» (затмевается) на 11 часов. Тщательные исследования показали также, что P зависит от фазы двухдневного периода T=2,087 сут по гармоническому закону: $\Delta P/P = A\cos[2\pi(t-t_0)/T]$, где $\Delta P = P - P_0$ – это изменение P, P_0 – невозмущённое значение P, A – амплитуда относительного изменения P, t_0 соответствует одному из моментов, когда отклонение периода максимально.

Эти два факта интерпретируются однозначно: пульсар входит в двойную систему с орбитальным периодом, равным T. «Исчезновения» объясняются его затмениями вторым компонентом системы. По продолжительности затмения можно сделать вывод о том, что второй (затмевающий) компонент заполняет свою критическую полость Роша. Периодические изменения P обусловлены эффектом Доплера при орбитальном движении пульсара вокруг центра масс двойной системы. Амплитуда изменения периода $A = (v/c)\sin i$, где i – угол наклонения орбиты двойной системы (наличие затмений указывает, что в этой системе $i \approx 90°$), v – скорость орбитального движения пульсара. Поскольку из наблюдений $A \approx 1{,}387 \cdot 10^{-3}$, то v=416 км/с.

Периодические изменения P обнаружены в большинстве двойных систем с рентгеновским пульсаром, но рентгеновские затмения, разумеется, наблюдаются далеко не у всех этих систем, а лишь у тех, плоскость орбиты которых близка к нашему лучу зрения.

После открытия рентгеновского пульсара в его окрестности обычно быстро находят переменную оптическую звезду (второй компонент двойной системы), блеск которой меняется с периодом, равным орбитальному или вдвое меньшим (см. ниже). Кроме того, спектральные линии оптического компонента испытывают доплеровский сдвиг, периодически изменяющийся с орбитальным периодом двойной системы.

Оптическая переменность двойных систем с рентгеновским пульсаром обусловлена двумя эффектами. Первый — эффект отражения — наблюдается в системах, в которых светимость оптической звезды меньше светимости пульсара. Сторона звезды, обращённая к пульсару, прогревается его рентгеновским излучением и в оптических лучах оказывается ярче, чем противоположная сторона. Вращение двойной системы приводит к тому, что наблюдается то более яркая, то менее яркая сторона звезды. Такой эффект наиболее отчётливо проявляется в системе, включающей пульсар Геркулес X-1 и звезду HZ Геркулеса. На единицу поверхности этой звезды, обращённой к рентгеновскому источнику, падает в 30 раз больше энергии в виде рентгеновского излучения, чем поступает из недр звезды. В результате амплитуда оптической переменности превышает 2^m в фильтре B. Часть рентгеновского излучения отражается атмосферой звезды, но основная доля поглощается ею и перерабатывается в оптическое излучение. Это излучение слабо пульсирует с периодом P. Часть энергии уходит на эффективное нагревание вещества на поверхности, сопровождающееся формированием так называемого индуцированного звёздного ветра.

Второй эффект — эффект эллипсоидальности — связан с тем, что форма звезды, заполняющей критическую полость Роша, заметно отличается от сферической. В результате два раза за орбитальный период к наблюдателю обращена бóльшая часть поверхности и дважды — меньшая. Такая переменность с периодом, вдвое меньшим орбитального периода двойной системы, наблюдается в тех системах, где светимость оптического компонента намного превышает рентгеновскую светимость пульсара. В частности, именно благодаря такой переменности был открыт нормальный компонент источника Кентавр X-3.

Аккреция на нейтронную звезду с сильным магнитным полем

В тесных двойных звёздных системах возможны два основных типа аккреции: дисковая и сферически-симметричная. Если перетекание вещества идёт преимущественно через внутреннюю точку Лагранжа, то перетекающее вещество обладает значительным удельным моментом импульса, и вокруг нейтронной звезды образуется аккреционный диск. Если нормальная звезда теряет вещество посредством звёздного ветра, то возможно формирование ударной волны и близкая к сферически-симметричной аккреция за ней.

Свободное падание (при сферически-симметричной аккреции) возможно лишь на больших расстояниях от звезды. Вблизи радиуса $R_M \sim 100$–1000 км (радиус магнитосферы) давление магнитного поля нейтронной звезды $H^2/8\pi \sim R^{-6}$ сравнивается с давлением аккрецирующего потока вещества $\rho V^2 \sim R^{-5/2}$ и останавливает его. В зоне $R < R_M$ формируется замкнутая магнитосфера нейтронной звезды, вблизи R_M возникает ударная волна, в которой плазма охлаждается излучением рентгеновского пульсара за счёт комптонизации (рассеяния на высокоскоростных электронах). Благодаря неустойчивости Рэлея–Тейлора становится возможным проникновение капель плазмы внутрь магнитосферы, где происходит их дальнейшее дробление и вмораживание в магнитное поле, которое канализирует поток аккрецирующей плазмы и направляет её в область магнитных полюсов.

Зона, на которую выпадает вещество, по-видимому, не превышает по площади 1 км^2. На поверхности нейтронной звезды гравитационная энергия связи на единицу массы $\eta \sim 0{,}15\ c^2$, поток выпадающего вещества, необходимый для поддержания светимости рентгеновского пульсара ($L_X \sim 10^{28}$ до 10^{32} Вт), равен $dM/dt \sim L_X/\eta \sim 10^{12}$–$10^{16}$ кг/с = 10^{-11}–$10^{-7}\ M_\odot$ в год. На 1 см^2 поверхности выпадает более тонны вещества в секунду. Скорость свободного падения составляет 0,4 c, при этом кинетическая энергия падающего протона вблизи поверхности нейтронной звезды достигает 140 МэВ.

В рентгеновских пульсарах со светимостью $L_X < 10^{29}$ Вт падающие протоны и электроны тормозятся в атмосфере (образованной веществом, выпавшим на нейтронную звезду за ничтожные доли секунды до этого) за счёт ядерных и кулоновских столкновений. Выделяющаяся энергия излучается слоем, поверхностная плотность которого составляет около 10–20 г/см^2, а толщина — несколько метров. Существует предположение, что может возникнуть тонкая (несколько сантиметров) бесстолкновительная ударная волна, в которой будет выделяться вся кинетическая энергия аккрецирующего потока.

В рентгеновских пульсарах со светимостью, близкой к $5 \cdot 10^{29}$ Вт, колоссальное энерговыделение в зоне магнитных полюсов приводит к тому, что сила давления излучения на падающие электроны способна остановить поток аккрецирующего вещества. Вблизи поверхности нейтронной звезды (на высоте 1 м) может сформироваться радиационно-доминированная ударная волна. В такой ударной волне давление излучения намного превышает давление плазмы. Падающие на звезду электроны тормозятся силой давления излучения, обусловленной томсоновским рассеянием излучения, идущего снизу. Одновременно останавливаются связанные с электронами электростатической силой протоны, несущие основную кинетическую энергию. Эта энергия расходуется на увеличение энергии фотонов вследствие их комптонизации. Часть жёстких фотонов уходит к наблюдателю, а часть попадает в плотные слои атмосферы нейтронной звезды, нагревая её. В этих слоях вследствие тормозного излучения рождаются многочисленные мягкие фотоны, которые (испытывая томсоновское рассеяние на падающих электронах) и тормозят падающее вещество.

Если светимость рентгеновского пульсара превышает 10^{30} Вт, то над поверхностью нейтронной звезды в районе магнитных полюсов формируется аккреционная колонка. Радиационно-доминированная ударная волна возникает на большой высоте над поверхностью нейтронной звезды (сотни метров и даже километры). В ней происходит торможение потока. Под ударной волной осуществляется режим оседания. Излучение уходит через боковую поверхность колонки, вещество же в ней медленно оседает, выделяя гравитационную энергию, превращающуюся в тепло и излучение. Силам гравитации противодействует градиент давления излучения, запертого в радиационно-доминированной колонке. Аккреционная колонка может обеспечить светимость, намного превышающую критическую светимость, так как с боков колонка удерживается магнитным полем, а не силами гравитации. Более того, если магнитное поле нейтронной звезды превышает 10^{13} Гс, то в основании колонки температура плазмы достигает 10^{10} К. При такой температуре происходят процессы рождения и аннигиляции электрон-позитронных пар. Нейтрино, образующиеся в реакциях $e^+ + e^- \to \nu + \bar{\nu}$, уносят основную долю светимости. Рентгеновская светимость (превышающая критическую) составляет малую долю нейтринной светимости $L_\nu = \eta(dM/dt)$.

Отметим в связи с этим существование рентгеновских пульсаров SMC X-1 и LMC X-4, имеющих рентгеновскую светимость $\sim 10^{32}$ Вт, т. е. намного превышающую критическую. Эти объекты имеют, по-видимому, и значительную нейтринную светимость. Излучаемые нейтрино прогревают недра нейтронной звезды и, поглощаясь в недрах нормального компонента двойной системы, дают малый вклад в его оптическую светимость. Поток аккрецирующего вещества в таких объектах может достигать 10^{-6}–$10^{-5}\ M_\odot$ в год. В этом случае возможна ситуация, когда за 10^6–10^5 лет работы рентгеновского пульсара на нейтронную звезду выпадает около 1 $M_\odot$ вещества, будет превышен предел устойчивости для нейтронных звёзд, произойдёт гравитационный коллапс, сопровождающийся взрывом сверхновой редко встречающегося типа и образованием чёрной дыры. Это может произойти лишь при дисковой аккреции, когда давление излучения не препятству-

ет аккреции на больших расстояниях от тяготеющего центра.

Формирование профилей импульсов и спектры излучения

Выделение энергии в ограниченной зоне вблизи полюсов нейтронной звезды в совокупности с её вращением приводит к феномену пульсара: наблюдатель видит излучающую зону под разными углами и принимает переменный во времени поток рентгеновских лучей. Период P равен периоду вращения нейтронной звезды. Наличие сильного магнитного поля может приводить к направленности излучения. В зависимости от соотношения между энергией фотонов, напряжённостью магнитного поля и температурой плазмы могут формироваться как карандашная, так и ножевая диаграммы направленности (см. рис.). Важнейшим параметром служит гирочастота (циклотронная частота) электрона $\nu_H = eH/2\pi m_e c$. Степень направленности является функцией отношений ν/ν_H и $kT_e/h\nu_H$. Диаграмма направленности определяет форму профиля импульсов пульсара. Вид профилей многих рентгеновских пульсаров изменяется с увеличением энергии фотонов.



Карандашная и ножевая диаграммы направленности излучения

Спектр излучения нейтронной звезды должен быть многокомпонентным. Излучают ударная волна, аккреционная колонка, поверхность нейтронной звезды вблизи основания колонки, плазма, текущая по магнитосфере к полюсам нейтронной звезды. Эта плазма поглощает жёсткое излучение колонки и переизлучает его в мягком рентгеновском диапазоне как в континууме, так и в рентгеновских линиях (характеристических и резонансных) ионов тяжёлых элементов. Спектры решающим образом зависят от светимости пульсара и напряжённости магнитного поля, поэтому они сильно отличаются друг от друга.

Если потоки плазмы на магнитосфере пульсара высокой светимости не покрывают всю её поверхность, то образуются «окна», в которые свободно выходит жёсткое излучение, в то время как другие направления для него закрыты из-за большой оптической толщи потоков плазмы. Вращение нейтронной звезды должно приводить к пульсациям излучения. Это ещё один механизм формирования профиля рентгеновских импульсов.

Важнейшим этапом в изучении рентгеновских пульсаров стало открытие группой И. Трюмпера из Института внеатмосферной астрономии общества им. Макса Планка (ФРГ) гиролинии в спектре пульсара Геркулес X-1. Наличие гиролиний (спектральных линий, обусловленных циклотронным излучением либо поглощением электронов) было предсказано Ю. Н. Гнединым и Р. А. Сюняевым. Открытие гиролинии дало метод прямого экспериментального измерения магнитных полей нейтронных звёзд. Гиролиния в спектре пульсара Геркулес X-1 соответствует $h\nu_H \approx 56$ кэВ. Следовательно, в соответствии с соотношением $h\nu_H = 1{,}1\,(H/10^{11}\,\text{Гс})$ кэВ, напряжённость магнитного поля на поверхности нейтронной звезды $\approx 5\cdot10^{12}$ Гс.

Ускорение и замедление вращения нейтронных звёзд

В отличие от радиопульсаров, излучающих за счёт энергии вращения замагниченной нейтронной звезды и увеличивающих свой период со временем, рентгеновские пульсары, излучающие за счёт аккреции, ускоряют своё вращение. Действительно, при дисковой аккреции вещество, выпадающее на магнитосферу, имеет заметный удельный момент импульса. Вмораживаясь в магнитное поле, аккрецирующая плазма движется к поверхности звезды и передаёт ей свой момент. В результате вращение звезды ускоряется, и период следования импульсов уменьшается. Этот эффект наблюдается у всех рентгеновских пульсаров.

Однако иногда наблюдается и замедление вращения. Это возможно в случае, если изменяется темп аккреции либо направление момента импульса аккрецирующего вещества. Среди механизмов, приводящих к увеличению периода, обсуждается так называемый пропеллерный механизм. Предполагается, что асимметричная магнитосфера нейтронной звезды вращается в атмосфере, созданной аккрецирующим с дозвуковой скоростью газом; при этом генерируются звуковые и ударные волны, возбуждаются конвективные течения, отводящие момент импульса от магнитосферы к звёздному ветру, обтекающему нейтронную звезду.

РЕНТГЕНОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР — прибор для разделения рентгеновских лучей по их энергии. Многие из детекторов рентгеновских лучей имеют внутреннюю чувствительность по энергии рентгеновского излучения. В некоторых случаях используют дифракционные решётки — как пропускающие, так и отражающие с косым (скользящим) падением лучей. Для квантов высокой энергии применяют спектрометры на основе эффекте Брэгга, использующие отражение в кристаллах фторида лития или фталата калия.

РЕНТГЕНОВСКИЙ ТЕЛЕСКОП — прибор для регистрации рентгеновского излучения космических объектов. В широком смысле так называют приборы разного типа, способные регистрировать направление на источник излучения, например рентгеновские детекторы с сотовым коллиматором или кодированной маской. Но если под «телескопом» понимать прибор, создающий изображение источника, то это рентгеновский детектор с фокусирующей зеркальной оптикой.

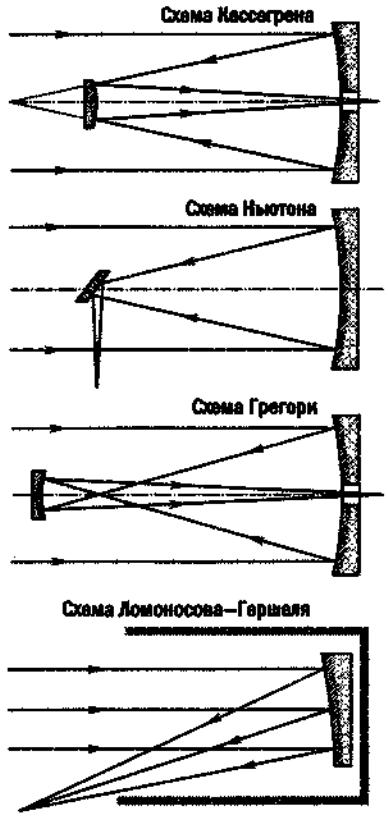
Для концентрации мягкого рентгеновского излучения используют обычные типы телескопов-рефлекторов со специальным многослойным покрытием зеркал, которое представляет собой чередующиеся плёнки, например из вольфрама и углерода, и обеспечивает для рентгеновского излучения отражающую способность до 20%. Эффективное отражение рентгеновского излучения с более высокими энергиями возможно только при больших углах падения, что используется в рентгеновских телескопах косого (скользящего) падения.

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — коротковолновый вид электромагнитного излучения, примыкающий к ультрафиолетовому диапазону в своей длинноволновой части и к гамма-диапазону — в области малых длин волн. Длины волн рентгеновского излучения лежат в пределах от 1 нм до 0,01 нм, а соответствующие им частоты — в диапазоне от $3\cdot10^{17}$ до $3\cdot10^{19}$ Гц. Энергия фотонов рентгеновского излучения составляет от 1 кэВ до 100 кэВ.

РЕПЕРЫ — сетка или другая система маркеров, помещённая на поверхности детектора для получения изображений, относительно которых выполняются измерения координат регистрируемых объектов.

РЕТИКУЛЫ (лат. *reticulum*, мн. *reticula* — сетка) — полигональные сетевые структуры, характерные для Венеры. Прежнее название — полигоны.

РЕФЛЕКТОР — телескоп, в котором в качестве объектива применяется вогнутое зеркало. Форма зеркала может быть сферической, параболической или гиперболической, в зависимости от конструкции телескопа. Кроме главного зеркала, для создания изображения часто используется небольшое «вторичное» зеркало (выпуклое или вогнутое), размещённое вблизи фокуса главного зеркала, а также плоские зеркала, выводящие фокальную плоскость за пределы трубы телескопа. Крупнейшие в мире рефлекторы имеют главные зеркала диаметром от 8,3 м (монолитное) до 11 м (сборное). У крупнейших рефлекторов объективы состоят из нескольких зеркал диаметром 8–9 м, укреп-



Основные типы телескопов-рефлекторов

лённых на одной монтировке. Подробнее см. в описаниях отдельных систем: *Телескоп Кассегрена, Телескоп Максутова, Телескоп Ньютона, Телескоп Шмидта–Кассегрена, Телескоп Ричи–Кретьена, Радиотелескоп* (см. с. 4 цветной вкладки).

РЕФРАКТОР — телескоп, в котором в качестве объектива применяется линза или система линз. Обычно объектив из одной линзы используют лишь в простых любительских телескопах или в специальных приборах, где требуется минимальное рассеяние света (например, в солнечном внезатменном коронографе). В большинстве телескопов-рефракторов применяют сложные ахроматические объективы, содержащие несколько линз из разных сортов стекла: такая комбинация линз позволяет существенно снизить хроматическую аберрацию объектива. Диаметр объектива телескопа-рефрактора ограничен размером порядка 1 м (40 дюймов), поскольку линза может быть закреплена только по краям, и линзы большего диаметра прогибаются под собственным весом. Окуляры, применяемые в астрономических рефракторах, являются положительными, т. е. собирающими, линзовыми системами (телескоп Кеплера), поэтому рефракторы дают перевёрнутое изображение. Зрительные трубы и бинокли имеют дополнительную линзовую или призменную оборачивающую систему для получения прямого (неперевёрнутого) изображения. В телескопе Галилея в качестве окуляра используется отрицательная линза, установленная до фокуса объектива, что также позволяет получить прямое изображение.

РЕФРАКЦИЯ — *см. Атмосферная рефракция.*

РЕШЕНИЕ КЕРРА — решение уравнений гравитационного поля в общей теории относительности, описывающее электрически нейтральную вращающуюся чёрную дыру.

РЕШЕНИЕ КЕРРА—НЬЮМЭНА — решение уравнений гравитационного и электромагнитного полей в общей теории относительности, описывающее заряженную вращающуюся чёрную дыру.

РЕШЕНИЕ РАЙСНЕРА—НОРДСТРЕМА — решение уравнений гравитационного и электромагнитного полей в общей теории относительности, описывающее невращающуюся заряженную чёрную дыру.

РЕШЕНИЕ ШВАРЦШИЛЬДА — решение уравнений гравитационного поля в общей теории относительности, описывающее невращающуюся электрически нейтральную чёрную дыру.

РЕШЁТКА-РЕПЛИКА — дифракционная решётка, изготовленная путём копирования. Исходная решётка-матрица покрывается тонким слоем жидкого пластика или эпоксидного полимера, который после затвердевания снимается и крепится на жёстком основании. Отражающее покрытие на реплику наносят путём алюминирования. Решётки-реплики во много раз дешевле оригинала, но и их качество несколько ниже.

РЕШЁТКА РОНКИ — решётка с шагом в несколько линий на миллиметр, используемая в методе Ронки.

РЕЯ (S V, Rhea) — естественный спутник Сатурна. Дж. Д. Кассини открыл его 23 декабря 1672 г. Большая полуось орбиты Реи 527 108 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 4,518212 сут. Эксцентриситет орбиты 0,001. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,345°. Размеры 1532,4×1525,6×1524,4 км. Масса $2{,}3\cdot10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,24 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 27 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 635 м/с. Суточное вращение синхронизовано с орбитальным. Геометрическое альбедо 0,95. Видимый блеск $9{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1′ 25″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности от 53 до 99 К.

РИГЕЛЬ — β Ориона, звезда 0,13 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 800 св. лет. Бело-голубой сверхгигант со светимостью в 50 тыс. раз выше солнечной. Столь мощных звёзд в Галактике очень мало, а среди доступных невооружённому глазу — ещё лишь Денеб.

РИЛЛИ (нем. *Rille* — борозда, желоб) — узкие извилистые долиноподобные понижения рельефа. Обнаружены на Луне и на Марсе.

РИЧИ, Джордж Уиллис (Ritchey, George Willis) (31.12.1864, Тапперс-Плайнс, Огайо, США, — 4.11.1945) — американский астроном и конструктор телескопов. Создал оптику для 1,5-метрового и 2,5-метрового телескопов обсерватории Маунт-Вилсон (1901–1918), улучшил технику фотографирования (подвижная кассета Ричи, и др.). Совместно с французским оптиком Анри Кретьеном (1870–1956) изобрёл новую систему телескопа-рефлектора. Первый обнаружил звёзды в галактиках и измерил до них расстояние.

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ТЕЛЕСКОП, или телескоп-робот, — телескоп, выполняющий наблюдательную программу без прямого контроля человека. Роботизированные телескопы обычно работают под управлением компьютера по программе, заранее составленной наблюдателем. Нередко при этом телескоп-робот использует текущую информацию, переданную ему по Интернету другими подобными телескопами.

РОДОПСИН — *см. Сетчатка.*

РОЖДЕНИЕ ПАРЫ — одновременное рождение частицы и её античастицы (например, электрона и позитрона). Обычно рождение пары частица–античастица происходит при взаимодействии кванта жёсткого электромагнитного излучения с ядром атома. Схематически этот процесс можно представить так: $\gamma \rightarrow e^- + e^+$. При этом энергия фотона (γ) должна быть не меньше удвоенной энергии покоя электрона: $2m_ec^2 = 1{,}022$ МэВ. В вакууме постоянно происходит рождение виртуальных пар, но они тотчас аннигилируют (взаимно уничтожаются), поскольку для их реального рождения нет источника энергии. Предполагают, что виртуальные пары могут становиться реальными вблизи гравитационного радиуса чёрной дыры (эффект Хокинга).

Иногда термином «рождение пары» описывают процесс, при котором поглощение фотона в твёрдом теле приводит к появлению электрона проводимости и

«дырки» – квантового состояния, не заполненного электроном в энергетической зоне твёрдого тела. Этот процесс служит основой работы многих типов детекторов, таких как фотодиоды и ПЗС-матрицы. Когда вещество, например кремний, поглощает фотон, энергия фотона передаётся электрону и переводит его из валентной зоны в зону проводимости, оставляя в валентной зоне положительную квазичастицу – «дырку». Таким образом, рождается пара «электрон + дырка», которые в некотором смысле ведут себя как частица и античастица.

РОЗАЛИНДА (U XIII, Rosalind) – естественный спутник Урана. Его открыл Стивен Синнотт 13 января 1986 г. по снимкам, переданным «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 69 927 км. Орбитальный период 0,55845953 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0001. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,2788°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размеры 72×72×72 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $2{,}5 \cdot 10^{17}$ кг. Средняя плотность предположительно около 1,3 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 12 мм/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 31 м/с. Альбедо 8%. Видимый блеск $21{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 5″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 64 К.

РОШ, Эдуард Альбер (Roche, Édouard Albert) (17.10.1820, Монпелье, Франция, – 27.04.1883) – французский астроном и математик, член-корреспондент Парижской АН (1873). Работал в Парижской обсерватории (1849–1852), с 1852 – профессор математики университета в Монпелье. Исследовал (1849–1851) фигуры равновесия жидких тел вращения при наличии внешних сил, т. е., фигуры звёзд, планет и их спутников. Нашёл минимальное расстояние жидкого спутника от планеты (предел Роша), верхний предел размера звезды в двойной системе (поверхность Роша и ограниченная ею полость Роша), математически обосновал (1873) небулярную гипотезу Лапласа.

РУПОРНАЯ АНТЕННА – рупор с квадратным сечением, используемый для приёма коротковолновых радиосигналов. Рупорные антенны, представляющие собой расширяющееся окончание волновода, используют как облучатели в фокусах параболических радиотелескопов. Рупорные антенны большого размера используют для прямого приёма радиоизлучения; примером служит антенна радиотелескопа в Холмделе, с помощью которого в 1965 г. было открыто реликтовое микроволновое излучение.

РЫБЫ – большое зодиакальное созвездие, которое условно делят на Северную Рыбу (под Андромедой) и Западную Рыбу (между Пегасом и Водолеем). В нашу эпоху именно в созвездии Рыбы лежит точка весеннего равноденствия, которую по традиции иногда называют Первой точкой Овна. Однако в Овне она лежала 2000 лет назад, сейчас – в Рыбах, а через 600 лет войдёт в созвездие Водолея. Астеризм Венец представляет кольцо из семи звёзд в голове Западной Рыбы. Альриша (α Psc), что по-арабски значит «верёвочка», расположена в юго-восточном углу созвездия и представляет интересную визуальную двойную. Её компоненты с блеском 4,2 и 5,2 звёздной величины разделены расстоянием в 2,5″. В 2 градусах к югу от звезды δ Psc находится Звезда Ван-Маанена, вероятно, ближайший к нам белый карлик, удалённый на 14 св. лет. Любопытна и спиральная галактика M74, крупнейшая из наблюдаемых плашмя (блеск $9{,}4^m$, угловой диаметр 10′).

РЫСЬ – довольно крупное северное созвездие из очень тусклых звёзд: требуются поистине «рысьи глаза», чтобы их увидеть. Среди них много двойных и кратных. Особенно интересна физическая двойная 10 UMa, компоненты которой имеют блеск 4^m и 6^m, разделены расстоянием около 0,5″ и обращаются с периодом около 22 лет. Эта звезда перешла в Рысь из Большой Медведицы при уточнении границ созвездий, но сохранила своё традиционное обозначение. А звезду 41 Рыси (41 Lyn) мы обнаружим на территории Большой Медведицы. Эти примеры наглядно указывают на относительное перемещение звёзд и на условность границ созвездий. Любителей астрономии привлечёт Межгалактический Странник (NGC 2419) – одно из самых далёких шаровых скоплений нашей Галактики (275 тыс. св. лет от Солнца). Его называют «межгалактическим», потому что некоторые галактики, например Магеллановы Облака, расположены к нам значительно ближе. Наблюдать это скопление нелегко: при диаметре в 4′ оно имеет блеск около 10^m.

РЫТВИНЫ (лат. *sulcus*, мн. *sulci* – борозда) – сложный район субпараллельных борозд и гряд, напоминающих пахоту; обнаружены на Марсе, Ганимеде и малых спутниках Сатурна, Урана и Нептуна.

РЭЛЕЕВСКИЙ ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ – один из критериев предельной разрешающей способности оптической системы. Разрешение оптической системы по Рэлею определяется как угловое расстояние между двумя точечными источниками равного блеска, при котором центр диска Эри первого источника совпадает с первым тёмным кольцом картины Эри второго источника, и наоборот. Для оптического телескопа или радиотелескопа с параболическим зеркалом круговой апертуры разрешение по Рэлею составляет $1{,}22\lambda/D$ радиан, где λ – длина волны и D – диаметр объектива. Для визуальных телескопов ($\lambda = 555$ нм) разрешение по Рэлею составляет $140''/D$ (где D – диаметр объектива в миллиметрах).

Разрешение по Рэлею, известное также как дифракционно-ограниченное разрешение, является полезным, но всё же произвольным определением. Опытные наблюдатели двойных звёзд при хороших атмосферных условиях способны разрешить в два-три раза более тесные пары. С другой стороны, если два точечных объекта имеют различный блеск, достижимое разрешение может быть существенно ниже рэлеевского предела. Протяжённые линейные объекты высокого контраста, например щель Кассини в кольцах Сатурна или лунные трещины, вполне заметны, хотя их угловые размеры зачастую меньше дифракционного разрешения данного инструмента. Для достижения рэлеевского предела разрешения оптика телескопа должна иметь дифракционное качество. Основным фактором, ограничивающим разрешение оптических телескопов диаметром более 0,3 м, является атмосферное размытие, т. е. хаотическое преломление света в земной атмосфере. Существенно ослабить этот отрицательный эффект позволяет система адаптивной оптики.

С

САГАН, Карл Эдуард (Sagan, Carl Edward) (9.11.1934, Бруклин, США, – 20.12.1996, Сиэтл, шт. Вашингтон, США) – американский астроном. Поступил в Чикагский университет в 1951 г. и окончил его со степенью бакалавра в 1954 г. Саган считал, что широкий круг его интересов сложился благодаря разнообразию учебных программ Чикагского университета. Ещё в детстве он поверил в существование внеземной жизни, и эта его страсть была поддержана нобелевским лауреатом, генетиком Германом Мёллером, у которого Саган работал лаборантом в университете шт. Индиана в 1952–1953 гг. В Чикагском университете большое влияние на интерес Сагана к планетным исследованиям оказали Х. Юри и Дж. Койпер. Идея жизни во Вселенной осталась главной страстью всей его жизни.

Получив степень доктора астрономии и астрофизики в 1960 г., Саган работал ассистентом в Йеркской обсерватории Чикагского университета. После недолгой работы в Калифорнийском университете в Беркли и Стэнфордском университете он стал преподавателем астрономии в Гарвардском университете (1962–1968). С 1968 г. он профессор астрономии и космических исследований в Корнельском

университете, а также директор Лаборатории планетных исследований в том же университете.

С наступлением эры межпланетных полётов биология Марса стала объектом серьёзных исследований, и Саган активно участвовал во многих экспериментах по изучению Марса, кульминацией которых стала программа «Викинг» в 1976 г. Он был также лидером в работах по поиску внеземных цивилизаций. Среди написанных им книг на эту тему отметим следующие: «Разумная жизнь во Вселенной» (Intelligent Life in the Universe, 1966, совместно с И. С. Шкловским), «Связь с внеземным разумом» (Communication with Extraterrestrial Intelligence, 1973) и «Космическая связь» (The Cosmic Connection, 1973). Эта тема нашла художественное воплощение в его фантастическом романе «Контакт» (1985). Среди других достижений Сагана в астрономии можно выделить его исследования структуры атмосферы Венеры, изучение химического состава спутника Сатурна – Титана и эксперименты по моделированию возникновения жизни.

Наряду с чисто научными достижениями К. Саган был широко известен популяризацией науки. Его многочисленные научно-популярные лекции очаровывали аудиторию. Книга Сагана «Космос» (1980) стала бестселлером, а созданный на её основе 13-серийный фильм увидело около 500 млн человек. Его книга «Голубое пятнышко» (Pale Blue Dot, 1994) посвящена космическому будущему человечества. Среди его многочисленных наград – Пулитцеровская премия за книгу «Драконы Эдема. Рассуждения об эволюции человеческого мозга» (1977).

Саган отстаивал преимущества исследования планет с помощью автоматических станций. Он считал их более выгодными, чем дорогостоящие полёты астронавтов. В 1979 г. он основал Планетное общество, которое к концу XX в. стало крупнейшим объединением людей, интересующихся космосом. В 1980 г. мощную общественную реакцию вызвали работы Сагана и его коллег о возможных климатических последствиях ядерной войны: учёные пришли к выводу, что эти последствия могут быть гораздо тяжелее, чем считалось ранее, поскольку продукты взрывов, поднявшись высоко в атмосферу, поглотят солнечный свет и вызовут охлаждение Земли («ядерную зиму»).

Всю жизнь Саган отстаивал научный подход и боролся с предрассудками и мракобесием. Это стало темой его последней книги «Мир, полный демонов: Наука как свеча во тьме» (The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark, 1996).

САО (N XI, Sao) – один из естественных спутников Нептуна. Открыли его Мэтью Холман и его коллеги 14 августа 2002 г. Большая полуось орбиты 22,23 млн км. Орбитальный период 2912,72 сут. Эксцентриситет орбиты 0,1365. Наклонение орбиты к эклиптике 53,48°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Диаметр Сао около 44 км при альбедо 4%. Видимый блеск $25{,}5^{m}$ и максимальное угловое расстояние от планеты 20′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

САРОС (от егип. «повторение») – интервал времени, по прошествии которого повторяется цикл солнечных и лунных затмений. Длительность сароса составляет около 6585 1/3 сут, т. е. около 18 лет и 11,3 сут или же 18 лет и 10,3 сут, если за это время было 5 високосных лет. В течение одного сароса в среднем происходит 71 затмение (от 64 до 78); обычно бывает 43 солнечных (от 39 до 48, из них около 10 полных) и 28 лунных (от 25 до 30). Поскольку сарос превышает целое число суток примерно на 8 часов, зона видимости соответствующего затмения в следующем саросе смещается по поверхности Земли на 120° к западу. По прошествии трёх саросов затмения наблюдаются вновь примерно в тех же местах Земли.

САТУРН – планета Солнечной системы, шестая от Солнца, удалённая от него на 1434 млн км = 9,58 а. е. Масса Сатурна $5{,}685 \cdot 10^{26}$ кг (95,2 массы Земли). Экваториальный радиус 60 268 км (9,45 радиуса Земли). Средняя плотность 0,70 г/см^3. Сатурн окружён ярким широким ледисто-пылевым кольцом и системой из 62 спутников (данные 2012 г.). Уникально крупный спутник Титан имеет плотную азотную атмосферу. Период вращения Сатурна вокруг оси 10,7 ч. Атмосфера состоит из водорода (94% объёма) и гелия (6%). Температура верхнего облачного слоя составляет −176 °C. Недра предположительно состоят из жидкого водорода, частично в металлическом состоянии. Глубоко в недрах возможно наличие твёрдого ядра.

САФРОНОВ, Виктор Сергеевич (11.10.1917, Великие Луки, Россия, – 18.09.1999, Москва) – российский астроном. Окончил Московский университет (1941), участник Великой Отечественой войны (1941–1944), с 1949 г. работал в Институте физики Земли АН СССР, с 1974 г. возглавлял в нём группу по изучению происхождения и эволюции Земли и планет, главный научный сотрудник Объединённого института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, почётный академик РАЕН (1993). Премия им. О. Ю. Шмидта АН СССР (1974), премия им. Дж. Койпера (1990). Существенно развил теорию формирования планет из твёрдых частиц допланетного облака. Автор монографии «Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет» (1969, англ. пер. в США 1972).

СБЛИЖЕНИЕ (англ. *appulse*) – видимое прохождение одного небесного объекта (обычно планеты) вблизи другого на небесной сфере.

СВЕДЕНБОРГ, Эммануил (Swedenborg, Emanuel; при рождении Emanuel Swedberg) (29.01.1688, Стокгольм, Швеция, – 29.03.1772, Лондон, Англия) – шведский учёный, инженер, философ, теолог. Изложенные в его труде «Принципы природы» (1729–1734) космогонические концепции предвосхитили гипотезы Бюффона, Канта и Лапласа о формировании планетной системы, идею Ламберта об иерархической структуре Вселенной и вывод Дж. Дарвина о замедлении вращения планет.

СВЕРХВСЕЛЕННАЯ (англ. *multiverse*) – совокупность отдельных вселенных, ансамбль вселенных, своего рода вселенная вселенных; гипотетическое обобщение, в котором наша Вселенная является лишь одной из огромного числа самостоятельных вселенных. Термин «multiverse» в английском языке родился недавно, поэтому его русский перевод ещё не устоялся. Предлагаются варианты – мультимир, многомир, мультивселенная, мультиленная, мультиверс, множественная вселенная, многоликая вселенная, метавселенная, Большая вселенная, Вся вселенная, Мультиплетная вселенная, Многоэлементная вселенная и др. Пока каждый автор и переводчик изобретает свой вариант, и предпочтения не отдано ни одному. Составляющие сверхвселенную отдельные вселенные, одной из которых является наша Вселенная, иногда называют мини-вселенными.

СВЕРХГИГАНТЫ – самые яркие и самые большие из наблюдаемых звёзд. Различают голубые и красные сверхгиганты. Голубые (горячие) сверхгиганты – это молодые звёзды главной последовательности; к ним относится, например, Регул в созвездии Лев. Красные («холодные») сверхгиганты, напротив, – старые, сильно проэволюционировавшие звёзды, располагающиеся на ветви сверхгигантов диаграммы Герцшпрунга–Рассела; к ним относится, например, Бетельгейзе в созвездии Орион. Радиусы старых сверхгигантов составляют от 100 до 1000 $R_\odot$.

СВЕРХМАССИВНЫЕ ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ – чёрные дыры, массы которых превышают 100 тыс. масс Солнца. Обнаруживаются в центральных областях ядер крупных галактик.

СВЕРХНОВАЯ – грандиозный взрыв, который иногда демонстрируют массивные звёзды в конце своей эволюции.

СВЕРХНОВЫЕ – звёзды, блеск которых при вспышке в течение нескольких суток

увеличивается на десятки звёздных величин (т. е. в миллионы и даже миллиарды раз), а затем постепенно спадает в течение нескольких месяцев или лет. Первоначально все звёзды, блеск которых внезапно увеличивался в сотни и более раз, называли «новыми» (nova), поскольку они появлялись в тех точках на небе, где ранее не было заметно звёзд. Но когда была установлена внегалактическая природа некоторых туманностей, названных позже галактиками, стало ясно, что вспыхивающие в них звёзды значительно превосходят обычные новые. Для них астрономы Фриц Цвикки (1898–1974) и Вальтер Бааде (1893–1960) предложили название «сверхновые звёзды» (supernova). Обычно к сверхновым относят вспышки с мощностью оптического излучения более 10^{34} Вт. Максимальная оптическая светимость, которой сверхновая достигает в ходе вспышки, лежит в интервале от -13^m до -22^m абсолютной звёздной величины, т. е. от 10 млн до 30 млрд светимостей Солнца. Существует определённый класс сверхновых (тип Ia), имеющих в максимуме блеска почти одинаковую абсолютную звёздную величину, равную $-19{,}4 \pm 0{,}4^m$, что позволяет использовать каждую такую вспышку как «стандартную свечу» для определения расстояния до тех галактик, где наблюдались такие вспышки.

Наиболее известные сверхновые называют по именам описавших их вспышку астрономов (Сверхновая Тихо, Сверхновая Кеплера), по названиям созвездий, в которых они вспыхивали (Сверхновая Орла, Сверхновая Кассиопеи), или по году вспышки (Сверхновая 1054 г.). Яркие сверхновые, естественно, вспыхивали в нашей Галактике. Некоторые из них были видны даже без телескопа. Сохранились исторические записи об их наблюдении. Например, китайские астрономы описали вспышку сверхновой в созвездии Телец в 1054 г., а сейчас мы наблюдаем остаток этого взрыва — Крабовидную туманность. Последние вспышки сверхновых в нашей Галактике наблюдали незадолго до изобретения телескопа (Тихо Браге в 1572 г. и И. Кеплер в 1604 г.).

После изобретения телескопа стали обнаруживаться вспышки сверхновых и в других галактиках. Их обозначают по году вспышки: Сверхновая 1954B, Сверхновая 1987A, где буква в порядке латинского алфавита указывает очерёдность открытия сверхновой в данном году. В каталогах сверхновые обозначают буквами SN (от SuperNova). например, SN 1972C — третья сверхновая 1972 г. Первые 26 сверхновых в каждом году обозначают заглавными буквами от A до Z. Следующие обозначаются парами строчных букв: aa, ab, и т. д. Например, последняя вспышка сверхновой, зарегистрированная в 2005 г., имела обозначение SN 2005nc, указывающее, что она была 367-й по счёту в том году.

До 1950 г. ежегодно обнаруживали единицы вспышек сверхновых, а с 1950 по 1990 г. — десятки. После середины 1990-х гг., когда стали широко использовать электронные приёмники света и компьютеры, ежегодно обнаруживаются сотни вспышек, причём открытия совершают не только профессиональные астрономы, но и любители. Например, в 2007 г. были открыты 572 сверхновые, в 2008 г. — 261, в 2009 г. — 390. Все эти сверхновые обнаруживаются в других галактиках, но не в нашей. В каталоги занесено уже более 3500 вспышек, причём в некоторых галактиках их наблюдали неоднократно. Статистика показывает, что в крупной спиральной галактике (типа нашей) в среднем происходит 1–2 вспышки за столетие. Однако последняя вспышка в нашей Галактике наблюдалась в 1604 г. Правда, методами радио- и рентгеновской астрономии были обнаружены остатки вспышек, происходивших и в более позднее время, но в оптическом диапазоне спектра, т. е. визуально, они не были видны. Причина в том, что вспышки сверхновых в большинстве своём происходят в диске Галактики, и Солнце располагается в диске, где межзвёздное поглощение света очень велико.

Предпринятые в последние годы наблюдения в разных диапазонах спектра позволили выявить остатки вспышек сверхновых, не замеченные визуально. Например, ярчайший радиоисточник на небе — Кассиопея A — оказался остатком вспышки сверхновой, которая должна была наблюдаться 330 лет назад, но не была замечена. Ещё более современный остаток связан с радиоисточником G1.9+0.3 в Стрельце: эту вспышку мы должны были бы увидеть 140 лет назад, если бы место взрыва не находилось в районе центра Галактики. Оттуда оптическое излучение до Земли практически не доходит.

Причиной вспышки звезды как сверхновой служит её взрыв на заключительном этапе эволюции. В результате взрыва звезда почти полностью разрушается. Не исключено, что в некоторых случаях происходит полное разрушение, но достоверно установлено, что после взрывов некоторых сверхновых сохраняется остаток звезды, её сильно сжавшееся ядро — нейтронная звезда или чёрная дыра.

СВЕРХСКОПЛЕНИЕ ГАЛАКТИК — скопление скоплений галактик.

СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ОКУЛЯР — современный окуляр класса C, имеющий в оптической схеме до восьми элементов, с полем зрения до 84°. Вынос выходного зрачка окуляра составляет около $^2/_3$ фокусного расстояния. Окуляр имеет хорошую коррекцию аберраций и подобен по оптической схеме окуляру Нейлера.

СВЕТИМОСТЬ (англ. *luminosity*) — мощность излучения небесного тела (или некоторой его части), т. е. количество энергии, излучаемой им за единицу времени. Измеряется в ваттах (1 Вт = 1 Дж/с = 10^7 эрг/с). Например, светимость Солнца составляет $L_\odot = 3{,}85 \cdot 10^{26}$ Вт. Часто светимость других астрономических объектов выражают в единицах $L_\odot$. Самые маломассивные звёзды имеют светимость порядка $10^{-4}\ L_\odot$, а самые массивные — порядка $10^5\ L_\odot$. Квазары и активные ядра галактик имеют светимость, сопоставимую со светимостью крупной галактики (порядка $10^{11}\ L_\odot \approx 10^{38}$ Вт).

Светимость может быть вычислена по абсолютной звёздной величине объекта. Если тело непрозрачно (имеет большую оптическую толщу), светимость может быть вычислена через поток излучения с единицы поверхности. Например, для сферического абсолютно чёрного тела светимость выражается через его радиус и эффективную температуру.

Говоря о светимости, обычно уточняют диапазон спектра (оптическая светимость, радиосветимость, и т. п.) или указывают, что речь идёт о суммарной мощности излучения во всех диапазонах (полная, или интегральная, или болометрическая светимость). Поток энергии, уносимый частицами, также часто называют светимостью: например, «нейтринная светимость звезды».

СВЕТОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ НОЧНОГО НЕБА — рассеянный в атмосфере свет ночного освещения городов, аэропортов и крупных промышленных объектов, мешающий проведению астрономических наблюдений. Световое загрязнение неба — один из важнейших факторов астроклимата, определяющий выбор мест для строительства крупных обсерваторий. Избыточное ночное освещение является и сильным эмоциональным фактором, нарушающим сон людей и лишающим их эмоционального наслаждения видом звёздного неба.

На протяжении XX в. большинство людей лишилось захватывающего вида Вселенной, которым могли наслаждаться их предки в любую ясную ночь. Распространение электрического освещения и рост городского населения стали причиной быстрого роста яркости неба над городами. Немногие из современных людей видели первозданное тёмное небо. Для городского жителя усыпанное звёздами небо доступно только в планетарии. Комета Хейла–Боппа (1997) была самой зрелищной кометой нашего времени, но из-за засветки городов для большинства людей она выглядела как едва заметный размытый шарик. Даже в сельской местности слабое дворовое освещение часто затмевает великолепие ночного неба. Лесли Пелтье, один из наиболее известных лю-

бителей астрономии XX в., в своей автобиографии с сожалением вспоминает о красоте ночного неба: «На ферме больше не появляются Луна и звёзды. Данное нам Господом право любоваться звёздами фермер разменял на ватты своего круглосуточного солнца. Его дети уже никогда не увидят благословенной темноты небес».

Избыток ночного освещения не только вызывает увеличение яркости неба, но и в целом отрицательно влияет на окружающую среду, вмешиваясь в естественные ритмы биосферы. Избыточное освещение вызывает и прямые формы загрязнения окружающей среды, связанные с добычей, транспортировкой и сжиганием угля и нефти. Лишний свет в основном связан с плохой конструкцией фонарей, рассеивающих лучи горизонтально и вверх, в небо. Это свет ослепляет водителей и пешеходов, подвергая их жизнь риску. При этом бессмысленный расход электроэнергии составляет по всему миру миллиарды долларов в год.

Очень чувствительна к искусственной засветке неба астрономия. Большинство наблюдений, особенно в области внегалактических исследований и космологии, теперь можно проводить лишь в местах, удалённых от крупных городов на сотни километров. Некоторые старые обсерватории, такие как Дэнлоп в Онтарио (Канада), Маунт-Вилсон в Калифорнии (США), Пулковская (Санкт-Петербург) и Московская в России, очень страдают от городской засветки неба. Новые обсерватории располагают в удалённых местах, а любителям астрономии приходится уезжать далеко за город, чтобы проводить свои наблюдения.

Тезис, что теперь все астрономические наблюдения можно проводить из космоса, не выдерживает критики, поскольку не имеет смысла делать за большие деньги в космосе то, что можно значительно дешевле сделать на Земле. Четыре десятилетия космической астрономии показали, что с орбиты нужно наблюдать лишь то, что недоступно на Земле. Большую часть оптических и радионаблюдений с успехом можно проводить из наземных обсерваторий, если не создавать им препятствий в работе.

На территории каждой обсерватории ночное освещение делается минимально ярким; а нередко и полностью отключается во время наблюдений. Но, к сожалению, свет большого города, расположенного даже в 100 км от обсерватории, лишает астрономов возможности наблюдать наиболее тусклые объекты. Поэтому учёные обращаются к местным властям и населению с просьбой о сохранении темноты ночного неба.

Проблема ночной засветки неба была решена с помощью местных властей в ряде крупных обсерваторий Аризоны и Калифорнии. Избежать засветки позволяют фонари с закрытыми лампами, направляющие свет только вниз. В этом случае сам источник света остаётся невидимым со стороны, в отличие от обычных уличных и дворовых фонарей. К тому же имеет место существенная экономия энергии за счёт снижения потерь света. Дополнительная экономия достигается при использовании более эффективных ламп, требующих меньше энергии для получения требуемого количества света.

По критерию роста эффективности уличные светильники располагаются в следующем порядке: лампа накаливания (обычная лампочка, 60), ртутная лампа (бело-голубая, 24), галогенная (белая, 17), натриевая высокого давления (жёлто-оранжевая, 12) и натриевая низкого давления (жёлтая, 8). Числа в скобках указывают мощность лампы в ваттах, необходимую для производства светового потока в 1000 люменов. Как видим, световая эффективность ламп различного типа различается почти в 8 раз. Ещё более эффективны светодиодные лампы, но пока они недостаточно мощны и очень дороги.

Самый дешёвый свет производит натриевая лампа низкого давления; к тому же она даёт почти монохроматический свет, который при астрономических наблюдениях легко может быть «отрезан» с помощью светофильтра. С эстетической точки зрения эти лампы плохи своей одноцветностью, но их с успехом можно использовать для освещения улиц, автомобильных стоянок, для охранного освещения — в общем, в местах, где не требуется цветовое освещение.

Хотя закрытые фонари стоят дороже, чем открытые, но их цена компенсируется дешевизной эксплуатации. В Калифорнии города Лонг-Бич, Сан-Диего и Сан-Хосе, широко используя натриевые лампы низкого давления, экономят каждый год большие суммы. Например, заменив 175-ваттную ртутную лампу на закрытую сверху отражателем 35-ваттную натриевую лампу низкого давления, мы получаем то же количество полезного света без ослепления водителей и рассеяния лишнего света в воздухе. Налицо экономия энергии и улучшение видимости. Калифорнийские астрономы весьма признательны властям за это нововведение.

Яркое освещение улиц ночных городов иногда оправдывают соображениями безопасности. Но до сих пор не доказана связь между усилением освещения и снижением криминала. Ворам и разбойникам тоже требуется свет для их «дел». Наличие охранного освещения часто привлекает внимание и указывает криминальным элементам, что на этот дом или офис следует обратить внимание. Наши города сейчас освещены гораздо сильнее, чем когда-либо, а криминальная ситуация не улучшается. Безопасность можно обеспечить использованием экранированного света, реагирующего на движение и включающегося только в те моменты, когда происходит какое-либо перемещение. Потенциальная опасность быть неожиданно освещённым может стать весьма полезной в борьбе с криминалитетом, не говоря уже об экономии электроэнергии.

Важную роль в сохранении темноты ночного неба играет работа с населением. Необходимо разъяснять, что лишняя засветка стоит денег! Один учитель астрономии сказал как-то: «Меня удивляет, что люди, которые никогда не выбросили бы на землю пластиковую бутылку во время пикника, могут платить лишние деньги каждый месяц за освещение окрестностей никому ненужным рассеянным светом».

Главной силой в решении этого вопроса являются правительственные чиновники, специалисты по освещению городов и астрономы. Их совместные усилия должны помочь. Необходимо «освещать» эту проблему, вырабатывать чёткие рекомендации и доводить их до населения. Существует Международная ассоциация тёмного неба (International Dark-Sky Association, IDA). Это бесприбыльная, освобождённая от налогов организация, стремящаяся довести проблему до населения и убедить его не заливать светом окрестности, сохранить тёмное небо и в то же время, максимально повысить качество и эффективность наружного освещения.

СВЕТОВОЙ ГОД — внесистемная единица расстояния, равная пути, проходимому светом в вакууме, без влияния гравитационных полей, за один земной (юлианский) год; составляет $9{,}46 \cdot 10^{15}$ м, или 0,307 пк. Ранее световым годом называлось расстояние, проходимое светом за один тропический год, отнесённый к эпохе 1900,0. Новое определение отличается от старого примерно на 0,002%. Но поскольку данная единица расстояния не используется для высокоточных измерений, практического различия между старым и новым определениями нет. Световой год удобен для выражения межзвёздных и межгалактических расстояний. Например, расстояние от Солнца до ближайшей звезды Проксима в созвездии Кентавр составляет 4,2 св. года. Расстояние от Солнца до центра Галактики равно приблизительно 26 тыс. св. лет, а диаметр Галактики — более 100 тыс. св. лет. Расстояние до ближайшей крупной галактики (Туманность Андромеды) — около 2,5 млн св. лет.

СВЕТОВОЙ КОНУС — геометрическое место событий (точек пространства-времени), в которые может прийти свет, излучённый в данном событии (в вершине светового конуса), или из которых он может достичь этой вершины.

СВЕТОДЕЛИТЕЛЬ – оптический элемент, разделяющий падающий поток излучения на два отдельных потока, например плоское полупрозрачное зеркало, призма Николя, призма Волластона.

СВЕТОКОЛЛЕКТОР – оптическая система, основным назначением которой является концентрация светового потока от наблюдаемого источника на детекторе, а не построение его высококачественного изображения, как у телескопа. Например, параболические светоколлекторы, собранные из множества небольших зеркальных элементов, применяются в черенковских гамма-детекторах. В силу невысоких требований к точности изготовления оптических элементов стоимость светоколлектора существенно ниже стоимости обычного телескопа того же диаметра.

СВЕТОСИЛА ОБЪЕКТИВА – величина, характеризующая освещённость изображения источника в фокальной плоскости объектива. Численно равна квадрату относительного отверстия объектива: $A^2 = (D/F)^2$, где F – фокусное расстояние объектива, а D – его диаметр. См. *Относительное фокусное расстояние.*

СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФОТОЭМУЛЬСИИ – мера отклика фотографической эмульсии на количество упавшей на единицу её площади лучистой энергии. Чем выше светочувствительность, тем короче может быть экспозиция, необходимая для получения изображения на фотоэмульсии. Для измерения светочувствительности принято несколько систем единиц. Система ISO (International Organization for Standardization, Международная организация стандартизации) является комбинацией двух более ранних систем – линейной ASA (American Standards Association, Американская ассоциация стандартов) и логарифмической DIN (Deutsches Institut für Normung, Немецкий институт стандартов). Первое число в обозначении светочувствительности по ISO соответствует чувствительности по ASA, второе – по DIN. Величина необходимой экспозиции обратно пропорциональна светочувствительности по системе ASA, и уменьшается вдвое при увеличении светочувствительности на три единицы по системе DIN.

Эмульсии низкой чувствительности имеют светочувствительность около ISO 50/18°, эмульсии средней чувствительности – от ISO 100/21° до ISO 200/24°, высокочувствительные – от ISO 400/27° до ISO 1600/34°. Поскольку чувствительные эмульсии имеют больший размер зёрен бромистого серебра, изображения на них получаются более грубыми, более «зернистыми», т. е. имеют более низкое разрешение и не позволяют при печати получить высокое качество при большом увеличении. Для повышения чувствительности эмульсии применяют процедуру гиперсенсибилизации.

СВЕЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ – излучение атомов и молекул в атмосфере Земли. Одна из составляющих ночного фона неба. В ней можно выделить как постоянную часть, так и переменную (например, полярные сияния).

СВОБОДНО-СВОБОДНЫЙ ПЕРЕХОД – излучение, испускаемое (или, реже, поглощаемое) при пролёте свободного электрона вблизи иона. Происхождение названия связано с тем, что свободный электрон не захватывается, а лишь в поле иона переходит из одного свободного энергетического состояния в другое. Это излучение также называют «тормозным излучением», поскольку при излучении снижается скорость электрона.

СВОБОДНО-СВЯЗАННЫЙ ПЕРЕХОД – то же, что *Рекомбинация.*

СЕВЕР – точка пересечения математического горизонта с небесным меридианом, ближайшая к северному полюсу мира. Обозначается буквами С или N (от *north*).

СЕВЕРНАЯ КОРОНА – небольшое экваториальное созвездие, расположенное между Волопасом и Геркулесом. Многие считают его красивейшим из маленьких созвездий. В древности называлось просто Короной или Венцом. Семь сравнительно ярких его звёзд образуют незамкнутое кольцо; поэтому арабы называли эту группу звёзд аль-Факка, «разорванное». Ярчайшая звезда Северной Короны (α CrB) – Гемма или Альфекка. Это затменная двойная типа Алголя, несильно изменяющая свой блеск вблизи $2{,}2^m$ с периодом 17,36 сут. Но Гемма сложнее Алголя: в её спектре видна вторая система линий, которая колеблется с периодом 2,8 сут. Возможно, это третий компонент. Неправильная переменная звезда R CrB почти всегда имеет блеск около 6^m, но иногда неожиданно тускнеет, опускаясь до 9^m, а то и до 14^m, и остаётся в таком состоянии от нескольких месяцев до десяти лет. У южной границы созвездия, рядом со звездой ε CrB. 12 мая 1866 г. вспыхнула новая, получившая обозначение T CrB. Её блеск достиг 2^m, и в течение недели она была видна невооружённым глазом, но через два месяца её блеск упал до 9^m. А 9 февраля 1946 г. она вспыхнула вновь, достигнув блеска 3^m. Такие звёзды называют «повторными новыми». Она видна и в промежутках между вспышками как объект 11^m.

СЕВЕРНЫЙ КРЕСТ – астеризм, состоящий из пяти ярких звёзд, составляющих наиболее заметную часть созвездия Лебедь (Cygnus). Это звезды: Денеб (α Cyg), Альбирео (β Cyg), Садр (γ Cyg), δ Cyg и Гиенах (ε Cyg).

СЕВЕРНЫЙ ПОЛЯРНЫЙ РЯД – 96 звёзд, расположенных в пределах нескольких градусов от северного полюса мира, блеск и цвет которых определен очень точно и поэтому может служить опорой при фотометрических измерерниях всех прочих звёзд. Идея введения Северного полярного ряда (North polar sequence, NPS) принадлежит Эдварду Пикерингу. Эти звезды удобно использовать для калибровки фотометрических приборов при измерении видимых звёздных величин, поскольку они всегда видны в Северном полушарии и практически не меняют свою высоту над горизонтом, что облегчает учёт поглощения света в атмосфере. Звезды Северного полярного ряда образуют фотометрический стандарт, по которому с 1900 по 1950 гг. определялись звёдные величины других небесных светил. Позже Северный полярный ряд стал терять свою актуальность, поскольку в фотометрической системе UBV было введено множество звёзд-стандартов по всему небу.

СЕГМЕНТИРОВАННОЕ ЗЕРКАЛО – главное зеркало крупного телескопа, состоящее из множества отдельных зеркал меньшего размера, расположенных тесно друг к другу так, что их общая поверхность имеет симметричную форму фигуры вращения, например, параболоида или сферы. Иногда такие зеркала называют «мозаичными» или «составными». Фрагменты сегментированного зеркала, вместе составляющие одну поверхность большого размера, необходимо удерживать в правильном относительном положении с высокой точностью, что достигается с помощью системы активной оптики, использующей лазерную или звёздную систему контроля и актюаторы. Сегментированное зеркало легче и дешевле сплошного зеркала того же размера. Сегментированные зеркала используются на телескопах 10-метрового и более крупного калибра: это телескопы «Кек», телескоп «Хобби–Эберли» и им подобные. В будущем, по-видимому, все телескопы диаметром более 10 м будут иметь только такие объективы.

СЕЗОНЫ ГОДА – четыре интервала времени, составляющие год: весна, лето, осень и зима. Астрономы считают, что они начинаются, когда центр Солнца проходит одну из критических точек эклиптики, соответственно, весеннего равноденствия, летнего солнцестояния, осеннего равноденствия и зимнего солнцестояния.

СЕЙФЕРТ, Карл Кинан (Seyfert, Carl K.) (11.02.1911, Кливленд, шт. Огайо, США, – 13.06.1960) – американский астроном. В 1933 г. окончил Гарвардский универ-

ситет, в 1933–1936 г. продолжал изучение астрономии в Гарвардской обсерватории под руководством Х. Шепли. В 1936–1940 гг. работал в обсерватории Мак-Дональд, в 1940–1942 гг. — в обсерватории Маунт-Вилсон. В 1942–1946 гг. преподавал в Технологическом институте Кейза в Кливленде и работал в обсерватории Уорнер и Суэйзи. С 1946 г. профессор университета Вандербилта в Нашвилле (шт. Теннесси), с 1953 г. директор обсерватории им. Артура Дж. Дайера этого университета.

Научные работы Сейферта посвящены изучению галактик и звёзд. Изучая спектры галактик в обсерватории Маунт-Вилсон (шт. Калифорния), первым обратил внимание на то, что в спектрах ядер некоторых галактик видны мощные и широкие эмиссионные линии, указывающие на присутствие там большого количества горячего межзвёздного газа, движущегося со скоростью до нескольких тысяч километров в секунду. Впоследствии такие галактики были названы сейфертовскими. Внешне они ничем не отличаются от нормальных спиральных галактик, но в их ядрах происходят мощные процессы выделения энергии, делающие ядро галактики сильным источником инфракрасного и рентгеновского излучения и приводящие к выбросу из него быстрых потоков газа.

Сейферт изучал также звёзды спектрального класса В, определял функцию светимости звёзд Млечного Пути; совместно с Я. Нассау и С. Мак-Каски получил первые цветные фотографии туманностей и звёздных спектров. Руководил строительством обсерватории им. А. Дайера и созданием её 24-дюймового телескопа, на котором впоследствии проделал многочисленные фотоэлектрические наблюдения затменных переменных звёзд. Он состоял членом многих научных обществ, в том числе Лондонского королевского астрономического общества (с 1946 г.). Погиб в автомобильной катастрофе. Его имя занесено на карту Луны.

СЕЙФЕРТОВСКИЕ ГАЛАКТИКИ — тип спиральных галактик, имеющих активные ядра. Назван в честь американского астронома Карла Сейферта, впервые детально исследовавшего такие галактики в 1940–1942 гг. на обсерватории Маунт Вилсон (США). Особенностью сейфертовских галактик является яркое и очень компактное (звездообразное) ядро с широкими линиями излучения в его спектре. Наличие этих линий указывает на присутствие в ядре большого количества горячего ($T \sim 10^4$ К) межзвёздного газа, движущегося с характерной скоростью в тысячи километров в секунду. К числу сейфертовских принадлежат около 1% спиральных галактик. Не исключено, что большинство спиральных галактик проводят 1% своей жизни в состоянии повышенной активности, то есть как сейфертовские галактики.

СЕККИ, Пьетро Анджело (Secchi, Pietro Angelo) (29.06.1818, Реджо-нель-Эмилия, герцогство Модена, ныне область Эмилия-Романья на севере Италии, — 26.02.1878, Рим) — итальянский астроном, один из пионеров астрофизики, сделавший первый спектральный обзор звёзд и предложивший их классификацию в соответствии с видом спектра. В 1833 г. вступил в орден иезуитов, получил образование в Римском иезуитском колледже. С 1839 г. преподавал физику и математику в иезуитском колледже в Лоретто, а в 1844 г. вернулся в Рим, где занимался теологией и преподавал в Римском колледже. Когда в 1848 г. иезуиты были изгнаны из Рима, отец Анджело Секки непродолжительное время преподавал в Стоунихерст-колледже в Клитеро (графство Ланкашир, Англия), затем в Джорджтаунском университете в Вашингтоне (США). Приобретя репутацию известного астронома, он в 1849 г. получил разрешение вернуться в Рим, где занял пост профессора астрономии и директора обсерватории Римского иезуитского колледжа. Руководил строительством новой обсерватории, в которой затем проводил исследования по звёздной спектроскопии, метеорологии, геодезии и земному магнетизму.

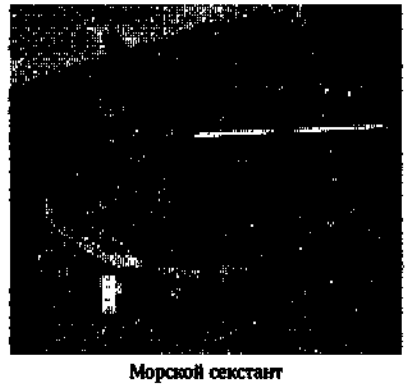
В 1863–1868 гг. Секки визуально изучил спектры около 4000 звёзд и первым выдвинул идею классификации звёздных спектров, разделив их на пять основных типов приблизительно в порядке убывания температуры поверхности звезды (как это подтвердилось позже). Его классификация оставалась общепризнанной до введения в начале XX в. более детальной Гарвардской классификации, выведенной на основе фотографических спектрограмм. Секки выделил также некоторые пекулярные спектры, не укладывавшиеся в обычную классификацию (звёзды с эмиссионными линиями и новые звёзды). Он первым после Фраунгофера успешно использовал объективную призму. Многие годы Секки изучал поверхность Солнца (пятна, гранулы, протуберанцы), разработал теорию его строения, основанную на представлении о газе, находящемся в состоянии сильного сжатия. Он доказал, что протуберанцы, наблюдаемые во время полного солнечного затмения, принадлежат самому Солнцу. Секки открыл многие особенности поведения протуберанцев и подобных им более мелких газовых выбросов, названных позже спикулами. Свои взгляды на природу Солнца он изложил в труде «Солнце» (1870), который получил широкую известность. В 1860 г. он впервые сфотографировал солнечную корону.

Одновременно с У. Хёггинсом (Англия) Секки выполнил первые спектральные наблюдения планет, отметил присутствие в красном участке спектра Юпитера полосы поглощения, впоследствии отождествлённой с метаном. В ранний период занятий астрономией Секки наблюдал планеты (делал зарисовки Марса), туманности, двойные звёзды. В 1859 г. он заметил две тёмные линии на Марсе и дал им название «canali» (проливы), позже принятое Дж. В. Скиапарелли. С помощью спектроскопа Секки установил различие между двумя типами туманностей: одни из них оказались звёздными системами, а другие — газовыми облаками. Заинтересовавшись чёрными пустотами в Млечном Пути, которые Гершель считал «провалами в небесах», Секки настаивал на том, что это гигантские облака тёмных газов, проецирующиеся на светлый фон далёких звёзд. Однако ещё полстолетия астрономы склонны были разделять взгляды Гершеля и находили гипотезу Секки «маловероятной», но впоследствии эта гипотеза полностью подтвердилась.

С 1857 г. Секки являлся членом Парижской АН, с 1877 г. — иностранным членом-корреспондентом Санкт-Петербургской АН. Среди астрономов он получил неофициальное звание «отца астрофизики». Его имя занесено на карты Луны и Марса.

СЕКСТАНТ, или **секстан** (*лат. sextans* — шестая часть) — навигационный прибор, используемый для измерения высоты светила над горизонтом с целью определения географических координат той местности, в которой производится измерение. Например, измерив высоту Солнца в астрономический полдень, можно, зная дату измерения, вычислить широту местности. Строго говоря, секстант позволяет точно измерять угол между двумя направлениями. Зная высоту маяка (с карты), можно узнать расстояние до него, измерив угол между направлением на основание маяка и направлением на верхнюю часть и произведя несложный расчёт. Также можно измерять горизонтальный угол (т. е. в плоскости горизонта) между направлениями на разные объекты.

Длина шкалы секстанта составляет $^1/_6$ от полного круга, или 60°, с чем связано



Морской секстант

его название. В секстанте используется принцип совмещения изображений двух объектов при помощи двойного отражения одного из них. Секстант независимо изобрели в 1730 г. английский математик Джон Хадли и американский изобретатель Томас Годфри.

СЕКСТАНТ — экваториальное созвездие, весьма неприметное, расположено к югу от Льва и не содержит звёзд ярче 4,5 величины. Введено Яном Гевелием как Небесный Секстант в честь его любимого астрономического прибора, сгоревшего вместе с обсерваторией в 1679 г. Наиболее интересный объект — яркая (10^m) сильно вытянутая эллиптическая галактика Веретено (NGC 3115). В этом же созвездии видна и карликовая сфероидальная галактика Sextans, удалённая от нас всего на 280 тыс. св. лет.

СЕКТОРНАЯ СТРУКТУРА МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ — структура межпланетного магнитного поля в экваториальной плоскости Солнца, характеризующаяся чередованием спиральных секторов, в каждом из которых радиальная составляющая межпланетного магнитного поля направлена либо к Солнцу, либо от него.

СЕКУНДА — единица времени, равная промежутку времени, за который происходит ровно 9 192 631 770 колебаний излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома ^{133}Cs (это единственный стабильный изотоп цезия) при отсутствии возмущений, вызванных внешними полями. Длительность этой атомной секунды подобрана таким образом, чтобы средние солнечные сутки равнялись 86 400 с. Определённая так секунда служит одной из основных единиц Международной системы единиц (СИ). В астрономии секунда сначала определялась через длительность средних солнечных суток, а затем как $^1/_{31556925,9747}$ часть тропического года (на 1900 г.). Нынешнее определение «атомной» секунды было принято в 1967 г. Оно не связано с движением Земли, поэтому позволяет с высокой точностью исследовать само это движение.

СЕКУНДА (единица угла в астрономии): кроме обычного употребления в качестве единицы времени, в астрономии секунды иногда используются и для измерения углов. При этом полной окружности ставится в соответствие количество часов в сутках ($360° \approx 24^h$), тогда $1^h = 15°$, $1^m = 15'$ и $1^s = 15''$. Это соответствие основано на видимом движении экваториальных небесных светил, составляющем $15''$ в течение 1 секунды звёздного времени.

СЕКУНДА (единица угла в геометрии) — $^1/_{60}$ доля минуты = $^1/_{3600}$ доля градуса = $^1/_{1296000}$ доля окружности. Обозначается как $1''$. Используется в астрономии под названием «секунда дуги» или «угловая секунда» во избежание путаницы с секундой времени.

СЕЛЕНОГРАФИЯ (греч. *selene* — Луна и *...графия*) — раздел астрономии, посвящённый описанию форм поверхности Луны. Чаще употребляются термины «селенодезия», «селенология».

СЕЛЕНОДЕЗИЯ (греч. *selene* Луна и *daio* — делю) — раздел планетологии, изучающий фигуру и размеры Луны.

СЕЛЕНОЛОГИЯ (греч. *selene* — Луна и *...логия*) — раздел планетологии, изучающий строение и химико-минералогический состав Луны.

СЕРЕБРЕНИЕ — нанесение тонкой плёнки металлического серебра на поверхность оптической детали для получения отражающего (зеркального) слоя. Серебрение зеркал обычно выполняется химическим путём. Свежий серебряный слой имеет высокий коэффициент отражения, но сравнительно быстро тускнеет под воздействием окружающей среды (в основном за счёт образования сульфидов и хлоридов), поэтому главным способом получения зеркальных покрытий в настоящее время служит алюминирование.

СЕРИЯ БАЛЬМЕРА — серия спектральных линий атома водорода, возникающих при его переходах между первым возбуждённым энергетическим уровнем и всеми более высокими. См. *Линии Бальмера*.

СЕРИЯ ЛАЙМАНА — серия спектральных линий атома водорода, возникающих при его переходах между нижним (основным) энергетическим уровнем и всеми более высокими.

СЕРЕБРИСТЫЕ ОБЛАКА — светлые полупрозрачные облака, которые иногда видны летней ночью в средних и высоких широтах на фоне полярного сегмента неба (т. е. видны на севере в Северном полушарии и на юге — в Южном). Серебристые облака называют также полярными мезосферными облаками (polar mesospheric clouds, PMC) или ночными светящимися облаками (noctilucent clouds, NLC). Именно последнее название, наиболее точно отвечающее их внешнему виду и условиям их наблюдения, принято как стандартное в международной практике. Это самые высокие облачные образования в земной атмосфере: они образуются у верхней границы мезосферы, на высотах 80–90 км, и видны ночью, потому что освещаются Солнцем из-под горизонта. Центрами конденсации влаги при этом, вероятно, служат частицы метеоритной пыли.

Наблюдать серебристые облака можно лишь в летние месяцы, в Северном полушарии, как правило, с середины июня до середины июля, и лишь на географических широтах от 45° до 70°, причём в большинстве случаев от 55° до 65°. В Южном полушарии — в конце декабря и в январе на широтах от 40° до 65°. В это время года и на этих широтах Солнце даже в полночь опускается не очень глубоко под горизонт, и его скользящие лучи освещают стратосферу, где на высоте в среднем около 83 км появляются серебристые облака. Как правило, они видны невысоко над горизонтом, на высоте от 3° до 15° в северной части неба (для наблюдателей Северного полушария). При внимательном наблюдении их замечают ежегодно, но высокой яркости они достигают далеко не каждый год. Зона максимальной частоты наблюдения серебристых облаков в Северном полушарии проходит по широте 55–58°. В эту полосу попадают многие крупные города России: Москва, Екатеринбург, Ижевск, Казань, Красноярск, Нижний Новгород, Новосибирск, Челябинск и др. — и лишь несколько городов Северной Европы и Канады.

Днём, даже на фоне чистого голубого неба, эти облака не видны: очень уж они тонкие, «эфирные». Лишь глубокие сумерки и ночная тьма делают их заметными для наземного наблюдателя. Правда, с помощью аппаратуры, поднятой на большие высоты, эти облака можно регистрировать и в дневное время. Легко убедиться в поразительной прозрачности серебристых облаков: ночью сквозь них прекрасно видны звёзды.

Для геофизики серебристые облака представляют большой интерес, поскольку рождаются в области температурного минимума, где атмосфера охлаждена до −70 °C, а иногда и до −100 °C. Высоты от 50 до 150 км исследованы слабо, поскольку самолёты и аэростаты туда не могут подняться, а искусственные спутники Земли не могут надолго туда опуститься. Поэтому до сих пор нет надёжных данных об условиях на этих высотах и о природе серебристых облаков, которые, в отличие от низких тропосферных облаков, находятся в зоне активного взаимодействия атмосферы Земли с космическим пространством. Межпланетная пыль, метеорное вещество, заряженные частицы солнечного и космического происхождения, магнитные поля постоянно участвуют в физико-химических процессах, происходящих в верхней атмосфере. Результаты этого взаимодействия наблюдаются в виде полярных сияний, свечения атмосферы, метеорных явлений, изменений цвета и продолжительности сумерек. Предстоит ещё выяснить, какую

роль эти явления играют в развитии серебристых облаков.

Серебристые облака служат важным источником данных о ветрах на больших высотах и о волновых движениях в мезопаузе, что существенно дополняет исследование её динамики методами радиолокации метеорных следов, ракетным и лазерным зондированием. Обширные площади и значительное время существования облачных полей дают уникальную возможность для прямого определения параметров атмосферных волн различного типа и их временной эволюции.

В силу географических особенностей этого явления серебристые облака изучаются в основном в Северной Европе, России и Канаде. Российские учёные внесли и ныне вносят в эту работу весьма значительный вклад, причём немалую роль играют квалифицированные наблюдения, полученные любителями науки.

Открытие серебристых облаков. Упоминания о ночных светящихся облаках встречаются в работах европейских учёных XVII–XVIII вв., но они имеют отрывочный и нечёткий характер. Временем открытия серебристых облаков стал июнь 1885 г., когда их заметили сразу десятки наблюдателей в разных странах. Первооткрывателями этого явления считаются Т. Бэкхаус, наблюдавший их 8 июня в Киссингене (Германия), и астроном Московского университета Витольд Карлович Цераский, обнаруживший их независимо и впервые наблюдавший вечером 12 июня (по новому стилю). Вместе с астрофизиком А. А. Белопольским Цераский подробно изучил серебристые облака и впервые определил их высоту, получив значения от 73 до 83 км, подтверждённые через три года немецким метеорологом Отто Иессе.

Наблюдение серебристых облаков. С поверхности Земли серебристые облака могут наблюдаться только в период глубоких сумерек, на фоне почти чёрного неба и, разумеется, при отсутствии более низких, тропосферных облаков. Необходимо отличать сумеречное небо от зорового неба. Зори наблюдаются в период ранних гражданских сумерек, когда центр солнечного диска опускается под горизонт наблюдателя на глубину от 0° до 6°. Солнечные лучи при этом освещают всю толщу слоёв нижней атмосферы и нижнюю кромку тропосферных облаков. Заря характерна богатым разнообразием ярких красок. Во вторую половину гражданских сумерек (глубина Солнца от 3° до 6°) западная часть небосвода имеет ещё довольно яркое зоревое освещение, но в соседних участках небо уже приобретает глубокие тёмно-синие и сине-зелёные оттенки. Область наибольшей яркости неба в этот период называют сумеречным сегментом.

Наиболее благоприятные условия для обнаружения серебристых облаков создаются в период навигационных сумерек, при погружении Солнца под горизонт на 6–12° (в конце июня в средних широтах это бывает часа за 1,5–2 до истинной полночи). В это время земная тень закрывает нижние, наиболее плотные, запылённые слои атмосферы, и освещаются только разреженные слои начиная с мезосферы. Рассеянный в мезосфере солнечный свет образует слабое сияние сумеречного неба; на этом фоне легко обнаруживается свечение серебристых облаков, которые привлекают к себе внимание даже случайных свидетелей. Различные наблюдатели определяют их цвет как жемчужно-серебристый с голубоватым отливом или бело-голубой.

В условиях сумерек цвет серебристых облаков кажется необычным. Порой они как бы фосфоресцируют. По ним движутся еле заметные тени. Отдельные участки облачного поля становятся значительно ярче других; через несколько минут более яркими могут оказаться соседние участки.

Несмотря на то, что скорость ветра в стратосфере составляет 100–300 м/с, большая высота серебристых облаков делает их почти неподвижными в поле зрения телескопа или фотокамеры. Поэтому первые фотографии этих облаков были получены О. Иессе ещё в 1887 г. Несколько групп исследователей во всем мире систематически изучают серебристые облака в Северном и Южном полушариях. Исследование серебристых облаков, как и других трудно прогнозируемых явлений природы, предполагает широкое привлечение любителей науки. Каждый естествоиспытатель, независимо от его основной профессии, может внести свой вклад в коллекцию фактов об этом замечательном атмосферном явлении. Качественную фотографию серебристых облаков можно получить с помощью простейшей любительской камеры. При диафрагме 2,8–3,5 и чувствительности 200 ISO рекомендуются выдержки от 2 до 10 секунд. Очень важно, чтобы во время экспозиции камера не дрожала; для этого желательно использовать надёжный штатив или прижать камеру к косяку окна, дереву или камню.

По внешнему виду серебристые облака имеют некоторое сходство с высокими перистыми облаками. Для описания структурных форм серебристых облаков при их визуальном наблюдении разработана международная морфологическая классификация:

Тип I. «Флёр» — наиболее простая, ровная форма, заполняющая пространство между более сложными, контрастными деталями и имеющая туманное строение и слабое нежно-белое с голубоватым оттенком свечение.

Тип II. «Полосы», напоминающие узкие струйки, как будто бы увлекаемые потоками воздуха. Часто располагаются группами по несколько штук, параллельно друг другу или переплетаясь под небольшим углом. Полосы делят на две группы — размытые (II-a) и резко очерченные (II-b).

Тип III. «Волны» подразделяют на три группы. Гребешки (III-a) — участки с частым расположением узких, резко очерченных параллельных полос, наподобие лёгкой ряби на поверхности воды при небольшом порыве ветра. Гребни (III-b) име-



Серебристые облака над Москвой 21 июля 2006 г. в 3:30. Фото В. Г. Сурдина

ют более заметные признаки волновой природы; расстояние между соседними гребнями в 10–20 раз больше, чем у гребешков. Волнообразные изгибы (III-c) образуются в результате искривления поверхности облаков, занятой другими формами (полосами, гребешками).

Тип IV. «Вихри» также подразделяют на три группы. Завихрения с малым радиусом (IV-a): от 0,1° до 0,5°, т. е. не больше лунного диска. Они изгибают или полностью скручивают полосы, гребешки, а иногда и флёр, образуя кольцо с тёмным пространством в середине, напоминающее лунный кратер. Завихрения в виде простого изгиба одной или нескольких полос в сторону от основного направления (IV-b). Мощные вихревые выбросы «светящейся» материи в сторону от основного облака (IV-c); это редкое образование характерно быстрой изменчивостью своей формы.

Свойства и природа серебристых облаков. Диапазон высот, на которых образуются серебристые облака, вообще весьма стабилен (73–95 км), но в некоторые годы он сужается до 81–85 км, а иногда расширяется до 60–118 км. Часто облачное поле состоит из нескольких довольно узких по высоте слоёв. Основной причиной свечения облаков служит рассеяние ими солнечного света, но не исключено, что некоторую роль играет и эффект люминесценции под действием ультрафиолетовых лучей Солнца.

Прозрачность серебристых облаков чрезвычайно высока: обычное облачное поле задерживает всего около 0,001% проходящего сквозь него света. Именно характер рассеяния солнечного света серебристыми облаками позволил установить, что они представляют собой скопления частиц размером 0,1–0,7 мкм. О природе этих частиц высказывались разные гипотезы: предполагалось, что это могут быть ледяные кристаллы, мелкие частицы вулканической пыли, кристаллы поваренной соли в ледяной «шубе», космическая пыль, частицы метеорного или кометного происхождения.

Яркие серебристые облака, впервые наблюдавшиеся в 1885–1892 гг. и, по-видимому, не замечавшиеся до этого, наводили на мысль, что их появление связано с мощным катастрофическим процессом. Таким явлением было извержение вулкана Кракатау в Индонезии 27 августа 1883 г. По сути, это был колоссальный взрыв с энергией, равной взрыву двадцати водородных бомб (20 Мт ТНТ). В атмосферу было выброшено около 35 млн т вулканической пыли, поднявшейся на высоту до 30 км, и огромная масса водяного пара. После взрыва Кракатау были замечены оптические аномалии: светлые зори, уменьшение прозрачности атмосферы, поляризационные аномалии, кольцо Бишопа (коричнево-красный венец вокруг Солнца с внешним угловым радиусом около 22° и шириной 10°; небо внутри кольца светлое с голубоватым оттенком). Эти аномалии продолжались около двух лет, постепенно ослабевая, и серебристые облака появились лишь к концу этого срока.

Гипотезу о вулканической природе серебристых облаков первым высказал немецкий исследователь В. Кольрауш в 1887 г.; он считал их сконденсировавшимися парами воды, выброшенными при извержении. О. Иессе в 1888–1990 гг. развил эту идею, полагая, что это не вода, а какой-то неизвестный газ (возможно, водород) был выброшен вулканом и замёрз в виде мелких кристаллов. Высказывались мнения, что вулканическая пыль также играет роль в формирования серебристых облаков, поскольку служит центрами кристаллизации водяного пара.

Накопление наблюдательных данных давало факты, говорившие не в пользу вулканической гипотезы. Анализ световых аномалий после крупнейших вулканических извержений (Мон-Пеле, 1902; Катмаи, 1912; Кордильеры, 1932) показал, что лишь в редких случаях они сопровождались появлением серебристых облаков; скорее всего это были случайные совпадения. В настоящее время вулканическая гипотеза, которая в начале XX в. считалась общепринятой и даже проникла в учебники метеорологии, имеет лишь историческое значение.

Возникновение метеорной гипотезы происхождения серебристых облаков связано с грандиозным природным явлением – Тунгусской катастрофой 30 июня 1908 г. С точки зрения наблюдателей, среди которых были весьма опытные астрономы и метеорологи, это явление проявило себя главным образом различными оптическими аномалиями, наблюдавшимися во многих европейских государствах, в европейской части России и Западной Сибири, вплоть до Красноярска. Наряду со светлыми зорями и белыми ночами, наступившими там, где их обычно даже в конце июня не бывает, многие наблюдатели отметили появление серебристых облаков. В 1908 г. никто из очевидцев оптических аномалий и светящихся облаков не знал о Тунгусском метеорите. Сведения о нём появились в печати значительно позже.

В 1926 г. мысль о связи между этими двумя явлениями была независимо высказана первым исследователем места Тунгусской катастрофы Л. А. Куликом и метеорологом Л. Апостоловым. Леонид Алексеевич Кулик развил свою гипотезу, предложив вполне определённый механизм образования серебристых облаков. Он считал, что не только крупные метеориты, но и обычные метеоры, полностью разрушающиеся как раз на высотах 80 – 100 км, поставляют в мезосферу продукты своей возгонки, которые конденсируются затем в частицы тончайшей пыли, формирующей облака.

В 1930 г. американский астроном Х. Шепли, а в 1934 г. независимо от него английский метеоролог Ф. Дж. Уиппл высказали гипотезу, что Тунгусский метеорит был ядром небольшой кометы с пылевым хвостом. Проникновение вещества хвоста в земную атмосферу привело, по их мнению, к возникновению оптических аномалий и к появлению серебристых облаков. Впрочем, представление о том, что причиной оптических аномалий 1908 г. было прохождение Земли сквозь облако космической пыли, высказал ещё в 1908 г. один из очевидцев светлых ночей того периода Ф. де Руа, конечно, ничего не знавший о Тунгусском метеорите.

В последующие годы метеорную гипотезу поддерживали и развивали многие астрономы, стремясь объяснить с её помощью наблюдаемые особенности серебристых облаков – их морфологию, широтное и временное распределение, оптические свойства и т. п. Однако метеорная гипотеза в её чистом виде с этой задачей не справилась, и с 1960 г. её развитие практически прекратилось. Но роль метеорных частиц как ядер конденсации и роста кристаллов льда, составляющих серебристые облака, до сих пор остаётся бесспорной.

Сама по себе конденсационная (ледяная) гипотеза развивалась независимо с 1917 г., но долгое время не имела достаточных экспериментальных оснований. В 1925 г. немецкий геофизик А. Вегенер на основе этой гипотезы рассчитал, что для конденсации пара в ледяные кристаллы на высоте 80 км температура воздуха должна быть около –100 °С; как выяснилось в ходе ракетных экспериментов спустя 30 лет, Вегенер оказался недалёк от истины. Начиная с 1950 г. в работах В. А. Бронштэна, И. А. Хвостикова и др. была развита метеорно-конденсационная гипотеза серебристых облаков; в ней метеорные частицы играют роль ядер конденсации, без которых образование в атмосфере капель и кристаллов из пара чрезвычайно затруднено. Эта гипотеза опирается на результаты ракетных экспериментов, в ходе которых на высотах 80–100 км были собраны микроскопические твёрдые частицы с намёрзшей на них ледяной «шубой»; при запуске ракет в зону наблюдавшихся серебристых облаков количество таких частиц оказывалось в сотню раз больше, чем в отсутствие облаков.

Впрочем, надёжной теории серебристых облаков, дающей возможность прогнозировать это явление природы и даже управлять им, до сих пор нет. Многие факты в этой области неполны и противоречивы. Серебристые облака продолжают оставаться волнующей проблемой для естествоиспытателей.

СЕТЕБОС (U XIX, Setebos) – естественный спутник Урана. Его открыли Джон Кавелаарс, Б. Глэдман, М. Холман и др. 18 июля 1999 г. Большая полуось орбиты 17 418 тыс. км. Орбитальный период 2225,21 сут. Эксцентриситет орбиты 0,5914. Наклонение орбиты к эклиптике 158°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Диаметр около 48 км. Масса около $7{,}5 \cdot 10^{16}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Альбедо около 4%. Видимый блеск 23^m и максимальное угловое расстояние от планеты 35′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 65 K.

СЕТКА – маленькое южное созвездие. Вводя его, Н. Лакайль имел в виду шкалу, нанесённую на прозрачный материал, или изготовленную в виде сетки паутинных нитей, которую используют в оптических измерительных инструментах. Первоначально созвездие так и называлось – Ромбоидальная Сетка. Его ярчайшие звёзды действительно образуют ромбик. Для наблюдения в бинокль представляет интерес система ζ Ret, лежащая на границе с созвездием Часы. Это две звезды 5 звёздной величины, разделённые углом 5′. Обе они имеют спектральный класс G2V и как две капли воды похожи на наше Солнце.

СЕТЧАТКА – биологический слой на задней стенке глазного яблока, состоящий из светочувствительных клеток. Сетчатка содержит два типа светочувствительных клеток, названных в соответствии с их формой палочками и колбочками. Имеется три разновидности колбочек, чувствительных, соответственно, в красной, жёлтой и голубой областях спектра и обеспечивающих возможность видеть цвета. Палочки чувствительны только в жёлто-зелёной части спектра. При ярком свете палочки быстро истощают светочувствительное вещество – зрительный пурпур (родопсин), и работает в основном колбочковое зрение. При низком уровне освещённости родопсин в палочках медленно восстанавливается. После полного восстановления родопсина чувствительность палочек более чем в сто раз превышает чувствительность колбочек. Таким образом, зрительное восприятие при слабом освещении происходит благодаря палочкам сетчатки. Вследствие этой особенности зрительных клеток наблюдаются два явления: адаптация зрения к темноте (темновая адаптация) и чёрно-белое зрение при низкой освещённости («ночью все кошки серы»).

Палочки и колбочки неравномерно распределены по площади сетчатки. Колбочки концентрируются вокруг так называемой центральной ямки – области, на которую попадает изображение предмета, когда на него смотрят прямо, в упор. С удалением от центральной ямки количество колбочек уменьшается, а количество палочек растёт. Если смотреть прямо на слабо светящийся объект, его изображение попадает на центральную ямку, устланную низкочувствительными колбочками, и поэтому может оказаться незамеченным. Чтобы заметить такой объект, применяют способ, известный как «боковое зрение»: отводят взгляд немного в сторону, чтобы изображение слабого объекта сместилось в область сетчатки, где преобладают более чувствительные палочки. Нередко это позволяет заметить объект (например, тусклую звезду), хотя чёткость изображения при этом снижается.

Сетчатка человеческого глаза в среднем содержит около 10^8 палочек и около $6 \cdot 10^6$ колбочек, а зрительный нерв – лишь около 10^6 нервных волокон. Следовательно, сигнал на одно нервное волокно поступает сразу от нескольких соседних зрительных клеток (палочек или колбочек), что приводит к таким явлениям, как иррадиация и эффект чёрной капли.

СЕТЬ ДАЛЬНЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ – сеть больших радиотелескопов, оснащённых мощными передатчиками и распределённых по всему миру для обеспечения непрерывной связи с межпланетными космическими аппаратами.

СЕЧЕНИЕ ИОНИЗАЦИИ – коэффициент, характеризующий вероятность ионизации.

СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ – алгоритм, позволяющий хранить электронное изображение с использованием меньшего объёма памяти. При построении алгоритмов сжатия изображений, полностью сохраняющих информацию (сжатие без потерь), в основном используют три подхода:

1) сохранение разностей интенсивности в соседних пикселях вместо сохранения их абсолютных значений;

2) счёт повторений одинаковых значений интенсивности в соседних пикселях;

3) сохранение серий значений в пикселях с использованием кодирования.

Степень сжатия изображений с использованием перечисленных подходов составляет от 5 до 10 раз, хотя выигрыш для зашумлённых изображений обычно ниже.

Сжатие с потерей информации, при котором часть исходной информации необратимо теряется, можно использовать для изображений с высоким уровнем шума, поскольку при их сжатии исчезают в основном незначимые (мелкие) детали.

СЖАТИЕ ПЛАНЕТЫ – см. *Сплюснутость планеты.*

СИАРНАК (S XXIX, Siarnaq) – естественный спутник Сатурна. Его открыл в 2000 г. канадский астроном Б. Глэдман (Brett J. Gladman) с коллегами. Спутник назван в честь персонажа эскимосской мифологии. Большая полуось орбиты 17 531 тыс. км. Орбитальный период 895,55 сут. Эксцентриситет орбиты 0,296. Наклонение орбиты к эклиптике 46,0°; спутник обращается по орбите в прямом направлении, т. е. в сторону вращения планеты. Размер 40 км. Альбедо около 0,04. Цвет красноватый. Видимый блеск $20{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 59′ 28″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Существует предположение, что Сиарнак и другие спутники «эскимосской» группы (Кивиок, Паллак, Иджирак) имеют общее происхождение: возможно, являются осколками более крупного тела.

СИБИРСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ РАДИОТЕЛЕСКОП (ССРТ) – крестообразный радиоинтерферометр, состоящий из двух линий, ориентированных в направлениях восток–запад и север–юг. В каждой линии установлено 128 параболических антенн диаметром 2,5 м, расположенных на равном расстоянии в 4,9 м друг от друга. Радиотелескоп предназначен для изучения солнечной атмосферы в микроволновом диапазоне (5,7 ГГц). Введён в эксплуатацию в 1984 г. Находится на территории Радиоастрофизической обсерватории «Бадары», принадлежащей Институту солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН). Обсерватория расположена в Тункинской долине, между хребтами Восточных Саян и Хамар-Дабан, в 220 км от г. Иркутск (Россия).

СИДЕРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД (лат. *sidus*, р. п. *sideris* – небесное светило) – период обращения тела по орбите или его вращения вокруг собственной оси, определённый в невращающейся системе координат, т. е., как было принято говорить, относительно звёзд. Иными словами, сидерический период – это время, которое затрачивает планета на один орбитальный (или суточный) оборот, начиная и заканчивая его на линии, проведённой из центра Солнца в фиксированном направлении на небесной сфере.

СИДЕРОСТАТ (лат. *sidus (sideris)* – звезда + греч. *statos* – стоящий) – вспомогательное плоское зеркало перед объективом неподвижного телескопа, позволяющее ему следить за небесными объектами. Оптическая ось телескопа направлена в полюс мира, а зеркало сидеростата вращается вокруг этой оси с периодом в 24 часа, отслеживая суточное движение небосвода. Для наведения на конкретный объект меняют наклон зеркала по скло-

нению. Исторически сидеростат предшествовал целостату. В основном их используют для наблюдений Солнца: целостат — в горизонтальных и вертикальных телескопах, а сидеростат — в наклонных (полярных). Преимущество сидеростата — одно зеркало (у целостата их два); недостаток — вращение изображения объекта в фокусе телескопа.

СИЗИГИИ (греч. *syzygia* — соединение, пара) — общее название двух фаз Луны: новолуния и полнолуния.

СИКОРАКСА (U XVII, Sycorax) — естественный спутник Урана. Его открыли Фил Николсон и его коллеги (Глэдман, Кавелаарс и др.) 6 сентября 1997 г. с помощью 5-метрового телескопа «Хейл» Паломарской обсерватории. Большая полуось орбиты 12 179 тыс. км. Орбитальный период 1288,28 сут. Эксцентриситет орбиты 0,5224. Наклонение орбиты к эклиптике 159°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Диаметр около 150 км. Масса около $2{,}3\cdot10^{18}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Период вращения 3,6 часа. Альбедо около 4%. Видимый блеск 20,8^m и максимальное угловое расстояние от планеты 23,5′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 65 К.

СИЛА ЛОРЕНЦА — сила, действующая на заряженную частицу во внешнем электромагнитном поле. В векторной форме она равна $F=F_E+F_B=eE+[vB]e/c$ (в единицах системы СГС), где e и v — заряд и скорость частицы, E и B — электрическое и магнитное поля.

Электрическая составляющая силы Лоренца F_E ускоряет частицу вдоль E. Магнитная составляющая F_B перпендикулярна v и B, т. е. F_B искривляет траекторию частицы, но не меняет её энергию; её абсолютная величина $F_B = eB(v/c)\sin\alpha$, где α — угол между v и B.

В постоянном однородном магнитном поле частица под действием F_B движется с постоянной (по абсолютной величине) скоростью по винтовой линии с осью, направленной вдоль B, и радиусом (ларморовский радиус) $r=v_\perp/2\pi\nu_B^{(рел)}$, где $v_\perp$ — составляющая скорости поперёк B, $\nu_B^{(рел)}=(|e|B/2\pi mc)[1-(v/c)^2]^{1/2}$ — частота вращения частицы вокруг B (циклотронная частота, она же гирочастота или гиромагнитная частота), m — масса частицы. Шаг винтовой линии равен $2\pi r(v_\parallel/v_\perp)$, где $v_\parallel$ — составляющая v вдоль B.

В общем случае, когда частица находится в отличных от нуля полях E и B, её движение усложняется. Составляющая E вдоль B приводит к росту со временем шага винтовой линии, а составляющая E поперёк B — к электрическому дрейфу частицы, т. е. к перемещению центра вращения перпендикулярно E и B со скоростью $u=c[EB]/B^2$ (при $u\ll c$). Дрейф возникает и под действием других сил, не параллельных B (например, силы тяжести), а также в случае, если магнитное поле неоднородно.

Сила Лоренца входит в кинетические уравнения для частиц плазмы и (в усреднённом виде) в уравнения магнитогидродинамики. Она определяет поведение плазмы в магнитосферах планет и звёзд, межзвёздной среде и т. п.

СИЛА ОСЦИЛЛЯТОРА — безразмерная величина, через которую выражаются вероятности квантовых переходов в процессах излучения, фотопоглощения и кулоновского возбуждения атомных, молекулярных или ядерных систем. С помощью силы осциллятора находят вероятности спонтанного и вынужденного испускания и поглощения света, поляризуемости атомов, ширины уровней энергии и спектральных линий и другие важные характеристики систем. Силу осциллятора вводят для описания дипольных электрических и магнитных, а также электрических квадрупольных излучений. В случае электронных переходов в атомах электрические дипольные силы осцилляторов, как правило, порядка десятых долей единицы, а для магнитных дипольных и электрических квадрупольных переходов — порядка 10^{-6}–10^{-8}. Сила осциллятора определяет интенсивность спектральной линии. За исключением водорода и водородоподобных ионов (атомов, потерявших все электроны, кроме одного), силы осцилляторов можно определить только экспериментально. Отсутствие данных о силе осцилляторов, а также низкая точность уже измеренных служат главным ограничителем при интерпретации звёздных спектров.

СИМБИОТИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА — физическая двойная звезда, в спектре которой содержатся молекулярные полосы поглощения (как правило, полосы молекулы TiO), а также эмиссионные линии ионизованных элементов, такие как He II 4686 Å и [O III] 5007 Å. Такой спектр не может принадлежать одному источнику с определённой температурой, поскольку существование молекул возможно лишь при относительно невысокой температуре (иначе происходит диссоциация, разрушение молекул), а для ионизации атомов (особенно гелия) требуется очень высокая температура. Поэтому подобные спектры называют синтетическими.

Компонентами симбиотической двойной звезды являются красный гигант и маленькая горячая звезда, например белый карлик. При этом обе они окружены туманностью. Вероятно, симбиотические звёзды служат предшественниками планетарных туманностей. В ходе эволюции такой системы, по мере перетекания вещества из атмосферы красного гиганта на поверхность белого карлика, его масса в некоторых случаях может превысить критическую (см. *Предел Чандрасекара*), что может привести к взрыву сверхновой типа Ia. Эти мощнейшие взрывы видны с очень больших расстояний и служат «стандартными свечами» при изучении структуры Вселенной.

Спектры симбиотических звёзд дают основания полагать, что существуют три области излучения: две звезды, входящие в систему, и окружающая их туманность. Считается, что туманность порождена красным гигантом, который в результате звёздного ветра или пульсаций быстро теряет массу. Симбиотическая фаза приходится на позднюю стадию эволюции и составляет короткий промежуток жизни двойной звезды. Из-за непродолжительности этой фазы симбиотические звёзды встречаются очень редко: астрономам известно всего несколько сотен таких объектов. Одной из ближайших звёзд этого типа является CH Лебедя (CH Cyg). Большинство симбиотических звёзд обнаружено в нашей Галактике, но несколько таких объектов найдено в Магеллановых Облаках и в карликовой галактике в созвездии Дракон.

СИНГУЛЯРНОСТЬ — место, где кривизна пространства-времени обращается в бесконечность (например, в центре чёрной дыры).

СИНОДИЧЕСКИЙ ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ (греч. *synodos* — соединение) — время, которое затрачивает планета на один орбитальный оборот, начиная и заканчивая его на линии, проведённой от центра Земли к центру Солнца, т. е. это период обращения небесного тела по орбите, определённый с позиции земного наблюдателя. Из-за движения Земли по орбите он не совпадает с сидерическим периодом обращения. Синодический период обращения планеты вокруг Солнца равен времени между её двумя последовательными одноимёнными конфигурациями, например нижними соединениями. Таким образом, синодический период обращения планеты совпадает с периодом изменения её фаз. Для движения по круговым орбитам можно получить связь между синодическим (S) и сидерическим (T) периодами обращения планеты: для нижних планет $1/S=1/T-1/T_0$, для верхних планет $1/S=1/T_0-1/T$, где T_0 — сидерический период Земли, т. е. 1 звёздный год.

Иногда говорят и о синодическом периоде вращения тела, т. е. о периоде его вращения вокруг оси относительно направления на Землю. Так, синодический период вращения экваториальных слоёв Солнца составляет 26,8 сут, а сидерический — 25,4 сут.

СИНОПЕ (*J IX*, Sinope) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Сет Барнз Никольсон (1914). Большая полуось орбиты 24 058 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 762,3 сут. Эксцентриситет орбиты 0,275. Наклонение орбиты к эклиптике 128°. Диаметр около 34 км. Масса $7{,}5 \cdot 10^{16}$ кг. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 1,4 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 23 м/с. Альбедо около 4%. Блеск 18,3^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°47′39″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К. Между 1955 и 1975 гг. проходил под именем Гадес (т. е. Аид, бог царства мёртвых).

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – электромагнитное излучение, возникающее при движении в магнитном поле быстрых заряженных частиц (в космосе преимущественно электронов), имеющих околосветовую, релятивистскую скорость. Впервые наблюдалось в ускорителях электронов – синхротронах, отсюда и название. Космическое синхротронное излучение связано с движением электронов космических лучей в межзвёздных полях в нашей Галактике и других галактиках. Источниками синхротронного излучения являются многие астрономические объекты: остатки сверхновых, пульсары, ядра галактик, квазары. Обычно синхротронное излучение попадает в радиодиапазон, но в некоторых случаях (например, у пульсара в центре Крабовидной туманности) оптическое и даже рентгеновское излучение также имеет синхротронную природу.

Синхротронное излучение – один из видов магнитотормозного излучения. Магнитное поле (H) силой Лоренца искривляет траекторию движения электронов, и возникающее при этом ускорение служит причиной электромагнитного излучения. Этот механизм часто используют для объяснения радио-, оптического и рентгеновского излучений самых различных космических источников.

Аналогичное излучение нерелятивистских частиц (циклотронное излучение) происходит на основной гиромагнитной частоте $\nu_c = qH/(2\pi mc)$ и её первых гармониках (q и m – заряд и масса покоя частицы). Излучение заряженных релятивистских частиц, т. е. частиц, движущихся со скоростью, близкой к скорости света, обладает рядом существенных отличий от излучения медленных частиц. Из-за эффекта Доплера частота света, излучаемого быстродвижущейся частицей в направлении своего движения, сильно повышается, интенсивность излучения на высоких гармониках возрастает. У релятивистских частиц с энергией $E \gg mc^2$ излучение в области высоких гармоник обладает практически непрерывным спектром и сосредоточено в направлении мгновенной скорости в узком конусе с углом раствора $\varphi \sim mc^2/E$.

Релятивистский электрон, движущийся в магнитном поле, описывает либо окружность (если у него нет компонента скорости вдоль поля), либо спираль. Частота его вращения в магнитном поле есть $\nu_H = (eH/2\pi mc)(mc^2/E) = ecH/2\pi E$. Здесь и далее под H подразумевается компонент поля, перпендикулярный вектору скорости частицы (т. е. $H_\perp$). Узкий конус, в пределах которого заключено излучение электрона, поворачивается вместе с поворотом вектора мгновенной скорости электрона. Это означает, что наблюдатель, находящийся в плоскости орбиты электрона, видит вспышки излучения в те моменты времени, когда скорость электрона направлена на него. Вспышки следуют через промежутки времени $2\pi E/ecH$, длительность каждой вспышки $\sim (2mc/eH)(mc^2/E)^2$.

Поскольку частота повторения вспышек достаточно велика, наблюдатель практически видит непрерывное излучение. Максимальная мощность синхротронного излучения одного электрона в единичном интервале частот около частоты n_m (см. ниже) и в единичном телесном угле равна: $P_\nu = 1{,}6\,e^3H/(4\pi mc^2) \approx 1{,}7 \cdot 10^{-30}\,H$ [Вт/(ср·Гц)], где H выражено в Э. На меньших частотах излучение уменьшается как $\nu^{1/3}$, а на больших – уменьшается экспоненциально $\sim \nu^{1/2}\exp(-0{,}29\nu/\nu_m)$.

Важными особенностями обладает поляризация синхротронного излучения. Для наблюдателя, находящегося точно в плоскости орбиты электрона, излучение поляризовано линейно с электрическим вектором, лежащим в плоскости орбиты. На некотором угловом расстоянии от этой плоскости поляризация эллиптическая, причём разных знаков по обе стороны от плоскости. Кроме того, интенсивность эллиптически поляризованного излучения незначительна. При усреднении излучения системы электронов остаётся лишь линейная поляризация. Иными словами, система релятивистских электронов, находящаяся в однородном магнитном поле, даёт линейно поляризованное синхротронное излучение с электрическим вектором, перпендикулярным магнитному полю. Если бы у всех электронов была примерно одинаковая энергия, спектр излучения этой системы имел бы максимум на частоте $\nu_m \approx (eH/4\pi mc)\cdot(E/mc^2)^2 \approx 1{,}4 \cdot 10^6\,H(E/mc^2)^2$ (Гц).

В космических условиях релятивистские электроны имеют различную энергию. Чаще всего распределение электронов по энергиям аппроксимируют степенной функцией, т. е. в единице объёма число электронов N с энергией от E до $E+dE$ составляет $N(E)dE = KE^{-\gamma}\,(mc^2)^{\gamma-1}\,dE$, где K и γ – постоянные.

Синхротронное излучение в радиодиапазоне часто называют нетепловым, поскольку его спектр сильно отличается от спектра теплового излучения. Спектр синхротронного излучения нельзя характеризовать одним значением температуры, как в случае теплового излучения. Если концентрация релятивистских электронов настолько велика, что самопоглощение ими синхротронного излучения становится существенным, то спектр этого излучения можно охарактеризовать с помощью зависящей от частоты эффективной температуры T_ν, которая в энергетических единицах равна: $kT_\nu(\nu) \approx mc^2(4\pi\nu mc/eH)^{1/2}$.

СИРИУС – α Большого Пса, звезда –1,46 визуальной звёздной величины, одна из ближайших звёзд, удалённая от Солнца всего на 8,6 св. года. В этом причина того, что Сириус – ярчайшая звезда на небе. В 1862 г. при испытании нового телескопа американский оптик Алван Кларк (1804–1887) открыл у Сириуса чрезвычайно тусклый, но довольно массивный спутник – первый белый карлик.

СИСТЕМА МИРА КОПЕРНИКА – см. *Гелиоцентрическая система мира.*

СИСТЕМА МИРА ПТОЛЕМЕЯ – см. *Геоцентрическая система мира.*

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОСМОСОМ «МАУИ» (Maui Space Surveillance System) – оптическая и инфракрасная обсерватория, принадлежащая ВВС США и предназначенная для сопровождения искусственных спутников Земли и наблюдения за астероидами. Расположена на высоте 3100 м на вершине Хейлиакала, о. Мауи (Гавайи). Крупнейший инструмент – 3,7-метровый оптический телескоп с системой адаптивной оптики. Часть наблюдательного времени на этом телескопе предоставляется для астрономических целей.

СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ – двумерные системы координат на небесной сфере. См. *Горизонтальная система координат, Экваториальная система координат, Эклиптическая система координат, Галактическая система координат.*

СИТТЕР, Виллем де (Sitter, Willem de) (6.05.1872, Снек, Нидерланды, – 22.11.1934, Лейден, Нидерланды) – голландский астроном. В университете Гронингена работал в лаборатории Я. К. Каптейна. В 1897 г. по приглашению директора Кейптаунской обсерватории Дейвида Гилла де Ситтер приехал на мыс Доброй Надежды, где занялся изучением движе-

ния спутников Юпитера для подготовки докторской диссертации и увлёкся этим на всю жизнь. Итогом исследований стало определение неравномерности вращения Земли. Вернувшись в 1900 г. в Гронинген, де Ситтер стал ассистентом Каптейна, а в 1908 г. профессором астрономии Лейденского университета. В 1919 г. он директор Лейденской обсерватории, которую реорганизовал и превратил в одну из ведущих в Европе.

С 1911 г. де Ситтер публикует статьи по теории относительности. В 1916 и 1917 гг. он представил Королевскому астрономическому обществу (Лондон) три работы, дающие полное представление о математическом аппарате общей теории относительности и её астрономических следствиях, сделав попытку вычислить радиус Вселенной из наблюдаемой средней плотности вещества. Гиперболическая модель Вселенной де Ситтера стала альтернативой цилиндрической модели Эйнштейна. Работы Эйнштейна не были известны из-за условий военного времени, но в интерпретации де Ситтера стали доступны учёным и стимулировали организацию британской экспедиции на солнечное затмение в 1919 г. Без работы де Ситтера предсказание Эйнштейна об искривлении лучей света вблизи Солнца вряд ли было бы подтверждено наблюдениями во время затмения.

Искренне преданный науке, де Ситтер приветствовал появление нестационарных теорий Вселенной, независимо разработанных А. Фридманом в 1922 г. и Ж. Леметром в 1927 г. Совместно с де Ситтером Леметр детально рассмотрел астрономические следствия этой теории. В 1930 г. их работы привлекли внимание астрономов. В 1931 г. де Ситтер отправился в США с циклом лекций. Он провёл зиму в калифорнийской обсерватории Маунт Вилсон, исследуя вместе с Эйнштейном движение галактик и расширение Вселенной. Весной 1932 г. они вместе пришли к выводу, что подтверждается скорее расширяющаяся, чем статическая модель Вселенной, поскольку галактики удаляются друг от друга. Де Ситтер прочитал три лекции в Калифорнийском университете, которые в дополненном виде были изданы в 1933 г. и содержали последние данные в пользу теории расширяющейся Вселенной.

СКАДИ (S XXVII, Skathi) – естественный спутник Сатурна. С 2003 по 2005 гг. в международных документах упоминался как Skadi. Его открыли в 2000 г. канадские астрономы Дж. Кавеларс (J. J. Kavelaars), Б. Глэдман (Brett J. Gladman) и их коллеги. Большая полуось орбиты 15 576 тыс. км. Орбитальный период 725,78 сут. Эксцентриситет орбиты 0,246. Наклонение орбиты к эклиптике 149°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер 6 км. Видимый блеск 23,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 52,3′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

«СКАЙ ЭНД ТЕЛЕСКОП» (Sky and Telescope) – ежемесячный научно-популярный астрономический журнал, издаваемый с 1941 г. в США. В 2009 г. тираж составлял 83 тыс. экз. Журнал ориентирован на серьёзных любителей астрономии, но привлекает интерес и профессиональных астрономов. Адрес: http://www.skypub.com.

СКАНИРОВАНИЕ – метод получения двумерного изображения объекта с использованием точечного детектора или линейки точечных детекторов. При сканировании изображение перемещается регулярным образом по детектору, или детектор смещается относительно изображения с определённым шагом. Выходной сигнал детектора в каждой из точек регистрируется. После окончания сканирования двумерное изображение объекта синтезируется из полученных записей. Растр двумерного изображения формируется с использованием дрейфового сканирования или путём сканирования по квадратной спиральной линии, развёртывающейся от начальной центральной точки. Сканеры, устанавливаемые на космических аппаратах, представляют собой линейку детекторов, расположенную перпендикулярно траектории аппарата. Запись одномерных сканов выполняется непрерывно, создавая изображение поверхности планеты под аппаратом в виде длинной полосы.

СКИАПАРЕЛЛИ, Джованни Вирджинио (Schiaparelli, Giovanni Virginio) (14.03.1835, Савильяно, близ Турина, Италия, – 4.07.1910, Милан, Италия) – итальянский астроном и сенатор, чьё наблюдение множества прямых линий на поверхности Марса, названных «каналами», породило многочисленные дискуссии о возможности разумной жизни на Марсе.

В 1854 г. окончил Туринский университет и отправился в Берлин изучать астрономию под руководством И. Ф. Энке (1791–1865). В 1859–1860 гг. работал астрономом-наблюдателем в Пулковской обсерватории (Санкт-Петербург), с 1860 г. – в той же должности в обсерватории Брера (Милан), директором которой стал в 1862 г. и оставался в этой должности до ухода на пенсию в 1900 г. В 1861 г. открыл астероид Гесперия (69 Hesperia). С 1862 г. профессор астрономии Миланского университета.

В 1866 г. Скиапарелли установил, что орбита метеорного потока Персеиды совпадает с орбитой кометы 1862 III, а орбита метеорного потока Леониды – с орбитой кометы 1866 I. Он разработал теорию образования метеорных потоков в результате разрушения ядер комет под действием приливных сил Солнца. Скиапарелли много и плодотворно наблюдал двойные звёзды, а также планеты Меркурий, Венеру и Марс. Особой известностью пользуются исследования Марса, проведённые им в 1877–1886 гг. Наблюдения деталей поверхности Марса, таких как «каналы» и «моря», положили начало новой эпохе в изучении этой планеты. Скиапарелли установил, что «моря» Марса не могут быть водоёмами, а являются участками суши. После открытия на Марсе «каналов» некоторые учёные высказали предположение об их искусственной природе, что послужило основанием для гипотез о населённости Марса разумными существами. Но сам Скиапарелли не считал эту гипотезу научно обоснованной.

В 1889 г. он пришёл к выводу, что период вращения Меркурия вокруг оси равен периоду его обращения вокруг Солнца (88 сут), и, следовательно, планета всегда обращена к Солнцу одной стороной. В 1890 г. Скиапарелли пришёл к аналогичному выводу в отношении Венеры, установив, что период её осевого вращения совпадает с орбитальным периодом (225 сут). По современным данным, период осевого вращения Меркурия составляет 58,65 сут, а Венеры – 243 сут. Таким образом, эти выводы Скиапарелли оказались ошибочными, но опровергнуть их смогли только радиоастрономические и прямые космические исследования планет в 1960-е гг.

В 1889 г. Скиапарелли опубликовал монографию о влиянии геологических факторов на вращение Земли, которую посвятил Пулковской обсерватории в связи с её 50-летним юбилеем. Выйдя на пенсию, Скиапарелли серьёзно занялся историей астрономии, в особенности древнееврейской и вавилонской, опубликовав книгу L'astronomia nell'antico testamento (1903; Astronomy in the Old Testament, 1905). Он был членом многих академий наук и научных обществ, в частности иностранным почётным членом Санкт-Петербургской АН (1904). Его имя занесено на карты Луны и Марса.

СКЛОНЕНИЕ – одна из координат светила в экваториальной системе небесных координат, равная его угловому расстоянию от небесного экватора к северу (со знаком «+») или к югу (со знаком «–»). Обозначается греческой буквой δ или сокращенно Dec. (от англ. *declination*). Склонение точек самого небесного экватора равно нулю.

СКОЛЛ (S XLVII, Skoll) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2006 г. Большая полуось орбиты 17,6 млн км. Орбитальный период 869 сут. Эксцентриситет орбиты 0,418. Наклонение орбиты к эклиптике 156°. Орби-

тальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск $24{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $1°06'20''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

СКОПЛЕНИЕ — группа звёзд или галактик, составляющая устойчивую систему вследствие взаимного гравитационного притяжения её членов. Среди скоплений звёзд различают шаровые и рассеянные, среди скоплений галактик — правильные и неправильные. Рассеянные звёздные скопления и неправильные скопления галактик обычно содержат не более 1000 объектов, слабо концентрирующихся к центру скопления. Шаровые звёздные скопления и правильные скопления галактик имеют сферическую форму и часто содержат более 10 тыс. объектов, которые сильно концентрируются к центру скопления, образуя плотное ядро.

Замечание о терминах. В английском (т. е. в международном научном) языке скопление галактик определяется термином «galactic cluster». Убедительная просьба к журналистам и физикам не переводить этот термин на русский язык как «галактическое скопление» или «галактический кластер». Дело в том, что «галактическое скопление» — это устаревающее название для рассеянных звёздных скоплений, населяющих диск нашей Галактики. Этот термин уже почти не употребляют, но в старых книгах он есть, поэтому не нужно придавать ему иной смысл. Что же касается «галактических кластеров», то такого термина в отечественной астрономии вообще не существует, и не стоит вводить его, чтобы не засорять язык. Galactic cluster — это скопление галактик. Так говорят астрономы. И они хотят, чтобы так же говорили специалисты иных профессий, интересующиеся астрономией. Тогда мы будем лучше понимать друг друга.

СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК — гравитационно-связанные системы галактик, в которых число членов измеряется десятками, сотнями, а иногда и тысячами (богатые скопления галактик). Наблюдения показывают, что галактики распределены в пространстве неоднородно, значительная их часть группируется в скопления. Характерный размер скоплений галактик — несколько мегапарсеков. Ближайшее к нам крупное скопление Virgo, насчитывающее около 2000 галактик, удалено от нас на 16,5 Мпк в направлении созвездия Дева и занимает на небе область диаметром около 10°.

На фотографиях скопления галактик предстают как увеличение (по сравнению с фоном) поверхностной плотности числа галактик (т. е. количества галактик на единицу площади небесной сферы). В богатых скоплениях поверхностная плотность числа галактик n_g хорошо описывается простым законом: $n_g(\rho)=n_{g0}/[1+(\rho/a)^2]$, где ρ — расстояние в картинной плоскости от центра скопления, $a\approx 250$ кпк — радиус ядра скопления, n_{g0} — поверхностная плотность числа галактик в центре скопления. Этому закону соответствует распределение пространственной плотности числа галактик $N_g(r)=N_{g0}/[1+(\rho/a)^2]^{3/2}$, называемое обычно законом Кинга (r — расстояние от центра скопления). Центральная плотность галактик N_{g0} в богатых скоплениях превышает 1000 Мпк$^{-3}$, однако из-за малого объёма в пределах $(1/2)a$ содержится около 10 галактик. На расстоянии $r\approx 3a$ плотность галактик падает до $10h_0^{-3}$ Мпк$^{-3}$, а при $r=7a$ — до $1h_0^{-3}$ Мпк$^{-3}$, т. е. быстро приближается к плотности галактик фона [$h_0=H_0/(70$ км/с/Мпк$)$, H_0 — современное значение постоянной Хаббла]. Распределение Кинга имеет место лишь при $r<(6\text{–}8)a$, при больших r оно нарушается, возможно, из-за приливных эффектов. Отметим, что при $r\gg a$ масса скопления и число входящих в него галактик логарифмически возрастают с ростом r.

Астрофотометрия позволяет определить типы галактик, входящих в скопление, их светимости, размеры и т. д. Важнейшую информацию несут спектральные наблюдения: по смещению линий в спектре галактик определяют их лучевые скорости $v_{\text{лв}}$. Средняя лучевая скорость галактик в скоплении соответствует скорости удаления от нас скопления как целого. Используя закон Хаббла, можно оценить расстояние до скопления. Обычно предполагают, что распределение галактик по скоростям в системе покоя скопления как целого изотропно, тогда легко вычислить среднеквадратичное отличие скорости от средней (σ_v). В богатых скоплениях σ_v превышает 1000 км/с. Характерный размер богатых скоплений R составляет несколько мегапарсеков. Характерное время пролёта галактики через скопление $t\sim R/\sigma_v=10^9\ (R/1\text{ Мпк})/(\sigma_v/10^3$ км/с) лет, много меньше как космологического времени ($H_0^{-1}\approx 10^{10}$ лет), так и возраста звёзд, входящих в галактики скопления. Следовательно, скопления галактик являются гравитационно-связанными системами. Таким образом, измерения σ_v и характерного размера скопления позволяют определить его массу M_v по теореме вириала: $M_v\sim\sigma_v^2R/G$. Оказывается, что определяемые так массы заметно превышают значения «видимой массы», определяемой суммированием масс отдельных галактик, которые оцениваются по зависимости масса–светимость. В результате возникает вопрос (до сих пор не решённый) о скрытой массе.

Время динамической релаксации скопления вследствие попарного гравитационного взаимодействия галактик и динамического трения близко к космологическому и может превышать его. В этих условиях трудно ожидать распределения Максвелла галактик по скоростям. Однако в 1976 г. английский астроном Д. Линден-Белл указал на возможность «бурной» (violent) релаксации скопления звёзд или галактик за счёт быстрых изменений гравитационного потенциала на стадии сжатия системы (в ходе её образования). Этот механизм может обеспечить релаксацию системы за время порядка нескольких времён пролёта галактики через скопление.

Среди каталогов скоплений галактик наиболее известен каталог Дж. Абеля. В него вошли богатые скопления, удовлетворяющие следующим критериям: скопление содержит не менее 50 галактик в диапазоне видимых звёздных величин от m_3 до m_3+2, где m_3 — видимая звёздная величина третьей по яркости галактики в скоплении; больше 50 галактик должно содержаться в зоне радиусом $2h_0^{-1}$ Мпк; красные смещения $0{,}02<z<0{,}2$, т. е. расстояние до скопления $D<cH_0z_{\text{макс}}\approx 860h_0^{-1}$ Мпк. Каталог охватывает не всё небо: он насчитывает 2712 таких скоплений, а на всём небе при $z<0{,}2$ их должно быть около 4000. Концентрация таких скоплений во Вселенной $N_c\approx 2\cdot 10^{-6}h_0^3$ скоплений/Мпк^3, а среднее расстояние между их центрами $\sim N_c^{-1/3}\approx 86h_0^{-1}$ Мпк. Другие хорошо известные каталоги используют в основном морфологические критерии отбора и классификации. Например, в каталоге Ф. Цвикки около 7000 скоплений, классифицированных по степени компактности на рассеянные, умеренно компактные и компактные. Л. П. Бауц и У. Морган в основу своей классификации положили наличие или отсутствие доминирующей массивной центральной галактики, обычно являющейся мощным радиоисточником.

Скопления из каталога Абеля — самые богатые представители широчайшего класса групп и скоплений галактик. В этот класс входят группы, содержащие от нескольких до многих десятков галактик, а также скопления, содержащие сотни и тысячи галактик. Переход от групп к скоплениям непрерывен, при этом чем богаче скопления, тем их меньше.

Согласно Абелю, по структуре скопления можно разделить на правильные и неправильные. Первые симметричны и характеризуются сильной концентрацией галактик к центру скопления. Типичный представитель этого типа — скопление Coma (Волосы Вероники), находящееся на расстоянии около 90 Мпк и содержащее более 30 тыс. галактик с абсолютной звёздной величиной ярче -16^m. В плотных центральных частях правильных скоплений большинство галактик эллиптические.

Неправильные скопления представляют собой более диффузные и асимме-

тричные конгломераты галактик. Неправильным является ближайшее к нам богатое скопление в созвездии Дева (Virgo). В неправильных скоплениях имеется достаточно много и спиральных галактик.

В центре богатых скоплений обычно находится массивная эллиптическая галактика, содержащая от 1 до 10% всей массы скопления. Например, масса галактики M87 в центре скопления в Деве превышает $10^{13}M_\odot$. Эти галактики часто являются мощными радиогалактиками. Их гравитационный потенциал (в пределах галактики) сравним с гравитационным потенциалом всего скопления. Массы таких галактик растут за счёт «каннибализма» — поглощения пролетающих сквозь них или разрушаемых приливным воздействием при близких пролётах галактик меньшей массы.

Практически все богатые скопления галактик являются мощными источниками рентгеновского излучения со светимостями $\sim 10^{35}$–10^{37} Вт. По-видимому, это тормозное и рекомбинационное излучение горячего межгалактического газа с плотностью не менее 10^{-3} см$^{-3}$ и температурой $3\cdot10^7$ К. Это подтверждается наблюдениями ряда скоплений в жёстком рентгеновском диапазоне, которые обнаруживают экспоненциальный завал спектра (ослабление излучения) при энергиях фотонов $h\nu > 5$–10 кэВ, характерный для тормозного излучения облака разреженной плазмы. Ещё более важным подтверждением такой интерпретации стало обнаружение в спектрах скоплений в Деве, Кентавре и скоплении Coma рентгеновских линий железа с $h\nu \approx 6$–7 кэВ. Линии излучаются водородо- и гелиеподобными ионами железа, т. е. ионами, имеющими ядро с зарядом 26 и один или два электрона. Именно эти линии характерны для горячей оптически тонкой плазмы с электронной температурой $T_e \approx (3$–$10)\cdot10^7$ К. Наблюдаемая эквивалентная ширина спектральных линий $\approx 0{,}5$ кэВ, что свидетельствует об обилии железа, близком к солнечному.

Газ не может иметь температуру T_e, намного превышающую $m_p\sigma_p^2/6k$ (где m_p – масса протона), в противном случае он практически не «чувствовал» бы гравитационный потенциала скопления и расширялся, истекая из него со скоростью звука $a_{зв}=(10kT_e/3m_p)^{1/2}$. Если температура была бы много меньше этой величины, газ скапливался бы в центре потенциальной ямы, уплотнялся и сравнительно быстро остывал вследствие потерь энергии на излучение. Значит, температура газа близка к величине $m_p\sigma_p^2/6k$. Отсюда следует, что галактики движутся в межгалактическом газе со скоростями, близкими к звуковой. Высота изотермической однородной атмосферы этого газа — порядка характерного размера скоплений. Газ заполняет всё скопление и должен быть сравнительно однородным. Это утверждение верно для богатых скоплений, где гравитационный потенциал скопления как целого в его центральной части превышает гравитационный потенциал любой из галактик. В неправильных скоплениях типа Virgo потенциал доминирующей галактики (M87) может существенно влиять на распределение и температуру межгалактического газа.

Время радиационного охлаждения газа превышает космологическое. Время охлаждения газа из-за комптонизации реликтового излучения при малых красных смещениях, $z < 5$–8, также намного превышает космологическое. Радиационное охлаждение может быть заметным лишь в центральных областях скоплений. Тщательные исследования центральных областей богатых скоплений выявили те, где газ успевает охлаждаться за время меньше космологического и стекается к центру, формируя «течение охлаждения». Охлаждающийся газ поступает в центральную доминирующую галактику в темпе до $100\,M_\odot$ в год, подпитывая процесс звёздообразования в ней и снабжая веществом её ядро, что может приводить к усилению активности ядра.

Масса межгалактического газа составляет около 10% вириальной массы скопления галактик, т. е. его обнаружение не привело к решению проблемы скрытой массы. Масса газа, вероятно, того же порядка, что и «видимая» масса галактик. Этот факт позволяет предположить, что газ образовался в результате потери массы галактиками. С другой стороны, межгалактический газ может быть догалактическим газом, разогретым ударной волной при сжатии протоскопления.

Химический состав межгалактического газа в скоплениях близок к солнечному (об этом свидетельствуют рентгеновские линии железа) и сильно отличается от первичного (дозвёздного). Модель горячей Вселенной предсказывает 25% обилия (по массе) гелия, 75% водорода и отсутствие более тяжёлых элементов. Эти данные можно согласовать с моделью разогрева при сжатии протоскопления, лишь предполагая, что: а) газ был впоследствии обогащён тяжёлыми элементами — продуктами нуклеосинтеза в звёздах галактик; б) ещё до образования скоплений галактик первые (догалактические) звезды обогатили первичное вещество тяжёлыми элементами. Пока неясно, какое из предположений верно. В связи с вариантом (а) отметим, что межзвёздный газ может выметаться из галактик, движущихся со скоростями 1000 км/с, динамическим давлением межгалактического газа. Поэтому звёздный ветер, газ из планетарных туманностей и сверхновых непрерывно поступает в межгалактическую среду и обогащает её тяжёлыми элементами. Этот вариант требует, чтобы масса вторичного вещества (истёкшего из галактик) была того же порядка, что и масса первичного, разогретого ударной волной.

Механизмов нагрева газа, попавшего в пространство между галактиками, много: диссипация энергии звуковых волн и ударных волн, возникающих при движении галактик, выбросы облаков релятивистских частиц из ядер галактик, потери энергии субкосмических лучей (энергия меньше 1 ГэВ) и плазменных волн и т. п. Истечение газа из галактик на стадии, когда они были молодыми и активными, и последующий или одновременный разогрев его вполне могут объяснить наблюдаемую картину. Нагрев межгалактического газа может обеспечиваться также ударными волнами, образующимися при взрывах сверхновых звёзд в галактиках. В этом случае избыток поступающей энергии может приводить к повышению температуры газа и его расширению, потере массы в виде межгалактического ветра.

Интересную информацию о межгалактическом газе в скоплениях дали радионаблюдения в метровом диапазоне длин волн. Они показали наличие там радиоисточников неправильной формы, обладающих компактной «головой» и длинным «хвостом». Это легко объяснить, если предположить, что радиоисточник — облако релятивистских электронов, излучающих синхротронным механизмом в магнитном поле, — движется относительно межгалактического газа: лобовое давление сжимает радиоисточник с одной стороны («голова»), а уменьшение давления с другой стороны приводит к образованию протяжённого «хвоста».

Вселенную заполняет микроволновое фоновое («реликтовое») излучение. В каждом кубическом сантиметре пространства находится около 500 фотонов. Это излучение имеет спектр, близкий к спектру излучения абсолютно чёрного тела с температурой $T_r \approx 3$ К. Микроволновой фон характеризуется высочайшей степенью изотропии во всех угловых масштабах, $\Delta T_r/T_r < 10^{-3}$. Это обстоятельство позволяет искать в направлениях на скопления галактик малые отклонения интенсивности фона от среднего её значения. Как показали в 1972 г. Я. Б. Зельдович и Р. А. Сюняев, наличие горячего газа в скоплениях изменяет интенсивность микроволнового фона в направлениях на них: в результате обратного эффекта Комптона «холодные» реликтовые фотоны, рассеиваясь на горячих электронах межгалактического газа, увеличивают свою энергию и переходят в более высокочастотную область спектра. В результате в сантиметровой области спектра яркость реликтового излучения уменьшается, а в субмиллиметровой — возрастает (эффект Зельдовича–Сюняева).

СКОПЛЕНИЯ ЗВЁЗД – см. *Звёздные скопления.*

СКОРОСТЬ КРУГОВАЯ – см. *Космические скорости.*

СКОРОСТЬ ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ – см. *Космические скорости.*

СКОРОСТЬ ПО ЛУЧУ ЗРЕНИЯ – то же, что *Лучевая скорость.*

СКОРОСТЬ СВЕТА – фундаментальная константа $c \approx 299\,792\,458$ м/с, равная скорости распространения электромагнитных волн в вакууме, постоянство которой во всех инерциальных системах отсчёта используется в качестве постулата в специальной (частной) теории относительности. Указанное значение константы c принимается точным, и через него определяется единица длины – метр.

Впервые вопрос о конечности скорости света был поставлен Г. Галилеем в 1638 г. Первое определение скорости света проделал датский астроном Оле Рёмер в 1676 г., отмечая моменты затмений спутников Юпитера, строгая периодичность которых нарушается из-за регулярного изменения расстояния между Юпитером и Землёй. Приблизительное знание размеров планетных орбит позволило Рёмеру оценить значение скорости света как 220 тыс. км/с, что весьма неплохо для той эпохи.

В лабораторных условиях измерить скорость света впервые удалось французскому учёному А. Физо в 1849 г. с помощью механической модуляции светового потока. Одно из самых точных определений скорости света в XIX в. проделал американский физик А. Майкельсон. Он обнаружил также, что скорость света не зависит от скорости источника света (1881). С 1950-х гг. методика измерений скорости света основывалась на достижениях механики сверхвысоких частот и лазерной техники. Самые точные методы основывались на независимом определении длины электромагнитной волны и её частоты с использованием эталонов единицы длины и времени.

В 1964 г. 12-я Генеральная ассамблея Международного астрономического союза (МАС) в качестве астрономической постоянной утвердила значение $c = 299\,792{,}5 \pm 0{,}4$ км/с. Это значение использовалось при вычислении астрономических эфемерид, а также для радиолокационного определения астрономической единицы. Состоявшаяся в 1979 г. 17-я ассамблея МАС рекомендовала с 1 января 1984 г. пользоваться новым, более точным значением: $c \approx 299\,792\,458 \pm 1{,}2$ м/с.

Скорость света не только служит одной из главных астрономических постоянных, но и принадлежит к фундаментальным физическим постоянным. Она определяет предельную скорость, с которой может передаваться физическое взаимодействие. Объединение принципа относительности с конечностью скорости распространения физических взаимодействий привело к созданию А. Эйнштейном в 1905 г. специальной (частной) теории относительности (СТО). Согласно этой теории, тело, обладающее массой покоя $m_0 \neq 0$, не может двигаться со скоростью $v \geqslant c$. Масса движущегося тела m увеличивается при возрастании скорости: $m = m_0(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$.

Собственное время Δt_0 движущегося тела меньше соответствующего промежутка времени Δt в системе отсчёта, относительно которой рассматривается движение тела $\Delta t_0 = \Delta t(1 - v^2/c^2)^{1/2}$. Длина движущегося тела в системе отсчёта покоящегося наблюдателя сокращается: $l = l_0(1 - v^2/c^2)^{1/2}$. Изменение массы частиц при релятивистских скоростях движения в ускорителях надёжно установлено. Замедление времени измерено по увеличению времени полураспада нестабильных частиц, движущихся с ультрарелятивистскими скоростями. В экспериментах было косвенно проверено и сокращение длины движущихся тел, величина которого находится в хорошем согласии с предсказанием СТО.

Со скоростью света могут двигаться только частицы с $m_0 = 0$, например фотоны. Вывод, что масса фотона $m_\phi = 0$, является обобщением большого количества экспериментальных данных. Результат каждого конкретного эксперимента обладает некоторой случайной погрешностью и поэтому даёт лишь верхний предел для m_ϕ. Согласно результатам экспериментов, выполненных в земных условиях, $m_\phi < 2 \cdot 10^{-51}$ г (данные 2009 г.). Из анализа астрономических данных (баланса давления электромагнитного поля при учёте ненулевой массы покоя фотона и давления газа в Магеллановых Облаках) Г. В. Чибисовым в 1976 г. было получено более строгое ограничение: $m_\phi < 3 \cdot 10^{-60}$ г. Если какой-либо эксперимент позволит показать, что $m_\phi < 10^{-65}$ г, то отличие массы покоя фотона от нуля практически никак не будет проявляться. При столь малой массе комптоновская длина волны фотона $l_\phi = h/cm_\phi \approx 10^{28}$ см, т. е. превышает современный горизонт Вселенной.

СКОРОСТЬ УБЕГАНИЯ, или **ускользания**, – см. *Космические скорости.*

СКОРПИОН – зодиакальное созвездие. Его граница с соседним созвездием Змееносец пролегла так, что Солнце в конце ноября проходит через Скорпион менее чем за неделю, а затем почти три недели движется через незодиакальное созвездие Змееносец. Скорпион целиком лежит в Млечном Пути. Множество ярких звёзд обрисовывают «голову», «тело» и «хвост» скорпиона. Согласно Арату, Орион поздорил с Артемидой; разгневанная, она послала скорпиона, который убил юношу. Арат добавляет астрономическую часть к этому мифу: «Когда Скорпион поднимается на востоке, Орион спешит скрыться на западе».

Ярчайшая звезда (α Sco), Антарес, что по-гречески означает «соперник Ареса» (т. е. Марса), расположена в «сердце скорпиона». Это красный сверхгигант с незначительной переменностью блеска (от $0{,}9^m$ до $1{,}2^m$); по яркости и цвету эта звезда действительно очень похожа на Марс и лежит вблизи эклиптики, так что перепутать их легко. Диаметр Антареса в 700 раз больше, чем Солнца, а светимость больше солнечной в 9000 раз. Это прекрасная визуальная двойная: более яркий её компонент кроваво-красный, а его менее яркий сосед (5^m), удалённый всего на 3″, голубовато-белый, но по контрасту с компаньоном он выглядит зелёным – очень красивое сочетание.

Звезду Акраб (β Sco) греки называли Рафиас, что значит «краб»; это яркая двойная ($2{,}6^m$ и $4{,}9^m$), которую можно разрешить в скромный телескоп. На кончике «хвоста скорпиона» находится Шаула (λ Sco), в переводе с арабского – жало. В Скорпионе расположен самый мощный рентгеновский источник звёздного неба Sco X-1, отождествлённый с горячей голубой переменной звездой; астрономы считают, что это тесная двойная система, где в паре с нормальной находится нейтронная звезда. Для любителей астрономии представляет интерес повторная новая U Sco, вспышки которой наблюдались в 1863, 1906, 1936, 1979, 1987, 1999 и 2010 гг. Вспышка длится всего несколько дней, но блеск звезды поднимается от $17{,}6^m$ до $7{,}5^m$. В Скорпионе видны рассеянные скопления M6, M7 и NGC 6231, а также шаровые скопления M4, M62 и M80.

СКРЫТАЯ МАССА ГАЛАКТИКИ – та часть массы галактики, которая проявляет себя лишь эффектами гравитации и никак иначе. Носитель этой масы часто называют «тёмной материей», поскольку это вещество не излучает ни в одном диапазоне электромагнитного спектра, а также и не поглощает излучение.

Каждая галактика – это огромный космический «город» с разнообразным населением. Для примера посмотрим на нашу Галактику. Некоторых обитателей Галактики астрономы обнаруживают легко. Молодые массивные звёзды светятся ярко и без труда видны в телескоп. Легко различимы и газовые облака, если рядом с ними расположены яркие звёзды, которые нагревают и освещают их своим излучением. Если же облако удалено от ярких звёзд, то заметить его в оптический телескоп значительно труднее, но зато ему не спрятаться от радиотелескопа. Однако

не всех жителей Галактики удаётся легко обнаружить.

Маленькие тусклые звёзды — красные карлики — без труда скрываются от любого телескопа уже на расстоянии в несколько тысяч световых лет от Солнца. А самые мелкие звездообразные объекты — коричневые карлики — не видны даже на расстоянии в десятки световых лет. Что уж говорить о планетах, которые вообще не светят сами и видны только в том случае, если освещены близкой звездой. Если же планета одиноко движется в межзвёздном пространстве, то заметить её у астрономов пока нет никаких шансов. Не исключено, что в Галактике кроме легко наблюдаемых объектов остаётся ещё много невидимых, холодных и тёмных, похожих на планеты, астероиды, ядра комет; иногда астрономы в шутку называют их «кирпичами».

Много ли таких невидимых тел в нашей и в других галактиках? Много ли в этих телах заключено ненаблюдаемого вещества и что оно собой представляет? Эти вопросы волнуют астрономов уже несколько десятилетий. Если количество невидимого вещества велико, значит, мы пока не знаем, как устроена Вселенная. Так человек, идущий по ночному лесу, видит стайку светлячков и пару гнилушек, не замечая гигантских деревьев, густых кустов и крадущихся в темноте хищников.

Вообще галактики хранят ещё много загадок: до сих пор в точности неизвестно, как происходило формирование галактик, почему они приобрели столь разнообразные формы, отчего у дисковых галактик возникают спиральные рукава, что скрыто в ядрах галактик... Возможно, на многие из этих вопросов астрономы найдут ответ, когда разгадают тайну невидимого вещества, в огромном количестве присутствующего в большинстве галактик, но проявляющего себя только силами своей гравитации. Признаки наличия такого вещества астрономы заметили уже давно: с середины 1930-х гг. накапливаются факты о том, что невидимое вещество входит в состав галактик, располагаясь в основном на их периферии — в гало, где очень мало звёзд и почти нет межзвёздного газа. Но какое-то вещество там все же присутствует и притягивает окружающие галактику соседние звёздные системы. Появление телескопов нового типа, чувствительных к радио-, инфракрасному и рентгеновскому диапазонам излучения, не помогло обнаружить это загадочное вещество: оно оказалось невидимым, скрытым от телескопов всех типов!

Но какой бы неуловимой ни была невидимая масса, гравитационное поле скрыть невозможно. Его присутствие можно заметить, наблюдая за движением видимых тел. Аналогичным образом была открыта планета Нептун: своим притяжением она влияет на движение Урана, что и было зафиксировано наблюдателями. Точно так же обнаруживается присутствие в галактиках невидимой массы. Например, если наблюдать за движением двух близких друг к другу галактик вокруг общего центра массы, то можно вычислить силу притяжения между ними. Если окажется, что всю эту силу обеспечивает видимое вещество галактик — их яркие звёзды и газ, — значит, невидимого вещества в них нет. А если вычисленная сила явно превосходит то, что может дать видимое вещество, значит, в галактиках много невидимой массы. Для таких измерений подходят не только двойные галактики, но и группы галактик, и их большие скопления. Измеряя скорость взаимного движения галактик в скоплении, нетрудно вычислить и силу их взаимного притяжения: чем больше скорость движения, тем больше должна быть и сила, удерживающая галактики в скоплении. Нетрудно определить и полную массу одиночной галактики — например, по движению её небольших галактик-спутников, или шаровых звёздных скоплений, или даже одиночных звёзд, если для этого хватает мощности телескопа. Вычисленную на основе таких наблюдений полную массу галактики или системы галактик называют «динамической массой». Таким образом, невидимая, скрытая масса — это разность между динамической и видимой массами системы.

Как показывают наблюдения, невидимая масса есть почти в каждой галактике. Присутствие скрытой массы чувствуется даже в небольших звёздных системах — карликовых галактиках. Но обычно чем больше галактика, тем больше у неё доля скрытой массы. У наиболее крупных галактик невидимая масса может в несколько раз превышать видимую. Впрочем, иногда встречаются и карликовые галактики с чрезвычайно большой долей скрытой массы

Загадка невидимой массы галактик одна из самых волнующих в астрономии. Много замечательных открытий было сделано астрономами в XX в., но узнать, где и в форме каких объектов скрывается невидимая масса галактик, астрономы пока не смогли. Однако кое-что о ней выяснить всё же удалось. Оказалось, например, что в центральных ярких областях галактик невидимой массы очень мало: практически всё притяжение этих областей можно связать с обычными звёздами. Но чем дальше от центра галактики, тем больше доля невидимой массы. Например, в нашей Галактике в области солнечной орбиты (ее радиус около 25 тыс. св. лет) приблизительно треть массы невидима. А дальше от центра Галактики невидимая масса начинает доминировать: звёзд и газа там почти не видно, а источник тяготения присутствует, причём весьма существенный: динамическая масса Галактики в радиусе 150 тыс. св. лет в несколько раз больше, чем масса внутренней, видимой её части радиусом около 50 тыс. св. лет.

Из чего же состоит невидимое гало Галактики? В какие объекты «расфасована» эта загадочная масса? В принципе это может быть что угодно — от мельчайших субъядерных частиц неизвестного сорта (типа нейтрино, например) до гигантских чёрных дыр с массами в миллионы масс Солнца. Как определить массу отдельных невидимых объектов? Решение напрашивается само собой: нужно заметить действие гравитационного поля индивидуальных носителей невидимой массы. Было предложено немало идей, как это сделать: маленькие невидимые объекты могут оказываться внутри звёзд и планет, очень крупные невидимки сами могут притягивать к себе звёзды и даже, как чёрные дыры, «глотать» их. Не найдя явных следов таких событий, астрономы решили устроить «засаду» на объекты-невидимки, используя эффект гравитационной линзы.

Гравитационная линза — это любое массивное тело, например планета или звезда, или даже система тел — галактика, скопление галактик, — искривляющая своим гравитационным полем направление распространения излучения, подобно тому, как искривляет путь светового луча положительная линза.

Эффект гравитационной линзы был предсказан А. Эйнштейном, который в 1915 г. в рамках общей теории относительности впервые правильно вычислил угол отклонения луча света в гравитационном поле. Во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г. английские астрономы измерили отклонение света звёзд, проходящего вблизи поверхности Солнца: смещение изображений звёзд составило 1,75″ в полном согласии с предсказанием Эйнштейна.

Петербургский физик О. Хвольсон в 1924 г. и А. Эйнштейн в 1936 г. теоретически рассмотрели линзоподобное действие одной звезды на другую; они показали, что луч света далёкой звезды может быть отклонён притяжением другой звезды-линзы, в результате чего возникнет второе изображение далёкой звезды; в случае, когда обе звезды и наблюдатель находятся на одной прямой, изображение будет иметь форму кольца. Ни Хвольсон, ни Эйнштейн не верили в возможность экспериментального обнаружения эффекта гравитационной линзы в случае с обычными звёздами, поскольку более близкая к наблюдателю звезда-линза мешает своим излучением разглядеть слабое искажённое изображение более далёкой звезды.

Однако в 1937 г. астрофизик Фриц Цвикки пришёл к выводу, что эффект

гравитационной фокусировки света можно наблюдать в том случае, если линзой служит галактика, поскольку её гравитационное поле очень велико, а средняя поверхностная яркость довольно мала и не сильно мешает наблюдению. В 1979 г. английские астрономы Д. Волш и др. впервые обнаружили «двойной квазар» QSO 0957+16 A, B с угловым расстоянием между компонентами A и B около 6″. Когда выяснилось, что оба квазара изменяют свой блеск синхронно, астрономы поняли, что в действительности это два изображения одного квазара, обязанные своим появлением эффекту гравитационной линзы. Вскоре нашли и саму линзу – далёкую галактику, лежащую между Землёй и квазаром.

К концу XX в. было обнаружено уже несколько десятков гравитационных линз. Некоторые изображения действительно имеют форму ровного или разорванного кольца, которое называют «кольцом Эйнштейна» или «кольцом Хвольсона–Эйнштейна». Позже был обнаружен эффект гравитационной линзы и в пределах нашей Галактики: однократная спонтанная переменность блеска некоторых звёзд указывает на то, что между ними и Землёй проходят массивные и довольно тёмные тела, природа которых пока не ясна.

В 1990-е гг. началось несколько экспериментов по поиску носителей невидимой массы с использованием эффекта гравитационного микролинзирования: польско-американский эксперимент OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), американо-австралийский MACHO (Massive Compact Halo Object) и французский EROS (Experience de Recherche d'Objets Sombres). В каждом из них практически непрерывно измеряется яркость тысяч звёзд в надежде, что проходящий между Землёй и наблюдаемой звездой невидимый объект своим гравитационным полем исказит её изображение и изменит его яркость. Уже зафиксировано немало подозрительных случаев, но с выводами астрономы пока не спешат: нужно накопить большой материал, чтобы выводы стали статистически надёжными.

Но даже если эти эксперименты не принесут ожидаемого результата и не разрешат загадку невидимой массы, затраченные усилия уже окупаются: регулярное наблюдение за тысячами звёзд помогло выявить среди них множество новых переменных и детально изучить их поведение. Для астрономов, исследующих жизнь обычных звёзд, это очень ценная информация. К тому же рядом с некоторыми звёздами обнаружились планеты, которые регулярно проходят на фоне звезды, немного уменьшая её блеск и выдавая этим своё присутствие. Всё это очень интересно, но есть надежда, что и носители скрытой массы тоже будут выявлены в этих экспериментах.

Почему астрономы уделяют большое внимание проблеме скрытой массы? Во-первых, потому, что от её количества зависит наше представление о прошлом и будущем Вселенной. Масса невидимого вещества больше, чем видимого, поэтому именно его гравитационное поле управляет расширением Вселенной. Во-вторых, как может естествоиспытатель изучать только «мелких козявочек», зная, что рядом с ним бродят невидимые «слоны»? Природа невидимого вещества Вселенной – это вызов для современной науки!

СКРЫТОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ – невидимое глазом изображение, существующее на фотографической эмульсии до её проявления. Скрытое изображение представляет собой небольшие группы из 10–20 атомов серебра (центры чувствительности), сконцентрированные на экспонированных светом кристаллах галоидного серебра.

СКУЛЬПТОР – экваториальное созвездие, введённое Н. Лакайлем под именем Мастерская Скульптора. Это созвездие не содержит ярких звёзд, поскольку максимально удалено от Млечного Пути – в нём находится южный полюс Галактики. Поэтому созвездие в основном интересно своими внегалактическими объектами. Крупная галактика NGC 55 видна почти с ребра; это одна из ближайших звёздных систем (около 4,2 млн св. лет) за пределом Местной группы и поэтому довольно яркая (8^m). Она принадлежит группе галактик Скульптора, в которую также входят спиральные системы NGC 253, NGC 300 и NGC 7793 (все в Скульпторе), а также NGC 247 и, возможно, NGC 45 (обе в Ките). Группа галактик Скульптора, как и группа M81 в Большой Медведице, – ближайшие соседи Местной группы галактик.

СЛАБОВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ МАССИВНЫЕ ЧАСТИЦЫ (Weakly Interacting Massive Particles, WIMP) – гипотетическое семейство массивных элементарных частиц, участвующих только в гравитационном и слабом ядерном взаимодействиях, присутствие которых во Вселенной (в частности – в гало галактик) могло бы объяснить парадокс скрытой массы. Эти частицы – одни из претендентов на роль тёмной материи. Их пытаются экспериментально обнаружить в космосе и на ускорителях, но пока надёжных результатов нет.

СЛЕДЫ – тонкие прямые линии, иногда встречающиеся на астрономических изображениях, обычно имеющие равномерную яркость и пересекающие изображение в произвольном направлении. Следы обычно появляются вследствие пролёта самолётов с бортовыми огнями или искусственных спутников через ту область неба, на которую направлен телескоп во время экспозиции.

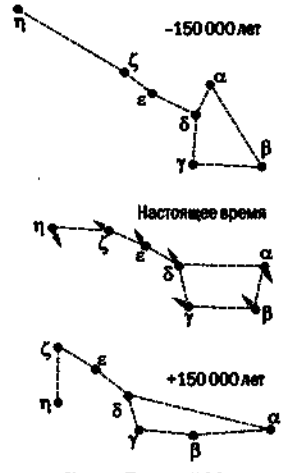
СЛУЧАЙНЫЙ ШУМ – шум, поведение которого непредсказуемо для конкретного момента времени, меняющийся случайным образом как по амплитуде, так и по частоте (см. *Шум*). Случайный шум можно ослабить путём накопления и усреднения сигнала. Случайный шум обычно имеет распределение Гаусса по амплитуде, поэтому погрешность, которую он вносит в измерения, вычисляют через стандартное отклонение или стандартную ошибку среднего.

СОБСТВЕННАЯ ДЛИНА – расстояние между двумя точками, измеренное наблюдателем, который покоится относительно этих точек.

СОБСТВЕННАЯ МАССА – масса тела, измеренная наблюдателем, который покоится относительно этого тела.

СОБСТВЕННОЕ ВРЕМЯ – время, измеренное по часам наблюдателя, свободно падающего в гравитационном поле (чаще: время, измеренное наблюдателем по часам, которые относительно него покоятся).

СОБСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ЗВЕЗДЫ – перемещение звезды на небесной сфере относительно других, значительно более далёких объектов, вызванное движением в пространстве наблюдаемой звезды относительно Земли. Собственное движение измеряется угловой скоростью перемещения звезды по небесной сфере относительно неподвижной в пространстве системы координат. На практике определяется по изменению положения звезды относительно значительно более далёких звёзд или галактик. Обычно собственное движение указывается в угловых секундах за год. Для большинства ярких звёзд,



Изменение Ковша Большой Медведицы в результате собственного движения звёзд

в основном близких к Земле, оно составляет несколько десятых долей секунды в год и становится неизмеримо малой величиной для более далёких звёзд. Одна из ближайших к Земле звёзд, Летящая звезда Барнарда в Змееносце, имеет наибольшее известное собственное движение, равное 10,3" в год.

За сотни тысяч лет собственное движение звёзд способно существенно изменить рисунок созвездий на земном небосводе.

СОБЫТИЕ – точка в пространстве-времени: момент и место совершения мгновенного и точечного процесса.

СОБЕТ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ И АСТРОНОМИИ (Particle Physics and Astronomy Research Council) – главная организация Великобритании, способствующая развитию профессиональной астрономии и курирующая ряд крупных проектов – группу телескопов «Исаак Ньютон», радиоинтерферометр MERLIN, телескопы «Джемини». Совет создан в 1994 г. для поддержки научных исследований и развития широкого интереса к фундаментальной физике и астрономии.

СОЕДИНЕНИЕ – такое расположение двух или нескольких членов Солнечной системы, когда разность их эклиптических долгот для земного наблюдателя равна нулю. В момент соединения небесные тела расположены на небе близко друг к другу. За один синодический период Меркурий и Венера дважды вступают в соединение с Солнцем. В момент нижнего соединения планета расположена между Землёй и Солнцем, а в момент верхнего Солнце находится между планетой и Землёй.

СОЗВЕЗДИЯ – участки звёздного неба, на которые его условно разделили ещё в глубокой древности и которые получили названия, навеянные наблюдаемой конфигурацией звёзд, легендами и мифами. Слово «созвездие» соответствует латинскому *constellatio*, означающему «сочетание звёзд». В древности созвездиями называли выразительные группы звёзд, которые помогали запоминать узор звёздного неба и с его помощью ориентироваться в пространстве и времени. У каждого народа были свои традиции разделения звёзд на созвездия. Используемые современными астрономами созвездия в большинстве своём носят названия и включают в себя яркие звёзды, традиционные для европейской культуры. В современном понимании созвездие – это участок небесной сферы со всеми проецирующимися на него с точки зрения земного наблюдателя небесными объектами. Следует понимать, что созвездие – это не ограниченная область в космическом пространстве (как, например, планетная система или галактика), а лишь некоторый диапазон направлений с точки зрения земного наблюдателя. Поэтому неправильно говорить: «Космический корабль полетел в созвездие Пегас»; верно будет сказать: «Космический корабль полетел в направлении созвездия Пегас». Звёзды, образующие узор созвездия, расположены от нас на разных расстояниях. Кроме звёзд в определённом созвездии могут быть видны и очень далёкие галактики, и близкие объекты Солнечной системы – все они в момент наблюдения относятся к данному созвездию. Но со временем небесные объекты могут перемещаться из одного созвездия в другое. Быстрее всего это происходит с близкими и быстро движущимися объектами: Луна проводит в одном созвездии не более двух-трёх суток, планеты – от нескольких дней до нескольких лет; и даже некоторые близкие звёзды за последнее столетие пересекали границы созвездий. Современные границы, делящие всю небесную сферу на 88 созвездий, были установлены Международным астрономиче-

Созвездия в алфавитном порядке русских названий

Название		Краткое обозначение
русское	латинское	
Андромеда	Andromeda	And
Близнецы	Gemini	Gem
Большая Медведица	Ursa Major	UMa
Большой Пес	Canis Major	CMa
Весы	Libra	Lib
Водолей	Aquarius	Aqr
Возничий	Auriga	Aur
Волк	Lupus	Lup
Волопас	Bootes	Boo
Волосы Вероники	Coma Berenices	Com
Ворон	Corvus	Crv
Геркулес	Hercules	Her
Гидра	Hydra	Hya
Голубь	Columba	Col
Гончие Псы	Canes Venatici	CVn
Дева	Virgo	Vir
Дельфин	Delphinus	Del
Дракон	Draco	Dra
Единорог	Monoceros	Mon
Жертвенник	Ara	Ara
Живописец	Pictor	Pic
Жираф	Camelopardalis	Cam
Журавль	Grus	Gru
Заяц	Lepus	Lep
Змееносец	Ophiuchus	Oph
Змея	Serpens	Ser
Золотая Рыба	Dorado	Dor
Индеец	Indus	Ind
Кассиопея	Cassiopeia	Cas
Кентавр (Центавр)	Centaurus	Cen
Киль	Carina	Car
Кит	Cetus	Cet
Козерог	Capricornus	Cap
Компас	Pyxis	Pyx
Корма	Puppis	Pup
Лебедь	Cygnus	Cyg
Лев	Leo	Leo
Летучая Рыба	Volans	Vol
Лира	Lyra	Lyr
Лисичка	Vulpecula	Vul
Малая Медведица	Ursa Minor	UMi
Малый Конь	Equuleus	Equ
Малый Лев	Leo Minor	LMi
Малый Пёс	Canis Minor	CMi

Название		Краткое обозначение
русское	латинское	
Микроскоп	Microscopium	Mic
Муха	Musca	Mus
Насос	Antlia	Ant
Наугольник	Norma	Nor
Овен	Aries	Ari
Октант	Octans	Oct
Орел	Aquila	Aql
Орион	Orion	Ori
Павлин	Pavo	Pav
Паруса	Vela	Vel
Пегас	Pegasus	Peg
Персей	Perseus	Per
Печь	Fornax	For
Райская Птица	Apus	Aps
Рак	Cancer	Cnc
Резец (скульптора)	Caelum	Cae
Рыбы	Pisces	Psc
Рысь	Lynx	Lyn
Северная Корона	Corona Borealis	CrB
Секстант	Sextans	Sex
Сетка	Reticulum	Ret
Скорпион	Scorpius	Sco
Скульптор	Sculptor	Scl
Столовая Гора	Mensa	Men
Стрела	Sagitta	Sge
Стрелец	Sagittarius	Sgr
Телескоп	Telescopium	Tel
Телец	Taurus	Tau
Треугольник	Triangulum	Tri
Тукан	Tucana	Tuc
Феникс	Phoenix	Phe
Хамелеон	Chamaeleon	Cha
Цефей	Cepheus	Cep
Циркуль	Circinus	Cir
Часы	Horologium	Hor
Чаша	Crater	Crt
Щит	Scutum	Sct
Эридан	Eridanus	Eri
Южная Гидра	Hydrus	Hyi
Южная Корона	Corona Australis	CrA
Южная Рыба	Piscis Austrinus	PsA
Южный Крест	Crux	Cru
Южный Треугольник	Triangulum Australe	TrA
Ящерица	Lacerta	Lac

ским союзом в 1922–1935 гг. Эти границы проходят только вдоль суточных параллелей и кругов склонения экваториальной системы координат эпохи 1875 г.

Названия созвездиям даны в честь мифических персонажей (Андромеда, Кассиопея, Персей и т. п.) или животных (Лев, Дракон, Большая Медведица и т. п.), в честь примечательных объектов древности или современности (Весы, Жертвенник, Компас, Телескоп, Микроскоп и т. п.), а также просто по названиям тех предметов, которые напоминают фигуры, образованные яркими звёздами (Треугольник, Стрела, Южный Крест и т. п.). Часто одна или несколько ярчайших звёзд в созвездии имеют собственные имена, например, Сириус в созвездии Большой Пёс, Вега в созвездии Лира, Капелла в созвездии Возничий. Как правило, названия звёзд связаны с названиями созвездий, например обозначают части тела мифического персонажа или животного. Созвездия – это памятники древней культуры человека, его мифов, его первого интереса к звездам. Историкам астрономии и мифологии они помогают понять образ жизни и мышления древних людей, а современным астрономам – ориентироваться на небе и быстро определять положение объектов.

Каноническими являются латинские названия созвездий; ими пользуются астрономы всех стран в своей научной практике. Но в каждой стране эти названия переводят также и на собственный язык. Иногда эти переводы небесспорны. Например, в русском языке нет единой традиции названия созвездия Centaurus: его произносят как «Центавр» или «Кентавр». С годами менялась традиция наименования таких созвездий, как Cepheus («Кефей», «Цефей»), Coma Berenices («Волосы Вероники», «Волосы Береники»), Canes Venatici («Борзые Собаки», «Гончие Собаки», «Гончие Псы»). Поэтому в книгах разных лет и разных авторов названия созвездий могут различаться.

На основе латинских наименований созвездий для них приняты сокращенные трёхбуквенные обозначения: Lyr для Lyra, UMa для Ursa Major, и т. п. Обычно их используют при указании звёзд в этих созвездиях: например, звезда Вега, ярчайшая в созвездии Лиры, обозначается как α Lyrae (родительный падеж от Lyra), или кратко – α Lyr. Сириус – α CMa, Алголь – β Per, Алькор – 80 UMa, и т. д.

Кроме официально утверждённых, в каждой стране существуют и свои собственные, народные названия созвездий. Обычно это даже не созвездия, а астеризмы – выразительные группы ярких звёзд. Например, на Руси семь ярких звёзд в созвездии Большой Медведицы называли Ковш, Телега, Лось, Коромысло, и т. д. В созвездии Ориона выделялись Пояс и Меч под названиями «Три Царя», «Аршинчик», «Кичиги», «Грабли». Звёздное скопление Плеяды, не выделенное астрономами в отдельное созвездие, тем не менее у многих народов имело собственное имя; на Руси его зовут «Стожары», «Решето», «Улей», «Лапоть», «Гнездо» («Утиное гнездо») и т. п. (см. с. 1–3 цветной вкладки).

СОИЗМЕРИМОСТИ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ – тот факт, что отношения орбитальных периодов (P) некоторых тел Солнечной системы (планет, спутников) выражаются простыми дробями. Например, для орбитальных периодов Юпитера (P_J = 11,8677 лет), Сатурна (P_S = 29,6661 лет), Нептуна (P_N = 164,491 лет) и Плутона (P_P = 245,73 лет) весьма точно выполняются соотношения: $P_S/P_J = 5/2$; $P_P/P_N = 3/2$. С другой стороны, в распределении орбитальных периодов большинства астероидов проявляется тенденция к избеганию соизмеримости с движением Юпитера (см. *Люки Кирквуда*), хотя две группы астероидов движутся в резонансе 1:1 с Юпитером (см. *Греки* и *Троянцы*).

В системах спутников планет существуют тройные соизмеримости. Например, для орбитальных периодов Ио, Европы и Ганимеда довольно точно выполняется соотношение $P_I : P_E : P_G = 1:2:4$, а соотношение их средних движений $1/P_I + 2/P_G = 3/P_E$ совершенно точное в пределах точности наблюдений! Шотландские астрономы А. Рой и М. Овенден исследовали множество таких соизмеримостей и показали, что они встречаются значительно чаще, чем это можно было бы ожидать, считая их случайными совпадениями. С учётом взаимных возмущений планет имеются достаточные основания полагать, что существование таких соотношений непосредственно связано с устойчивостью орбитального движения.

СОЛ – солнечные сутки на какой-либо планете Солнечной системы, исключая Землю. Термин «sol» родился после успешной посадки на Марс станции Mars Pathfinder (NASA) 4 июля 1997 г. Марсианский сол продолжается 24 час 39 мин 35,244 с.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ – совокупность активных образований (пятен, протуберанцев, и т. п.) и нестационарных динамических явлений (вспышек, всплывающих магнитных потоков) в солнечной атмосфере. Характеризуется различными индексами солнечной активности: числом Вольфа (относительное цюрихское число солнечных пятен), общей площадью солнечных пятен, общим потоком радио- или рентгеновского излучения, и др.

СОЛНЕЧНАЯ ВСПЫШКА – самое мощное проявление солнечной активности. Зарождается в хромосфере или короне Солнца и быстро (за несколько минут) охватывает все слои солнечной атмосферы, проявляясь как сильное уярчение небольшой части солнечного диска (менее $^1/_{1000}$ его полной площади). За время вспышки выделяется энергия 10^{23}–10^{25} Дж в виде тепла (горячий газ излучающий в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах) и выброса вещества со скоростями от 1000 км/с (корпускулярные потоки) до 100 тыс. км/с (солнечные космические лучи). Подробнее см. *Вспышки на Солнце*.

СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА – внешняя разреженная часть атмосферы Солнца, имеющая температуру от 1 до 2 млн К. Корона имеет жемчужный цвет и простирается от видимого края солнечного диска на несколько его диаметров, т. е. на миллионы километров. Её подразделяют на внешнюю корону, видимую только в моменты полных солнечных затмений, и внутреннюю корону, которую можно наблюдать с помощью коронографа. Солнечная корона служит источником солнечного ветра.

СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ – количество лучистой солнечной энергии, падающей за единицу времени на единицу площади поверхности, перпендикулярной к лучам, за пределом земной атмосферы на расстоянии 1 а. е. от Солнца. Солнечная постоянная составляет 1,962 калории/(см^2 мин), или 1369 Вт/м^2. За более чем столетний период точных астрономических наблюдений значение солнечной постоянной не изменялось более чем на несколько десятых долей процента. Отсюда и название – «постоянная».

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА – система небесных тел (Солнце, планеты, спутники планет, планеты-карлики, астероиды, кометы, метеорные тела, космическая пыль), постоянно находящихся в области преобладающего гравитационного влияния Солнца. Наблюдаемый радиус Солнечной системы примерно 100 астрономических единиц (а. е.). Однако сфера, в пределах которой возможно устойчивое движение небесных тел вокруг Солнца, простирается на $2 \cdot 10^5$ а. е., что сравнимо с расстоянием до ближайших звёзд. Планеты Солнечной системы по массе и составу делят на две группы: небольшие твёрдые планеты земного типа (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и газово-жидкие планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).

Примерно 99,5% суммарной массы планет Солнечной системы приходится на долю планет-гигантов. Однако в целом планеты – это незначительная часть системы. Основная масса Солнечной системы (99,86%) заключена в Солнце: оно в 715 раз массивнее всех остальных тел Солнечной системы вместе взятых. В то же время почти весь момент импульса системы заключён в орбитальном движении планет, прежде всего Юпитера и Сатурна.

Параметры планет Солнечной системы, а также Плутона как прототипа планет-карликов

Планета	Большая полуось орбиты, а.е.	Орбитальный период, годы	Эксцентриситет орбиты	Радиус экваториальный (Земля = 1)	Масса (Земля = 1)
Меркурий	0,387	0,241	0,206	0,383	0,0553
Венера	0,723	0,615	0,007	0,949	0,815
Земля	1,000	1,000	0,017	1,000	1,000
Марс	1,524	1,881	0,093	0,533	0,107
Юпитер	5,204	11,868	0,049	11,21	317,83
Сатурн	9,584	29,666	0,057	9,45	95,16
Уран	19,187	84,048	0,046	4,01	14,50
Нептун	30,021	164,491	0,011	3,88	17,20
Плутон	39,231	245,73	0,244	0,18	0,0021

Периоды обращения планет по своим орбитам закономерно увеличиваются с удалением от Солнца. Быстрее всех по орбите движется Меркурий: со средней скоростью 48 км/с он совершает оборот вокруг Солнца за 0,24 земного года. Венера, двигаясь со скоростью 35 км/с, завершает один оборот за 0,62 года; Земля, естественно, — за год (её скорость около 30 км/с), а Марс, средняя скорость которого 24 км/с, — за 1,9 года. Самая сильная эллиптичность орбиты у Меркурия: её эксцентриситет равен 0,2; к тому же она заметно наклонена к плоскости, близ которой лежат орбиты остальных планет. Самый малый эксцентриситет орбиты у Венеры (0,01), она движется практически по окружности. Но в одном Венера и Меркурий очень схожи: их суточное вращение — самое медленное среди всех планет. Один оборот вокруг оси (звёздные сутки) длится у Меркурия 58,6 земных суток (2/3 меркурианского года), а у Венеры составляют 243 сут, что даже превышает длину венерианского года! Оси вращения обеих планет почти перпендикулярны их орбитальным плоскостям, но направления вращения разные: Меркурий, как и большинство планет, вращается в прямом направлении (то есть так же, как движется по орбите), а Венера — в обратном, и в этом одна из её загадок. Земля и Марс вращаются одинаково правильно: в прямом направлении, с суточным периодом около 24 часов, и даже оси их вращения наклонены почти на одинаковый угол: между полярной осью и перпендикуляром к орбитальной плоскости у Земли угол 23°, а у Марса — 25°. Именно этот наклон приводит к смене времён года на Земле и Марсе, подставляющих Солнцу то своё южное, то северное полушарие.

У планет земной группы очень мало спутников: на 4 планеты всего 3 спутника, тогда как у планет-гигантов их более 170. Самый большой спутник — у Земли, это Луна. Ещё два маленьких — у Марса: Фобос и Деймос, каждый размером менее 30 км. А Меркурий и Венера вообще не имеют спутников.

Чем дальше от Солнца располагается планета, тем меньше тепла и света она получает, однако температура на поверхности зависит также и от наличия и состава атмосферы. У Меркурия практически нет атмосферы, и солнечные лучи беспрепятственно проникают к его поверхности. Максимальная температура на Меркурии достигает почти 700 К. Но самая высокая температура наблюдается на поверхности второй от Солнца планеты — Венеры, расположенной почти вдвое дальше от Солнца. Её мощная атмосфера из углекислого газа удерживает тепло, сохраняя у поверхности одинаковую температуру днём и ночью — около 735 К. На Земле среднегодовая температура близка к 290 К, а на Марсе с его очень разреженной углекислой атмосферой — лишь к 220 К.

Среди всех планет земной группы существенным магнитным полем обладает только Земля. У остальных планет оно очень слабое. Магнитное поле Меркурия примерно в сто раз слабее земного, а у Марса и Венеры оно ещё меньше. Итак, среди подобных ей планет Земля выделяется тремя свойствами: наличием массивного спутника, большого количества жидкой воды на поверхности и весьма сильного магнитного поля. Вероятно, это и сыграло решающую роль в появлении жизни именно на ней.

Изучение карт рельефа поверхностей планет земной группы показало, что перепады высот (от самой высокой точки до самой низкой) увеличиваются с расстоянием от Солнца: на Меркурии перепад высот менее 10 км, на Венере — 15 км, на Земле — 20 км (включая океанские впадины), на Марсе — более 30 км. По внутреннему строению планеты земной группы различаются мало: они, как правило, имеют металлическое ядро, мягкую мантию и твёрдую кору различной толщины. Отличительной особенностью Марса служат гигантские древние вулканические горы, самые крупные из которых достигают 26 км в высоту.

Группа более удалённых от Солнца планет, включающая Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, совершенно не похожа на группу планет земного типа. Это очень массивные планеты-гиганты. Средняя плотность их вещества удивительно низкая: от 0,7 г/см^3 у Сатурна до 1,6 г/см^3 у Нептуна. У этих планет нет твёрдой поверхности в привычном для нас смысле. Они состоят в основном из водорода и гелия. Их видимая поверхность — не что иное, как облачный покров мощной атмосферы, окружающей океан жидкого молекулярного водорода.

Периоды обращения планет-гигантов вокруг Солнца весьма велики: от 12 лет у Юпитера до 164 лет у Нептуна. Однако вокруг своей оси они вращаются очень быстро, быстрее любой из планет земной группы: средний период вращения видимых поверхностей Юпитера и Сатурна составляет около 10 часов, а Урана и Нептуна — около 17 часов. Все планеты-гиганты окружены системами колец и множеством спутников, большая часть из которых была открыта в последние десятилетия с помощью космических аппаратов и наземных телескопов. У Юпитера в настоящее время насчитывается 63 спутника; самый крупный — Ганимед, диаметром 5268 км. У Сатурна как минимум 62 спутника; крупнейший — Титан, 5150 км. Уран имеет 27 спутников; крупнейший — Титания, 1580 км. У Нептуна 13 спутников во главе с Тритоном (2700 км).

Среди карликовых планет лучше других изучен Плутон. Он не похож ни на одну из больших планет. Его диаметр всего около 2400 км — меньше, чем у Луны. Это очень холодная планета, ведь она расположена в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля. У Плутона есть крупный спутник, диаметром лишь вдвое меньше самой планеты — Харон, расположенный на

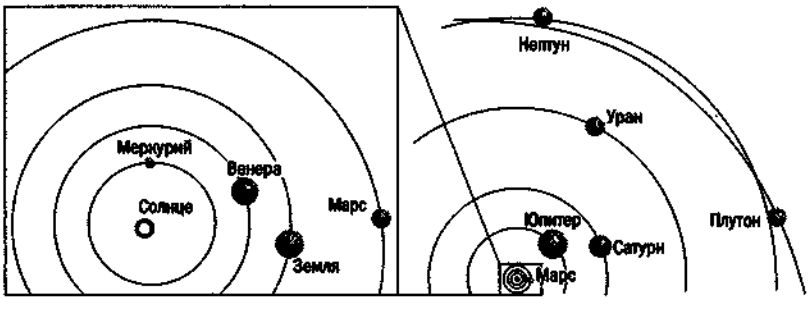


Схема Солнечной системы. Показаны 8 классических планет и планета-карлик Плутон как представитель Пояса Койпера.

расстоянии менее 20 тыс. км от Плутона. Эту пару нередко называют двойной планетой. Вокруг них обращаются ещё три небольших спутника. Для Плутона, Харона и подобных им планет-карликов пояса Койпера, вероятно, характерна толстая ледяная кора, хотя состав слагающих их пород, по-видимому, разный. По своим параметрам, внутреннему строению и составу пород Плутон больше похож на ледяные спутники планет-гигантов, чем на планеты земной группы.

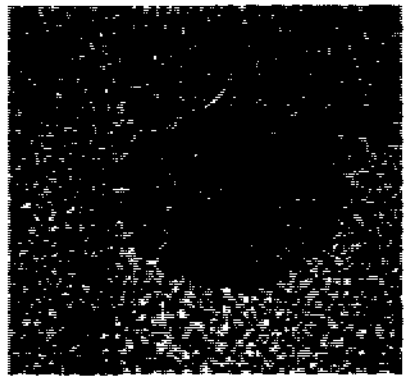
Астрономов интересуют причины, по которым планеты земной группы так сильно отличаются от планет-гигантов. Главная причина очевидна – различное расстояние от Солнца. И дело здесь не только и не столько в количестве тепла и света, получаемом этими планетами. Просто на заре эволюции планетной системы условия формирования планет были различными вблизи Солнца и на большом расстоянии от него. Существенно различались и плотность вещества, из которого формировались планеты, и его химический состав. Вопрос о том, почему существовали такие различия и как происходило образование планет, пытается решить один из разделов астрономии – космогония. Материалом для размышлений космогонистов служат детальные данные о Солнечной системе и других планетных системах, как существующих (*см. Экзопланеты*), так и формирующихся (*см. Протопланетный диск*).

СОЛНЕЧНОЕ ПРОТОННОЕ СОБЫТИЕ – совокупность физических процессов на Солнце и в межпланетном пространстве, приводящих к выходу ускоренных протонов из Солнца.

СОЛНЕЧНО-МАГНИТОСФЕРНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ – геоцентрическая прямоугольная система координат с осью *X*, направленной на Солнце, осью *Z*, лежащей в плоскости, проходящей через ось *X* и ось геомагнитного диполя, и осью *Y*, дополняющей правостороннюю систему координат.

СОЛНЕЧНО-ЭКЛИПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ – геоцентрическая прямоугольная система координат с осью *X*, направленной на Солнце, осью *Z*, направленной перпендикулярно плоскости эклиптики на север, и осью *Y*, дополняющей правостороннюю систему координат.

СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА – тёмные на вид небольшие области на диске Солнца, легко различимые в небольшой телескоп. Как правило, солнечные пятна появляются недалеко от солнечного экватора, на широтах от 5° до 35°, и через несколько дней (иногда – недель, редко – месяцев) исчезают. При наблюдении с Земли угловой размер солнечных пятен обычно составляет от 7″ до 2′, т. е. от 5000 до 90 000 км на поверхности Солнца. Тёмным солнечное пятно кажется лишь по сравнению с окружающей его яркой поверхностью Солнца. В области пятна температура фотосферы Солнца около 4500 К, тогда как окружающая его фотосфера нагрета до 5800 К. У хорошо развитого пятна выделяется более тёмная центральная часть – «тень» (нередко состоящая из нескольких фрагментов) и окружающая его менее тёмная периферия – «полутень», состоящая из радиально ориентированных волокон разной яркости.



Солнечное пятно

Солнечные пятна относятся к активным образованиям солнечной атмосферы. Появление пятна обусловлено всплыванием силовой трубки концентрированного магнитного поля напряжённостью несколько тысяч эрстед, затрудняющего конвекцию ионизованного газа, что приводит к остыванию участка фотосферы. Развитие пятна начинается с появления маленькой тёмной «поры», которая может исчезнуть, а может и вырасти в более крупное образование – пятно с центральной тенью и окружающей его полутенью. Постепенно пятно расширяется, делится на части, бледнеет и исчезает.

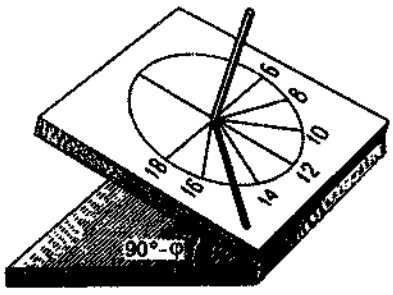
Большинство солнечных пятен образуют вытянутые примерно вдоль солнечного экватора пары – биполярные группы пятен с противоположной полярностью магнитного поля, как у концов подковообразного магнита. Как правило, все восточные и западные поля пятен имеют одну и ту же последовательность полярностей, однако противоположную в северном и южном полушариях Солнца. Количество солнечных пятен и образованных ими биполярных групп периодически (точнее, циклически, т. е. за непостоянный интервал времени, но в среднем за 11 лет) сначала относительно быстро увеличивается, а затем медленнее убывает.

СОЛНЕЧНЫЕ ЧАСЫ – старинный прибор для измерения времени по Солнцу. Он показывает истинное солнечное время, которое отличается от поясного времени по-разному в различные сезоны года. Вероятно, это древнейший научный прибор, дошедший до нас без изменений и широко использующийся в наши дни для возбуждения любознательности и демонстрации первого применения человеком его знаний о движении небесных тел. Хотя известны разнообразные конструкции солнечных часов, все их можно разделить на несколько основных типов. Наиболее распространены часы горизонтального типа; их можно найти во многих садах. Часы с вертикальным циферблатом обычно встречаются на стенах, ориентированных по сторонам света. Повёрнутый циферблат делают у вертикальных часов, размещённых на стенах, которые не ориентированы по сторонам света, а отклонённый и склонённый циферблаты наклонены соответственно от наблюдателя и к нему. Обычно они встречаются на многосторонних часах, объединяющих в себе три или более циферблатов и часто имеющих форму куба; их размещают на крышах и гребнях стен, ориентированных по сторонам света. Повёрнуто-отклонённый и повернуто-склонённый циферблаты размещают на не ориентированных по сторонам света зданиях.

У экваториальных и полярных часов плоскости циферблатов параллельны, соответственно, плоскости экватора и полярной оси. Армиллярные часы имеют экваториальный циферблат; их часто используют для декоративных целей. Они содержат от двух до десяти колец, представляющих большие круги земной и небесной сфер. Часовые деления нанесены внутри экваториального круга, а гномоном служит стержень, представляющий полярную ось. «Гномон» – это общее название для отбрасывающего тень индикатора, а «указатель» – это тот край гномона, по которому ведётся отсчёт.

Древнейшие известные ныне солнечные часы изготовлены около 1500 г. до н. э. Они сделаны из камня в форме бруска длиной около 30 см с вертикальным Т-образным навершием на одном конце. Часы отсчитывались по засечкам, нанесённым на бруске через неравные интервалы. Они выставлялись горизонтально по отвесу. Т-образный конец утром поворачивали к востоку, а после обеда – к западу. Тень от верхней кромки «Т» указывала время. Эти и другие древние солнечные часы показывали «неравные часы», образующиеся в результате деления времени от восхода до заката солнца на фиксированное число частей. Поскольку длительность светового дня в течение года меняется, менялась и длина часа: летом он был длиннее, а зимой – короче.

Примерно в начале христианской эры был открыт принцип наклонного гномона, позволившего ввести «равные часы», обеспечившие более точное хранение времени. В основе этого принципа лежит тот факт, что если стержень гномона напра-

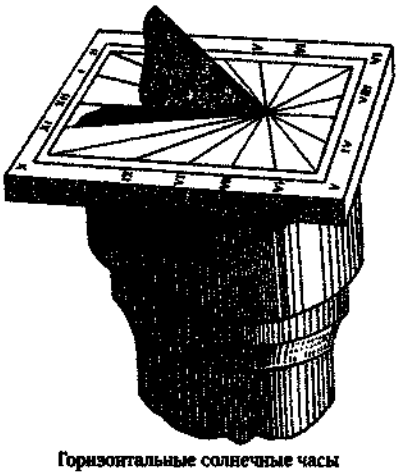


Экваториальные солнечные часы

вить на полюс мира, он станет осью параллельной экватору окружности, по которой обращается солнце. Разделив её на 24 равные части, получили часы одинаковой длительности. Классическим примером этого замечательного открытия служат обычные горизонтальные солнечные часы, которые нередко можно встретить в парках. На этом принципе основаны все солнечные часы, независимо от их типа, конструкции, формы и размера.

Многие века искусством создания солнечных часов владели только мастера, знакомые с гномоникой. С XIV по XVIII столетия многие ремесленники проявили изобретательность и мастерство в изготовлении карманных солнечных часов высокой точности, ставших жемчужинами часового искусства. Появление механических часов не упразднило вплоть до XVIII в. использование солнечных часов для хранения времени. Изготовители солнечных часов шли в ногу с конструкторами механических часов, изобретая приборы для определения среднего солнечного времени. Когда было введено поясное время, солнечные часы приспособили и к этому. В конце XIX и начале XX столетий было сделано много очень точных солнечных часов для определения поясного времени, названных гелиохронометрами.

Существуют три метода определения времени по Солнцу: 1) путём измерения его часового угла от меридиана, как в обычных садовых солнечных часах; 2) по измерению его высоты над горизонтом; 3) по его азимуту, для чего требуется вертикальный указатель у гномона. В большинстве стационарных солнечных часов измеряется часовой угол. Два другие метода часто используют в портативных часах.



Горизонтальные солнечные часы

Существуют также три способа индикации времени: тенью, световой точкой и магнитной стрелкой. В большинстве часов используется тень. Свет редко используют в стационарных часах. А в портативных применяют все три способа. Часы с магнитной стрелкой бывают двух типов. В первом равноотстоящие часовые отметки наносят на корпусе компаса, которому обычно придают квадратную форму. Повернув корпус так, чтобы тени на его боковых гранях исчезли, по направлению стрелки считывают время. В приборах второго типа часовые метки наносят на эллиптический пояс, который передвигается в соответствии с днём года, как во многих азимутальных часах. И в этом случае корпус поворачивают до исчезновения тени на боковых гранях и по направлению стрелки считывают время. Часы этого типа более точны; их ошибка определяется лишь тем, что магнитная стрелка отклоняется от истинного направления на север.

Как правило, солнечные часы создают для использования в определённом месте, но можно сделать и универсальные часы для использования в любом месте. Иногда их делают для определённой цели: только для указания полудня или праздничных дней. В наше время наиболее распространены горизонтальные часы с треугольным гномоном и вертикальные на стенах домов. Однако можно встретить и множество других конструкций. Но независимо от типа каждые часы расчитываются и подгоняются для конкретного места.

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР — плазма, постоянно истекающая из Солнца. См. *Звёздный ветер.*

СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ — циклическое изменение явлений на Солнце. Основные циклы солнечной активности имеют 11- и 22-летние периоды.

СОЛНЦЕ — звезда, центральное светило Солнечной системы, одна из многих миллиардов звёзд нашей Галактики. Физические характеристики Солнца: масса $M_\odot = 1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг; видимая поверхность (фотосфера) имеет форму шара радиусом $R_\odot = 6{,}960 \cdot 10^8$ м; средняя плотность вещества 1,41 г/см^3; полная мощность излучения с поверхности (светимость) $L_\odot = 3{,}850 \cdot 10^{26}$ Вт. Эффективная температура солнечной поверхности, определяющая полный поток излучения Солнца, составляет около 5800 К, но температура поверхности, найденная по положению максимума излучения в спектре Солнца, равна 6750 К. На диаграмме Герцшпрунга—Рассела Солнце располагается на главной последовательности и имеет спектральный класс G2. Состав вещества (по массе): 75% водорода, 23% гелия и 2% других химических элементов в сумме. Рассчитанная плотность вещества в центре Солнца — около 160 г/см^3, температура — около 15 млн К. Возраст Солнца — около 4,6 млрд лет.

Солнце вращается вокруг оси неоднородно: период вращения на экваторе около 25 сут, вблизи полюсов — около 30 сут. Поверхность имеет вид бурлящей от нагрева жидкости: тонкими темноватыми прожилками она разбита на светлые ячейки — гранулы, каждая размером около 800 км. Так проявляется конвекция газа в верхних слоях Солнца. В фотосфере регулярно появляются и исчезают тёмные солнечные пятна, обычно окружённые более светлыми и горячими участками — факелами. Характерный размер пятен 30 тыс. км, время жизни — около месяца. Над фотосферой расположена разреженная и горячая хромосфера, а над ней — ещё более разреженная и гораздо более горячая солнечная корона, которая постепенно рассеивается в окружающем пространстве, формируя солнечный ветер. Иногда в атмосфере Солнца происходит мощное локальное выделение энергии — солнечная вспышка. При этом в межпланетное пространство выбрасываются потоки солнечных космических лучей, вызывающие заметные явления в верхних слоях земной атмосферы (полярные сияния, магнитные бури). Описанные выше процессы называют солнечной активностью. Её интенсивность изменяется с периодом около 11 лет.

СОЛНЦЕСТОЯНИЕ — прохождение Солнца через точки эклиптики, максимально удалённые от небесного экватора. Эти точки называют точками солнцестояния. Различают летнее и зимнее солнцестояния. В эти моменты высота Солнца над горизонтом в полдень соответственно максимальна или минимальна.

В Северном полушарии летнее солнцестояние приходится на 20, 21 или 22 июня, а зимнее — на 21 или 22 декабря (в Южном полушарии — наоборот). Даты солнцестояния в разные годы могут отличаться на 1–2 дня вследствие високосного сдвига. По традиции терминология ориентируется на Северное полушарие: июньское событие по всей Земле называют летним солнцестоянием, а соответствующую точку эклиптики — точкой летнего солнцестояния. Декабрьское событие называют зимним солнцестоянием, а точку эклиптики — точкой зимнего солнцестояния. В эти даты на Земле наблюдается самый длинный или самый короткий световой день (разумеется, в тече-

ние суток; многосуточные полярные дни не в счёт). В Северном полушарии в день зимнего солнцестояния к югу от Северного полярного круга наблюдается самый короткий день, а в день летнего солнцестояния – самый длинный день. В Южном полушарии – наоборот.

В астрономии момент летнего солнцестояния принимается за начало лета, а момент зимнего солнцестояния – за начало зимы (в Северном полушарии). Эклиптическая долгота Солнца в эти моменты, соответственно, 90° и 270°. В средних широтах в течение астрономической зимы и весны Солнце каждый день кульминирует в полдень всё выше над горизонтом, а в день летнего солнцестояния «останавливается» и изменяет своё движение на обратное. Летом и осенью (с 21 июня по 21 декабря) оно каждый день кульминирует всё ниже и ниже. В конце концов, в момент зимнего солнцестояния, Солнце вновь «останавливается», изменяет своё движение на обратное и начинает подниматься. В течение нескольких дней до и после моментов солнцестояния высота Солнца в полдень почти не меняется, т. е. светило почти не меняет своего склонения. Отсюда и происходит название явлений – солнцестояния. Из наблюдений высоты Солнца в периоды солнцестояний можно определить наклон плоскости эклиптики к плоскости небесного экватора: он равен половине углового расстояния между точками летнего и зимнего солнцестояний.

СООТНОШЕНИЕ МАССА—СВЕТИМОСТЬ – взаимосвязь между массой и абсолютной звёздной величиной (светимостью) звезды, которой подчиняются звёзды главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рассела, т. е. не очень молодые и не слишком старые звёзды (см. *Зависимость масса–светимость*).

СООТНОШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ – утверждение, известное также как «принцип неопределённости» и состоящее в том, что невозможно одновременно знать со сколь угодно большой точностью положение и скорость субатомных частиц. В математической форме записывается так: $\Delta x \Delta p_x \geqslant \hbar/2$, где Δx – неопределённость положения частицы по оси x, Δp_x – неопределённость её импульса вдоль этой оси. Принцип неопределённости предложил Вернер Гейзенберг в 1927 г. Это соотношение служит одним из фундаментальных положений квантовой механики; оно ограничивает применение к микрообъектам классических понятий и представлений.

СОПУТСТВУЮЩАЯ СИСТЕМА ОТСЧЁТА В КОСМОЛОГИИ – система отсчёта, движущаяся (расширяющаяся) вместе с совокупностью всех галактик и их скоплений, т. е. такая система, относительно которой галактики покоятся. Вообще системой отсчёта в общей теории относительности называют совокупность воображаемых пробных частиц, по отношению к которым измеряют скорости движения тел и непрерывной среды; они служат основой (реперами) для измерения пространственных расстояний, а время, текущее на них, – основой для измерения длительности процессов. Важность понятия системы отсчёта показала теория относительности, которая установила, что нет абсолютного пространства и абсолютного времени, их свойства зависят от относительного движения тел. Вдали от тяготеющих тел, когда поле тяготения слабо, справедлива частная (специальная) теория относительности. В этой теории все системы отсчёта, движущиеся по инерции, равноправны. Каждую такую систему отсчёта можно представить в виде воображаемой жёсткой пространственной решётки, относительно которой определяют положение (координаты) тел. Трёхмерное пространство каждой такой решётки (каркаса) называется пространством данной системы отсчёта. Геометрия такого пространства евклидова.

В более общем случае, когда поле тяготения велико и меняется с течением времени, геометрические свойства пространства уже не евклидовы и меняются с течением времени. Это означает, что каркас системы отсчёта не может быть жёстким, он деформируется с течением времени из-за изменения геометрии пространства. В этом случае систему отсчёта можно представить в виде произвольного деформирующегося каркаса, задаваемого системой воображаемых движущихся частиц. Выбор системы отсчёта произволен, обычно выбирают систему отсчёта, наиболее удобную для рассматриваемого случая. Так, при рассмотрении движения непрерывной среды часто удобно связать систему отсчёта с частицами этой среды, т. е. считать деформирующийся каркас «приклеенным» к частицам среды. В этой системе отсчёта частицы среды покоятся, а система деформируется точно так же, как и среда.

В грандиозных масштабах Вселенной, содержащей миллиарды галактик, отдельные галактики или даже скопления галактик можно рассматривать как частицы, а их совокупность – как непрерывную среду. Систему отсчёта, «приклеенную» к этой среде, называют в космологии сопутствующей. Скопления галактик удаляются друг от друга вследствие космологического расширения, следовательно, сопутствующая система отсчёта, рассматриваемая в космологии, расширяется.

СОТОВОЕ ЗЕРКАЛО – зеркало крупного телескопа (как правило, главное зеркало), вес которого существенно уменьшен за счёт удаления части материала заготовки. Тыльная сторона облегчённого зеркала имеет вид примыкающих друг к другу полостей шестиугольной (или иной) формы, образующих правильную сотовую структуру. Такая конструкция при существенном уменьшении веса зеркала почти не снижает его жёсткость, делая её достаточной для исключения недопустимых прогибов оптической поверхности под действием силы тяжести.

СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ (от англ. *speckle* – пятнышко, крапинка) – метод достижения высокого углового разрешения при анализе астрономических изображений, близкого к теоретически возможному на крупных наземных телескопах. Этот метод предложил в 1970 г. французский астроном А. Лабейри.

При наблюдениях методом спекл-интерферометрии получают серию снимков объекта в большом масштабе с очень короткой экспозицией (10^{-3}–10^{-2} с), позволяющей фиксировать мгновенную картину мерцаний изображения. При этом каждый снимок точечного источника (например, далёкой одиночной звёзды) состоит из множества пятен-спеклов, являющихся результатом хаотичной интерференции света в фокусе телескопа, возникающей из-за случайных деформаций волнового фронта света в атмосфере Земли. Специальной обработкой из серий таких снимков можно извлечь информацию о структуре изображения объекта с разрешением вплоть до дифракционного для данного телескопа. Например, можно заметить двойственность большинства спеклов, говорящую о двойственности звезды и указывающую разделение и позиционный угол компонентов. Метод спекл-интерферометрии в основном используется для изучения двойных и кратных звёзд, а также для получения прямых изображений поверхностей ближайших звёзд-гигантов. С его помощью удаётся изучать с высоким разрешением лишь достаточно яркие объекты (ярче 15^m).

Фактически спекл-интерферометрия – это один из методов пространственной интерферометрии, основанный на анализе зернистой структуры телескопических изображения космических объектов. Возможность выявления деталей внешнего вида космических объектов зависит от чёткости их изображений. Но даже в идеальном оптическом приборе чёткость неизбежно ограничена дифракцией, и точечный источник излучения виден как диск углового размера $\alpha \approx \lambda/D$, где D – диаметр объектива телескопа. Поэтому реальное изображение протяжённого источника, состоящего из многих излучающих точек, также всегда несколько размыто.

Метод спекл-интерферометрии позволяет в значительной мере исключить раз-

мытость, вызванную искажениями в атмосфере и оптической системе телескопа, и довести разрешающую способность прибора практически до дифракционной. В методе спекл-интерферометрии регистрируют сильно увеличенное изображение с короткой экспозицией. Оказывается, что оно состоит из множества мелких пятнышек-спеклов (светлых зёрен), которые возникают благодаря интерференции лучей света, попадающих в фокальную плоскость телескопа от разных участков объектива. Каждое такое пятнышко похоже на дифракционный диск размером $\approx \lambda/D$ в фокальной плоскости идеального телескопа, работающего вне атмосферы. Влияние атмосферы в реальных наземных условиях заключается в том, что дошедший от источника до телескопа волновой фронт всегда искажён оптическими неоднородностями атмосферы. Поэтому попадающие в телескоп волны имеют случайные фазовые задержки, а интерференционная картина в фокальной плоскости (мозаика пятен) непрерывно меняется (изображение объекта как бы кипит). При регистрации с малыми экспозициями со светофильтром фиксируется «мгновенное» распределение пятен, а при больших экспозициях оно усредняется, изображение теряет свою тонкую структуру и приобретает размытый вид.

В изображениях неточечных, протяжённых источников излучения форма и размер пятен отражают особенности самого источника. Например, если наблюдается двойная звезда, то пятна располагаются парами, подобными искажённым дифракционным дискам от двух компонентов звезды. Для получения информации о структуре наблюдаемого объекта обрабатываются, т. е. подвергаются статистическому анализу, десятки и сотни его «мгновенных» снимков.

При исследовании слабых (т. е. тусклых) источников излучения приходится пользоваться электронно-оптическими преобразователями, многократно усиливающими яркость изображений. Чувствительность метода значительно повышается, если применяются специальные телевизионные приёмники, которые способны регистрировать отдельные кванты излучения. В конечном счёте именно квантовая природа излучения ограничивает чувствительность спекл-интерферометрии: изображение слабой звезды представляет собой совокупность отдельных точек в тех местах, куда попали фотоны. Анализ слабых объектов требует очень большого усреднения. Например, если в кадр попадают всего 1–2 фотона от источника, то для исследования такого источника необходимо обработать свыше миллиона кадров. Расчёт показывает, что методом спекл-интерферометрии можно наблюдать звёзды до $18–20^m$ (пока изучались звёзды до $15–16^m$).

Спекл-интерферометрия с успехом применяется для исследований тесных двойных звёзд. Если спектроскопические измерения дают размеры орбиты звёзд двойной системы в линейной мере (в астрономических единицах), то спекл-интерферометрические — в угловой мере (в секундах дуги). Сопоставление этих данных позволяет определить расстояние до системы. Но основным результатом изучения орбит звёзд двойной системы является определение масс их компонентов. Спекл-интерферометрия позволяет существенно увеличить число звёзд, у которых определена масса.

С помощью спекл-интерферометрии измерены диаметры нескольких холодных звёзд-гигантов, в частности двух долгопериодических переменных звёзд о Cet и R Leo. Подобно диску Солнца, их диски ярче в центре и темнее по краям. Зависимость видимого диаметра звезды от длины волны даёт важную информацию для построения моделей протяжённых атмосфер этих звёзд. Спекл-интерферограммами определены диаметры и форма нескольких астероидов и Плутона (на котором выявлен ряд деталей), улучшены снимки солнечных пятен. Новые методы математической обработки спекл-изображений позволят получить фотографии небольших небесных тел с высоким разрешением. Благодаря сравнительной простоте и универсальности спекл-интерферометрия получила достаточно широкое распространение. Уже многие обсерватории мира располагают спекл-интерферометрами.

СПЕКТР — зависимость энергии излучения источника от длины волны (или частоты) излучения. В оптическом диапазоне спектр воспринимается глазом как последовательность цветов, в которую раскладывается луч света с помощью призмы или дифракционной решётки.

СПЕКТР ВСПЫШКИ — серия узких серповидных линий излучения газа солнечной хромосферы, получаемая бесщелевым спектрографом за мгновение до начала полной фазы солнечного затмения, когда виден лишь узкий серп Солнца. Фактически спектр вспышки — это эмиссионный спектр солнечной хромосферы, который наблюдается в ходе полного солнечного затмения в тот момент, когда фотосфера уже полностью закрыта, но ещё видна солнечная хромосфера, т. е. в течение нескольких секунд до наступления полной фазы либо в течение нескольких секунд перед окончанием полной фазы затмения. При наблюдении затмения через спектроскоп в тот момент, когда лунный диск полностью закрывает фотосферу и остаётся видна лишь хромосфера, на месте линий поглощения становятся видны («вспыхивают») эмиссионные линии хромосферы, откуда и происходит название явления. Для наблюдения спектра вспышки спектроскопу не нужна входная щель: ввиду малой угловой ширины хромосферы (около 10″) она сама играет роль щели. Спектр вспышки имеет вид ряда монохроматических изображений хромосферы (в виде «серпиков») на месте каждой из эмиссионных линий.

СПЕКТР ЛИНЕЙЧАТЫЙ, или эмиссионный, — спектр излучения разреженного газа, состоящий из отдельных спектральных линий с широкими тёмными промежутками между ними. Для каждого химического элемента характерен свой набор спектральных линий.

СПЕКТР НЕПРЕРЫВНЫЙ — спектр, в любом интервале длин волн (частот) которого присутствует излучение, что соответствует плавному и непрерывному переходу от одного цвета к другому. Непрерывный спектр характерен для излучения непрозрачных тел, не имеющих перепадов температуры.

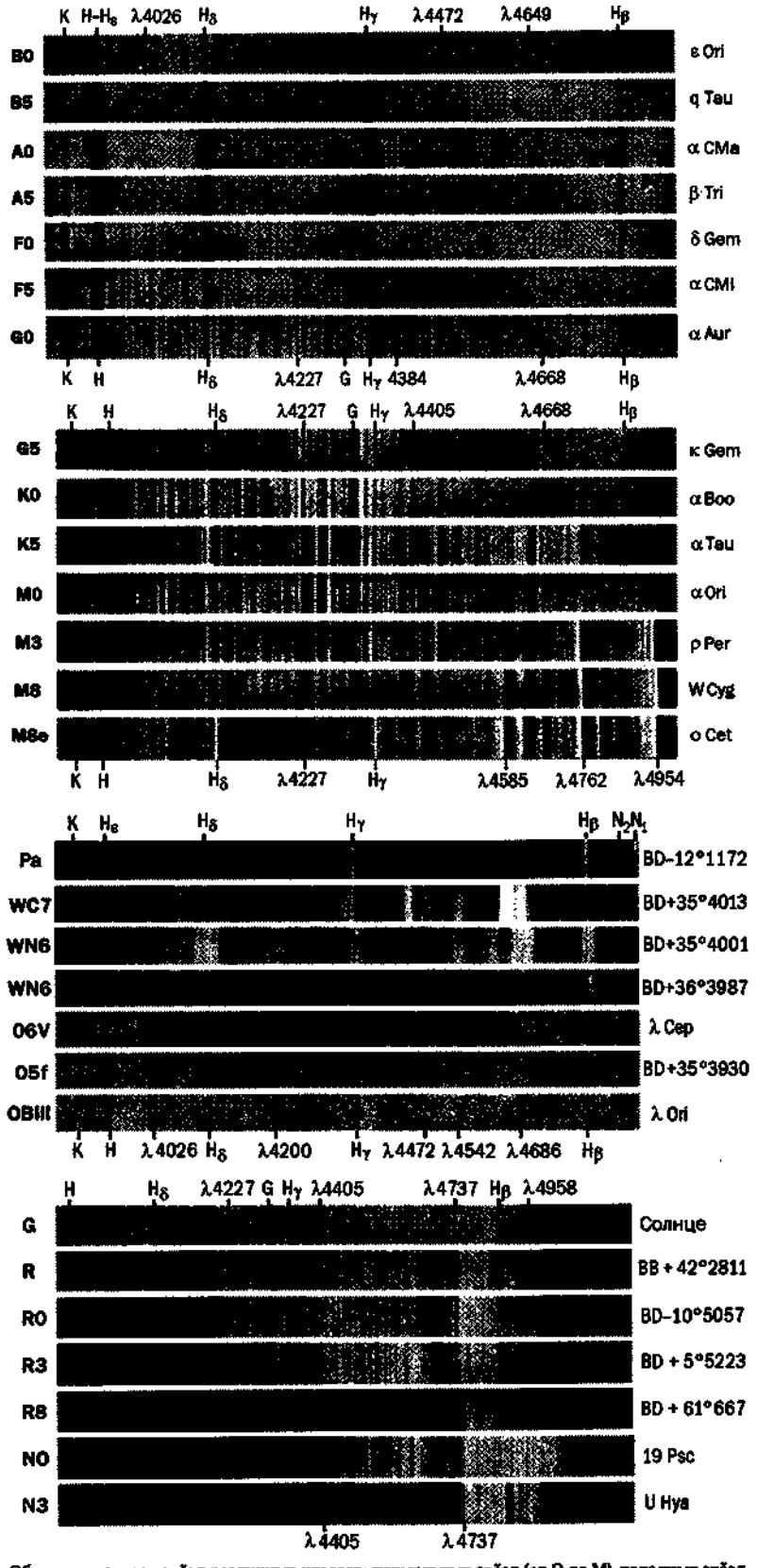
СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ — непрерывный спектр, на фоне которого видны тёмные линии поглощения, которых обычно обязаны своим появлением присутствию относительно холодного газа перед источником непрерывного спектра.

СПЕКТР СРАВНЕНИЯ — спектр, обычно линейчатый эмиссионный, от искусственного источника, проецируемый рядом со спектром астрономического объекта и регистрируемый одновременно с ним. Спектр сравнения, содержащий линии с известной длиной волны, задаёт шкалу длин волн в изображении и позволяет выполнять измерения линий в спектре изучаемого объекта.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ДВОЙНАЯ — двойная звезда, компоненты которой так близки друг к другу, что их не удаётся различить по отдельности даже в мощный телескоп, но период и скорость их орбитального движения вокруг общего центра массы могут быть измерены путём спектрального анализа.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННАЯ — звезда, у которой интенсивность некоторых линий в спектре регулярно изменяется. Вероятно, причиной этого служит вращение звезды, поверхность которой покрыта крупными пятнами с неоднородностями химического состава, температуры и магнитного поля.

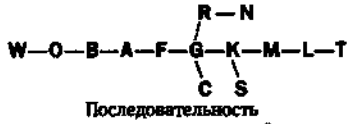
СПЕКТРАЛЬНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ — способность различать близкие по частоте сигналы, избирательность спектрального прибора. Характеризуется минимальной разницей частоты колебаний ($\Delta\nu$)



Образцы спектров звёзд различных классов: нормальных звёзд (от O до M), холодных звёзд с особенностями химического состава (R и N), звёзд типа Вольфа-Райе (WC и WN)

или длины волны ($\Delta\lambda$), которую способен фиксировать прибор.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ ЗВЁЗД – деление звёзд по характеру их оптического спектра (см. *Гарвардская система*). Спектральные классы тесно связаны с температурой (в меньшей степени – с плотностью и химическим составом) звёздных атмосфер. Диапазону эффективных температур звёзд от 50 000 до 2000 K соответствует последовательность спектральных классов, обозначаемых буквами O, B, A, F, G, K, M, L и T. Дополнительные классы R, N и S отражают вариации химического состава холодных звёзд.



Последовательность спектральных классов звёзд

Промежуток между соседними спектральными классами делился на 10 подклассов – от 0 до 9 – с ростом в сторону уменьшения температуры (пример: ..., A8, A9, F0, F1...). Спектральный класс Солнца G2. Недавно исходное деление на 10 подклассов было преобразовано путём добавления или удаления некоторых подклассов, что позволяет обеспечить более плавные переходы при изменении температуры.

Современное деление спектральных классов звёзд на подклассы

Класс	Подклассы
O	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9.5
B	0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9.5
A	0, 2, 3, 5, 7
F	0, 2, 3, 5, 7, 8, 9
G	0, 2, 5, 8
K	0, 2, 3, 4, 5
M	0, 1, 2, 3, 4, 7, 8

Наиболее «холодные» классы L и T введены недавно и пока детально не разработаны. Фактически к спектральному классу T (и частично даже к L) относятся не звёзды, а коричневые карлики, в недрах которых не происходит термоядерных реакций с участием лёгкого изотопа водорода. См. также *Классы светимости*.

СПЕКТРОГРАФ – прибор для регистрации спектра исследуемого объекта. Основные части оптического спектрогра-

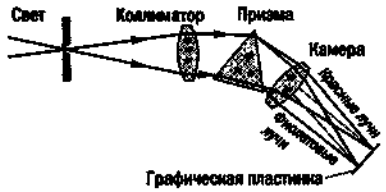


Схема простейшего призменного спектрографа

фа: щель для выделения узкой полоски изображения, коллиматор (объектив) для создания параллельных пучков света от каждой точки щели, призма или дифракционная решётка для разложения пучка света в спектр, камера для фотографирования спектра.

СПЕКТРОКОМПАРАТОР — прибор для сравнения спектров звёзд и измерения смещения линий в спектре одной звезды относительно идентичных линий в спектре другой звезды или линий с известной длиной волны в спектре лабораторного источника света. Это позволяет, используя эффект Доплера, определять лучевые скорости звёзд.

СПЕКТРОСКОП ПРЯМОГО ЗРЕНИЯ — небольшой спектроскоп, разлагающий входной пучок света в спектр без изменения направления распространения пучка. Спектроскопы прямого зрения используют в лабораторных условиях для исследования спектров искусственных источников. А если поместить такой спектроскоп позади окуляра телескопа, то можно непосредственно рассматривать спектры ярких звёзд, туманностей и других объектов. В спектроскопе прямого зрения используется комбинация из нескольких (3 или 5) призм, изготовленных из двух различных сортов стекла. Призмы комбинируют таким образом, что отклонение входного пучка лучей взаимно компенсируется, а суммарная дисперсия — нет.

СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — научно-исследовательский институт Российской академии наук, расположенный на Северном Кавказе в Зеленчукском районе Карачаево-Черкесской Республики России (пос. Нижний Архыз и станица Зеленчукская). Основанная в 1966 г., в настоящее время обсерватория САО является крупнейшим российским астрономическим центром наземных наблюдений за Вселенной, который располагает крупными телескопами: 6-метровым оптическим рефлектором БТА (*см. Большой телескоп альт-азимутальный*) и кольцевым радиотелескопом РАТАН-600.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ — ковариантная формулировка механики и электродинамики в плоском пространстве-времени. Более точное название — частная теория относительности (англ. *Special relativity* или *Special theory of relativity*). Это физическая теория измерений в инерциальной системе отсчёта, созданная в 1905 г. Альбертом Эйнштейном (при том, что значительный вклад в её разработку внесли Г. Лоренц, А. Пуанкаре и другие математики и физики).

СПИКА — α Девы, звезда 0,98 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 270 св. лет. Это двойная звезда, компоненты которой обращаются вокруг общего центра масс с периодом около 4 сут. Каждая из этих горячих голубых звёзд раз в десять массивнее Солнца и по светимости превосходит его примерно в 1000 раз. При этом один из компонентов является пульсирующей переменной звездой.

СПИКУЛЫ — основной элемент тонкой структуры хромосферы Солнца в виде тонких струй светящегося газа. Появляются и исчезают за несколько минут.

СПИРАЛЬНАЯ ГАЛАКТИКА — галактика, основным наблюдаемым элементом которой является вращающийся диск с выделяющимися на нём спиральными ветвями, выходящими из центральной области диска (с. 14–15 цветной вкладки). К числу таких галактик относится наша Галактика и ближайшие крупные галактики — Туманность Андромеды (M31) и Туманность Треугольника (M33).

СПИРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ — структура межпланетного магнитного поля, характеризующаяся силовыми линиями в виде спиралей Архимеда, закрученными против вращения Солнца («отстающий спиральный узор»).

СПИРАЛЬНЫЕ ВЕТВИ ГАЛАКТИК — элемент структуры спиральных галактик. Спиральные ветви выделяются повышенной яркостью на фоне галактического диска благодаря концентрации в них звёзд высокой светимости и ярких эмиссионных туманностей. Спиральные ветви галактик содержат также области, где концентрируются облака холодного межзвёздного газа и происходит рождение звёзд. В диске нашей Галактики несомненно есть спиральные ветви, но точный их рисунок пока не определён, поскольку наблюдаются они в проекции друг на друга сквозь плотные облака межзвёздного вещества, поглощающего свет. В большинстве случаев спиральные ветви возникают в результате распространения гигантских по размеру волн сжатия и разрежения по газово-звёздному диску галактики.

СПИТЦЕР, Лайман (Spitzer, Lyman, Jr.) (26.06.1914, Толидо, шт. Огайо, США, — 1.03.1997, Принстон, США) — американский физик и астроном. Окончив в 1935 г. Йельский университет, продолжил образование в Кембриджском (Англия) и Принстонском университетах. В 1938–1939 гг. работал в Гарвардском университете, в 1939–1942 гг. преподавал астрономию и физику в Йельском университете. В годы войны занимался исследованиями по военной тематике в Колумбийском университете. В 1946–1947 гг. профессор астрономии Йельского университета, с 1947 г. профессор астрономии и директор обсерватории Принстонского университета. В 1953–1966 гг. возглавлял Лабораторию физики плазмы в Принстонском университете. С 1952 г. член национальной АН США.

Основные работы посвящены физике плазмы, астрофизике межзвёздной среды и звёздных атмосфер, звёздной динамике. В ранних работах рассмотрел ряд вопросов образования спектральных линий в звёздных атмосферах и уширения линий при повышении давления газа. Выполнил детальный анализ физических условий в атмосферах холодных звёзд-сверхгигантов Бетельгейзе и α Геркулеса; впервые обратил внимание на аномальное поле скоростей в атмосферах этих звёзд, которое впоследствии было интерпретировано А. Дейчем как истечение из них вещества.

Спитцер доказал несостоятельность гипотезы образования Солнечной системы при прохождении звезды вблизи Солнца (приливная гипотеза Дж. Джинса), показав, что вещество, исторгнутое из Солнца, не сможет сконденсироваться и образовать планеты, а будет рассеяно в пространстве вследствие преобладания в нём силы внутреннего давления над силой самогравитации. Исследовал эволюцию сферического самогравитирующего облака точечных масс; показал, что звёзды в скоплениях постепенно приобретают скорость, превышающую критическую, и покидают скопление. Определил равновесные температуры в межзвёздных облаках ионизованного и нейтрального водорода, впервые произвёл учёт нагревания межзвёздного газа космическими лучами. Изучил химический состав межзвёздных облаков. Рассмотрел такие вопросы физики межзвёздной среды, как образование молекул, ориентация в пространстве твёрдых частиц (космических пылинок), связь газовых и пылевых облаков, динамика взаимодействия звёзд и межзвёздных газовых облаков.

Спитцер высказал предположение о существовании протяжённой горячей «галактической короны» вокруг нашей Галактики и о том, что в аналогичных коронах вокруг далёких галактик могут образовываться сильно смещённые в красную сторону линии поглощения, которые наблюдаются в спектрах некоторых квазаров. Рассмотрел процессы конденсации вещества в ядрах галактик и образования плотных ядер, содержащих массивные звёзды. Высказал предположения о том, что частые столкновения звёзд в таких сверхплотных ядрах, приводящие к освобождению огромного количества энергии, могут объяснить высокие све-

тимости ядер сейфертовских галактик и квазаров.

Выполнил также ряд фундаментальных исследований по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу. Предложил систему удержания горячей плазмы сильным магнитным полем («стелларатор»). Велика заслуга Спитцера в развитии в США астрономических исследований с помощью космических летательных аппаратов. Он был инициатором создания первых орбитальных астрономических обсерваторий, включая космический телескоп «Хаббл». Автор монографий «Физика полностью ионизированных газов» (1956), «Диффузное вещество в космосе» (1968), «Физические процессы в межзвёздной среде» (1978) и др. Президент Американского астрономического общества (1960–1962). Награждён медалями «За выдающиеся научные достижения» NASA (1972), им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1973), им. Г. Дрэпера Национальной АН США (1974), Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1978), Национальной научной медалью правительства США (1980).

СПЛЮСНУТОСТЬ ПЛАНЕТЫ – степень отличия фигуры вращающейся планеты от сферы, вызванная её сжатием вдоль полярной оси и расширением в плоскости экватора за счёт центробежных сил. В некоторых публикациях вместо термина «сплюснутость» используются термины «сжатие» или «эллиптичность».

Геометрическая сплюснутость численно выражается отношением разности экваториального и полярного радиусов к экваториальному радиусу планеты:

$$\varepsilon = (R_e - R_p)/R_e.$$

Динамическая сплюснутость, или динамическое сжатие, планеты выражается через амплитуду второй гармоники (J_2) в разложении её гравитационного потенциала в ряд по полиномам Лежандра, а также через массу планеты (M), угловую скорость её вращения (ω) и экваториальный радиус (R_e):

$$e_d = {}^3/_2 \cdot J_2 + {}^1/_2 \cdot q,$$

где $q = \omega^2 R_e^2/(GM)$. Среди больших планет Солнечной системы наибольшую сплюснутость имеет Сатурн ($\varepsilon = 0{,}098$), а наименьшую – Венера ($\varepsilon = 0$). Сплюснутость Земли составляет 0,003354.

СПОНДЕ (J XXXVI, Sponde) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 24 253 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 748,34 сут. Эксцентриситет орбиты 0,443. Наклонение орбиты к эклиптике 154°. Диаметр 2 км. Альбедо около 4%. Блеск 23^m и максимальное угловое расстояние от планеты 3°11′17″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

СПУТНИК – 1. Естественный спутник – небольшое природное тело, обращающееся по орбите вокруг планеты или астероида. Здесь «небольшое» следует понимать лишь по отношению к самой планете, поскольку некоторые спутники планет-гигантов размерами могут превосходить небольшие планеты. Так, Ганимед (спутник Юпитера) и Титан (спутник Сатурна) больше планеты Меркурий. По-видимому, есть основания называть подобные объекты планетами-спутниками, поскольку у них есть все физические признаки планет, и только их орбиты отличаются от орбит планет наличием сильного возмущения со стороны близкого массивного тела.

2. Искусственный спутник – рукотворный космический аппарат, обращающийся по орбите вокруг естественного небесного тела – планеты, астероида, ядра кометы и т. п.; примеры – искусственный спутник Земли (ИСЗ), искусственный спутник Луны (ИСЛ). Части ракет-носителей и технологические детали обычно называют не спутниками, а космическим мусором. Пилотируемые орбитальные станции также не принято теперь называть искусственными спутниками, хотя формально они ими являются. Аппараты, обращающиеся по околосолнечным орбитам, обычно называют не спутниками Солнца, а межпланетными зондами или автоматическими межпланетными станциями (АМС).

СРЕДНЕЕ СОЛНЦЕ – воображаемая точка, равномерно движущаяся с запада на восток по небесному экватору, и совершающая полный оборот относительно точки весеннего равноденствия в течение тропического года. Её положение совпадает с центром истинного Солнца в моменты весеннего и осеннего равноденствий, т. е. когда Солнце пересекает экватор. Среднее солнце введено как вспомогательное расчётное средство для установления однородной шкалы времени. Среднее солнце служило основой системы точного времени до введения международного атомного времени.

СРЕДНЕПОЛОСНАЯ ФОТОМЕТРИЯ – фотометрия в оптическом диапазоне спектра с использованием светофильтров, имеющих ширину полосы пропускания от 10 до 50 нм. Примерами служат 4-цветная система Стрёмгрена и 7-цветная Вильнюсская система (см. *Фотометрическая система*).

СРЕДСТВО РЕДУКЦИИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ (англ. Image Reduction and Analysis Facility, IRAF) – широко применяемый интегрированный пакет компьютерных программ, предназначенный для обработки астрономических данных, в частности, изображений и спектров, полученных на крупных наземных телескопах и Космическом телескопе «Хаббл».

СТАНДАРТНАЯ СВЕЧА – астрономический объект (обычно это звезда, звёздное скопление или галактика), по наблюдаемым свойствам которого можно догадаться о его истинной светимости и таким образом, сравнивая светимость с наблюдаемым блеском, определить расстояние до этого объекта. Основанием для этого служит основной фотометрический закон, или закон обратных квадратов (освещённость обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света).

Классический пример стандартной свечи – переменная звезда-цефеида: характерный вид кривой блеска позволяет заключить, что это именно цефеида, а период изменения её блеска позволяет определить светимость звезды (см. *Зависимость период–светимость*). В роли стандартной свечи с большим или меньшим успехом астрономы используют множество объектов и их систем. Например, главная последовательность на диаграмме Герцшпрунга–Рассела у звёздных скоплений сходного химического состава имеет одинаковую форму и положение. Это служит основанием для определения относительного расстояния скоплений методом совмещения их главных последовательностей. С некоторой натяжкой можно считать, что одинаковую светимость имеют ярчайшие звёзды во всех галактиках или ярчайшие галактики во всех скоплениях галактик.

В конце XX в. важную роль как стандартные свечи сыграли сверхновые типа Ia. Как выяснилось, эти вспышки обладают важной особенностью: их светимость в максимуме блеска связана со скоростью уменьшения блеска после максимума. Поэтому, наблюдая за ходом кривой блеска, можно определить светимость в максимуме и, следовательно, расстояние до галактики, в которой произошла вспышка сверхновой. Этот метод позволил измерить расстояния до очень далёких галактик, уточнить изменение постоянной Хаббла со временем и обнаружить факт ускоренного расширения Вселенной в современную эпоху.

СТАНДАРТНЫЕ ЗВЁЗДЫ – звезды, используемые в фотометрии для калибровки наблюдений исследуемых звёзд. В спектрофотометрии поток излучения от стандартной звезды сравнивают с потоком от лабораторного источника, расположенного рядом с телескопом и имитирующего абсолютно чёрное тело, у ко-

торого распределение излучения по длинам волн зависит только от температуры. В обычной фотометрии стандартной звезде приписывают точно определённую звёздную величину и цвет, и с ней сравнивают исследуемую звезду.

СТЕББИНС, Джоэл (Stebbins, Joel) (30.07.1878–16.03.1966) – американский астроном, основоположник фотоэлектрической астрофотометрии. С селеновым фотоэлементом провёл (1906–1937) наблюдения Луны, солнечной короны, переменных звёзд, открыв ряд тонких эффектов. Совместно с А. Уитфордом разработал шестицветную фотометрическую систему в диапазоне от 330 до 1250 нм.

СТЕКЛО ULE – стеклокерамический материал с низким коэффициентом температурного расширения, широко применяемый для изготовления зеркал крупных телескопов. Аббревиатура ULE происходит от англ. Ultra-Low Expansion – сверхмалое расширение. Материалы с аналогичными свойствами известны и под другими названиями – цервит, церодур (или зеродур), ситалл.

СТЕПАНОВ, Владимир Евгеньевич (1[14].12.1913, Щегловка, Донецкая обл., Россия, – 26.08.1986, Иркутск, СССР) – российский астроном, член-корр. АН СССР (1968). В 1937 г. окончил астрономическое отделение МГУ со специализацией «астрофизика». В 1937–1941 гг. работал в Ташкентской обсерватории. В 1941–1946 гг. – в Советской Армии. В 1946–1953 гг. работал в обсерватории Львовского университета, был её директором. В 1953–1955 гг. работал в МГУ, в 1955–1962 гг. – в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. С 1962 г. – заместитель директора, в 1964–1978 гг. – директор Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Сибирского отделения АН СССР, председатель Президиума Восточно-Сибирского филиала СО АН СССР (с 1972). Решил задачу (1958–1962) о переносе излучения при наличии магнитного поля. Один из создателей первого отечественного магнитографа для измерения слабых магнитных полей на Солнце. Исследовал движение и механизмы нагрева вещества в атмосфере Солнца.

СТЕРЕОКОМПАРАТОР – оптический прибор, служащий для сравнения двух снимков одной и той же области неба и выявления на них движущихся объектов. Два снимка, полученные на одном и том же астрографе, но в разное время, рассматриваются одновременно так, что изображения далёких неподвижных объектов на них совмещаются. Если какой-либо объект за время между экспозициями переместился, то его изображение в силу стереоэффекта кажется расположенным над или под общей плоскостью. Так обнаруживают астероиды и спутники планет.

СТЕФАНО (U XX, Stephano) – естественный спутник Урана. Его открыли Джон Кавелаарс, Б. Гладман, М. Холман и др. 18 июля 1999 г. с помощью Канадо-франко-гавайского телескопа обсерватории Мауна-Кеа. Большая полуось орбиты 8004 тыс. км. Орбитальный период 677,37 сут. Эксцентриситет орбиты 0,229. Наклонение орбиты к эклиптике 142°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Диаметр около 32 км. Масса около $2{,}2 \cdot 10^{16}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Видимый блеск $24{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 12′26″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

СТОЛОВАЯ ГОРА – южное созвездие, которое Н. Лакайль назвал в честь Столовой горы, расположенной к югу от Кейптауна, на мысе Доброй Надежды в Южной Африке, где Лакайль производил свои наблюдения. Созвездие лежит недалеко от южного полюса мира. В нём нет звёзд ярче 5^m, недаром Джон Гершель назвал его «пустыней». Но зато именно в этом созвездии лежит значительная часть соседней галактики Большое Магелланово Облако.

СТОЯНИЕ ПЛАНЕТЫ – кратковременная остановка верхней планеты в её видимом движении относительно звёзд при смене прямого движения на попятное и наоборот.

СТРАТОСФЕРА (*лат. stratum* – слой) – слой земной атмосферы, лежащий над тропосферой и начинающийся с высот 8–10 км в полярных областях и 16–18 км в экваториальных; простирается до высот 50–55 км, где расположена верхняя граница стратосферы – стратопауза. В стратосфере температура в среднем растёт с высотой от –80 °С в тропиках и –50 °С в полярных областях до приблизительно 0 °С. Причина в том, что источник тепла – слой озона, поглощающего солнечный ультрафиолет, – находится в верхней части стратосферы. Рост температуры с высотой делает стартосферу устойчивой: в ней отсутствуют вертикальные конвективные движения. Стратосфера отличается от тропосферы ничтожным содержанием водяного пара, однако на высотах 22–24 км в высоких широтах иногда наблюдаются очень тонкие «перламутровые облака», состоящие из переохлаждённых капель воды. Днём они не видны, а ночью кажутся светящимися, так как освещаются Солнцем из-под горизонта.

СТРЕЛА – маленькое изящное созвездие между Лисичкой и Орлом. Эратосфен считал, что это стрела Аполлона, использованная им для мести одноглазым великанам-киклопам, давшим Зевсу молнии, которыми тот убил Асклепия, сына Аполлона. Среди интересных объектов шаровое скопление M71, затменная переменная U Sge, неправильная переменная V Sge и короткопериодическая повторная новая WZ Sge, вспыхивавшая в 1913, 1946, 1978 и 2001 гг.

СТРЕЛЕЦ – зодиакальное созвездие. Греческий миф связывает его с кентавром Кротосом, прекрасным охотником. В направлении Стрельца находится центр Галактики, удалённый от нас на 27 тыс. св. лет и скрытый для оптических наблюдений за облаками межзвёздной пыли. В Стрельце располагается самая красивая часть Млечного Пути, множество шаровых скоплений, а также тёмных и светлых туманностей. Например, туманности Лагуна (M8), Омега (M17; другие названия – Лебедь, Подкова), Тройная (или Трёхраздельная, M20), рассеянные скопления M18, M21, M23, M25 и NGC 6603; шаровые скопления M22, M28, M54, M55, M69, M70 и M75. В этой области неба открыты многие тысячи переменных звёзд. В этом созвездии мы любуемся самой сердцевиной нашей Галактики. Но к её ядру могут проникнуть только радио-, инфракрасные и рентгеновские телескопы, а оптический луч безнадёжно «застревает» в межзвёздной пыли. Впрочем, это же происходит и в любом другом направлении вдоль Млечного Пути, где взгляд оптического телескопа не может пробиться в межгалактические дали. Тем более удивительно, что в 1884 г. американскому астроному Э. Барнарду удалось открыть в северо-восточной части созвездия, совсем недалеко от полосы Млечного Пути, карликовую галактику NGC 6822, члена нашей Местной группы, удалённого на 1,6 млн св. лет.

СТРЁМГРЕН, Бенгт Георг Даниель (Strömgren, Bengt Georg Daniel) (21.01.1908, Гётеборг, Швеция, – 4.07.1987) – датский астроном, сын астронома Сванте Стрёмгрена. Рассчитал (1940) первые модели солнечной атмосферы, объяснил происхождение звёзд – красных гигантов, рассчитал (1939, 1948) ионизацию межзвёздной среды вокруг горячих звёзд («зона Стрёмгрена»), разработал спектральную классификацию горячих звёзд по наблюдениям с узкими светофильтрами («система Стрёмгрена»),

СТРЁМГРЕН, Сванте Элио (Strömgren, Svante Elis) (31.05.1870, Хельсингборг, Швеция, – 5.04.1947) – датский астроном. Более 30 лет (с 1913) Копенгагенская обсерватория под его руководством занималась «Копенгагенской проблемой трёх тел», численно отыскивая периодические орбиты. Показал, что кометы с параболическими орбитами до прихода в Сол-

нечную систему двигались по эллиптическим орбитам.

СТРУВЕ, Отто Васильевич (Otto Wilhelm von Struve) (7.05.1819, Дерпт, ныне Тарту, Эстония, — 14.04.1905, Карлсруэ, Германия) — российский астроном восточногерманского происхождения. Открыл более 500 двойных звёзд и вычислил постоянную прецессии; определил массу Нептуна, размер колец Сатурна и скорость Солнца. После своего отца, Фридриха Георга Вильгельма фон Струве (1793–1864), стал в 1862 г. директором Императорской Пулковской обсерватории в Санкт-Петербурге и оставался на этом посту до 1889 г., существенно укрепив за это время материальную базу и репутацию Пулковской обсерватории. В 1885 г. по его инициативе был установлен 30-дюймовый Большой пулковский рефрактор с объективом работы американского мастера А. Кларка, в то время крупнейший в мире.

СТУПЕНИ (лат. *scopulus*, мн. *scopuli*) — сложные уступы, эскарпы фестончатой или очень нерегулярной в плане формы рельефа. Встречаются на Венере.

СУБМИЛЛИМЕТРОВАЯ АСТРОНОМИЯ — область астрономии, в которой природа космических объектов исследуется по их излучению в диапазоне электромагнитного спектра с длиной волны приблизительно от до 0,1 мм до 1,0 мм, что соответствует диапазону частоты от 3000 до 300 ГГц. А поскольку 3000 ГГц = $3 \cdot 10^{12}$ Гц = 3 ТГц, этот диапазон называют также терагерцевым (англ. синонимы — terahertz waves, terahertz light, T-rays, T-waves, T-light, T-lux, THz). На шкале электромагнитных волн субмиллиметровый диапазон лежит между инфракрасным и микроволновым диапазонами спектра.

Основным объектом наблюдения субмиллиметровой астрономии является холодная (10–20 К) межзвёздная среда — ядра молекулярных облаков, протозвёзды, протогалактики. Это связано с тем, что в субмиллиметровом диапазоне обычно лежит максимум излучения холодной межзвёздной пыли, а также многие линии излучения молекул. По этой же причине космическое субмиллиметровое излучение испытывает сильное поглощение в атмосфере Земли и трудноразличимо на фоне её излучения. Основным источником помех служат молекулы водяного пара. Поэтому наблюдения с поверхности Земли возможны только в высокогорных пустынных районах. Значительно эффективнее наблюдения из стратосферы и космического пространства.

Поскольку субмиллиметровые волны отражаются от металла, для их концентрации можно использовать металлические рефлекторы. Поэтому телескопы субмиллиметрового диапазона по внешнему виду схожи с радиотелескопами миллиметрового диапазона и с короткофокусными оптическими рефлекторами. Для защиты от плохой погоды их обычно помещают в укрытия, похожие на башни оптических телескопов.

Первое время приёмниками излучения в этом диапазоне служили болометры. Активные наблюдения начались в середине 1980-х гг. в связи с созданием твердотельных приёмников субмиллиметрового излучения. Сначала они имели всего одну ячейку (один пиксел изображения), но позже были созданы матрицы. Например, на телескопе JCMT (см. ниже) в 1990-х и начале 2000-х гг. работала чрезвычайно успешная камера SCUBA (Submillimetre Common-User Bolometer Array), а в 2011 г. её заменила камера SCUBA-2, имеющая 3000 элементов, чувствительных в диапазоне 450–850 мкм.

Одним из первых наземных инструментов стал 3-метровый телескоп KOSMA (Kölner Observatorium für SubMillimeter Astronomie), установленный в 1985 г. на высоте 3135 м в местечке Горнерграт, близ Цермата (Швейцарские Альпы). Позже его перевезли в Тибет на высоту 4300 м.

Телескопом умеренного размера считается SMT (Submillimeter Telescope), прежде носивший имя «Генрих Герц» (Heinrich Hertz Submillimeter Telescope), на Международной обсерватории Маунт-Грэхем в Аризоне (высота около 3200 м). Сооружённый в 1993 г., он имеет рефлектор диаметром 10 м. однако не всегда способен проводить наблюдения ввиду высокой влажности атмосферы.

Крупнейшие телескопы этого диапазона установлены на вершине Мауна-Кеа (4100 м, о. Гавайи): это 15-метровый рефлектор JCMT (James Clerk Maxwell Telescope, 1987), принадлежащий Великобритании, Канаде и Нидерландам, а также 10,4-метровый рефлектор Калифорнийского технологического института (Caltech Submillimeter Observatory, 1988) После того как два этих инструмента были успешно испытаны в режиме интерферометра, рядом с ними в 2008 г. соорудили интерферометрическую систему SMA (Submillimeter Array), состоящую из восьми 6-метровых рефлекторов, работающих в диапазоне 0,3–1,7 мм. Базы между парами антенн составляют от 16 до 509 м, а при участии всех десяти антенн (SMA + JCMT + CSO) максимальная база достигает 783 м.

Весьма перспективным местом для субмиллиметровой астрономии считается район Южного полюса в Антарктиде. С 1994 по 2005 г. там на станции Скотт–Амундсен на высоте 2,8 км работал 1,7-метровый телескоп AST/RO (Antarctic Submillimeter Telescope and Remote Observatory), проводивший наблюдения в интересах астрономии и аэрономии в диапазоне волн 0,2–2,0 мм. Он имел четыре гетеродинных приёмника и три оптико-акустических спектрометра. В 2007 г. его заменил 10-метровый телескоп SPT (South Pole Telescope). Его основной задачей стало наблюдение реликтового излучения в интересах космологии.

В 2012 г. на плато Чахнантор (5060 м, пустыня Атакама, Чили) вступит в строй грандиозная интерферометрическая система ALMA (см. *Большая миллиметровая антенная решётка в Атакаме*). По всем параметрам она во много раз превзойдёт действующие ныне приборы.

Стратосферные субмиллиметровые обсерватории базируются на самолётах и аэростатах. Обсерватория SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) создана NASA и Германским аэрокосмическим центром на базе самолёта Боинг 747, поднимающегося на высоту 12 км (с. 7 цветной вкладки). С 2010 г. на его борту работает 2,5-метровый телескоп инфракрасного и субмиллиметрового диапазонов. Пример аэростатной обсерватории даёт эксперимент BLAST (Balloon-borne Large Aperture Submillimeter Telescope), который с телескопом диаметром 2 м неоднократно поднимался в стратосферу из Северной Швеции и Антарктиды. Его болометрические матрицы измеряли реликтовое излучение и фон Галактики в диапазонах 250, 350 и 500 мкм.

Космические субмиллиметровые обсерватории также иногда выводятся на орбиту. Первым из них был небольшой спутник SWAS (Submillimeter Wave Astronomy Satellite, Астрономический спутник субмиллиметрового диапазона), построенный по заказу NASA и выведенный на околоземную орбиту 6 декабря 1998 г. крылатой ракетой «Пегас», запущенной с самолёта «Старгейзер». Этот спутник оснащён телескопом Кассегрена с эллиптическим зеркалом 55×71 см и приёмниками на диодах Шотки. Основной его задачей было наблюдение областей звёздообразования и межзвёздных облаков в диапазоне 540–610 мкм, а точнее — в пяти спектральных линиях: воды (H_2O), воды с изотопом кислорода ^{18}O, окиси углерода (CO) с изотопом ^{13}C, молекулярного кислорода (O_2) и нейтрального атома углерода (C I). Срок службы SWAS был рассчитан на два года, но и после этого он использовался, например, в 2005 г. для наблюдения кометы Темпель 1 (9P/Tempel 1) во время эксперимента Deep Impact.

Некоторую долю субмиллиметрового диапазона покрывал космический телескоп «Спитцер» (NASA, 2003), наблюдавший в диапазоне 3–180 мкм, пока в 2009 г. у него не истощился жидкий гелий, охлаждающий длинноволновые приёмники. А с 2009 г. вступил в строй крупный телескоп «Гершель» с зеркалом диаметром 3,5 м (Herschel Space Observatory, ESA при участии NASA), наблюдающий в диапазоне 60–672 мкм. Этот спутник работает на околосолнечной орбите, совер-

шая колебания в окрестности точки Лагранжа L_2 системы Земля–Солнце, на расстоянии 1,5 млн км от Земли.

СУМЕРЕЧНОЕ ЗРЕНИЕ – видение при низком уровне освещённости, основой которого служит работа палочек сетчатки глаза. Противопоставляется дневному зрению, основой которого служит работа цветочувствительных колбочек сетчатки глаза.

СУМЕРЕЧНЫЕ ЛУЧИ – атмосферное оптическое явление. Когда Солнце закрыто облаками, а воздух наполнен лёгким туманом, мы часто видим солнечные лучи, проходящие сквозь разрывы в облаках и прочерчивающие свой путь сквозь туман благодаря рассеянию на каплях, из которых он состоит. Все эти лучи в действительности взаимно параллельны (их продолжение должно пройти сквозь Солнце, но оно так далеко, что с полным основанием можно говорить о параллельности). Лучи как бы берут начало у облаков, отбрасывающих тень. В Германии это явление называют «Солнце пьёт воду», в Голландии – «Солнце стоит на ножках». У англичан это явление называют «лестницей Якоба» («лестница Иакова», по библейской легенде) или «лестницей ангелов».

В сумерки можно наблюдать, как облака, уходящие на западный горизонт, отбрасывают на всё небо полосы тени, подобные гигантскому вееру. Они выходят из воображаемой точки под горизонтом, где находится Солнце, так же, как солнечные лучи, «пьющие воду», только на этот раз небо совершенно ясное, и тёмные лучи резко вырисовываются на фоне пурпурового света. Их можно видеть не только на западе, где Солнце садится, но иногда и на восточном небе (английское название этого явления – *anticrepuscular rays*). Точные наблюдения указывают, что сумеречные лучи на востоке и на западе попарно соответствуют друг другу и представляют одни и те же обежавшие небесную сферу лучи, у которых лучше всего видны их концы. Эти полосы в действительности взаимно параллельны, их дуговидная форма – результат оптической иллюзии.

Сумеречные лучи видны на фоне пурпурового света, который лучше всего наблюдается, когда в атмосфере имеются мельчайшие пылинки – аэрозоль. Сумеречные и антисумеречные лучи наблюдаются одновременно на западе и на востоке (аналогично явлению при глубоких сумерках зодиакального света и противосияния). Розенберг приводит название этих лучей – «лучи Будды» (или «пальцы Будды»). После мощных вулканических извержений наблюдаются яркие «лучи Будды», и вся сумеречная картина приобретает феерические краски, что наблюдали, например, Ю. Матешвили и др. на Абастуманской обсерватории (Грузия) при прохождении облака вулканической пыли после извержения вулкана Эль Чичон.

СУМЕРКИ – период плавного перехода от дневного света к ночной темноте и обратно. Это время суток, когда Солнце находится под горизонтом (перед рассветом или после заката), но ещё или уже виден солнечный свет, рассеянный в верхних слоях земной атмосферы. Сумерки наблюдаются на любой планете, имеющей атмосферу.

Продолжительность сумерек определяется промежутком времени между заходом Солнца и временем, когда надо прибегать к искусственному освещению; зависит от географической широты места, сокращаясь с приближением к экватору. При ясном небе гражданские сумерки заканчиваются, когда Солнце опускается на 6° под горизонт; в этот момент становится трудно различать окружающие предметы и требуется включать искусственное освещение. Навигационные сумерки заканчиваются, когда Солнце опускается на 12° под горизонт; в этот момент на чистом небе становятся видны яркие (навигационные) звёзды. А когда Солнце опускается на 18°, заканчиваются астрономические сумерки и окончательно наступает ночь.

СУНДМАН, Карл Фритьоф (Sundman, Karl Frithiof) (28.10.1873, Каскинен, Финляндия, – 28.09.1949, Хельсинки, Финляндия) – финский математик. Нашёл (1906–1909) аналитическое решение небесномеханической задачи трёх тел в виде очень медленно сходящихся бесконечных рядов.

СУПЕРВСПЫШКИ – тип вспышек переменных звёзд, характерный для звёзд типа SU UMa (тесные двойные системы с белым карликом). Супервспышки немного ярче вспышек карликовых новых и длятся в 5–10 раз дольше их. Большинство карликовых новых с супервспышками имеют короткий орбитальный период – менее двух часов.

СУПЕРГРАВИТАЦИЯ – класс физических теорий, описывающих точечные частицы, в которых принципы общей теории относительности дополняются суперсимметрией. Суперсимметричная стандартная модель является обобщением стандартной модели физики элементарных частиц, связывающим свойства частиц с целым спином (бозонов) со свойствами частиц с полуцелым спином (фермионов). Для этой теории характерно удвоение числа известных частиц. Суперпартнёры – это частицы, спины которых отличаются на $1/2$ и которые связаны преобразованием суперсимметрии.

В теориях супергравитации высших размерностей число пространственно-временных измерений больше 4. Теория 11-мерной супергравитации была разработана в 1970-х гг., затем оказалась почти забыта, но впоследствии стала важной частью теории струн.

СУРТ (S XLVIII, Surtur) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2006 г. Большая полуось орбиты 22,244 млн км. Орбитальный период 1238,58 сут. Эксцентриситет орбиты 0,368. Наклонение орбиты к эклиптике 167°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск $24{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°21′38″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

СУТКИ – единица времени, равная 86 400 секундам. Такое определение сутки получили с тех пор, как появилась техническая возможность (атомные часы) для не зависящего от вращения Земли и более точного определения секунды. Сутки можно выразить и в единицах времени, производных от секунды: 1 сутки = 1440 минут = 24 часа.

Прежде сутки определяли, исходя из астрономических наблюдений, как интервал времени между двумя последовательными верхними кульминациями избранной точки на небесной сфере. Для звёздных суток это была точка весеннего равноденствия, для истинных солнечных суток – центр солнечного диска, для средних солнечных суток – расчётная точка положения среднего солнца. В современной астрономии по-прежнему используются эти понятия, но они уже не являются единицами времени.

Из-за неравномерности вращения Земли длительность как звёздных, так и средних солнечных суток непостоянна (в отличие от суток, содержащих 86 400 с, заданных атомным стандартом времени). В среднем, вращение Земли замедляется: сутки удлиняются приблизительно на 0,002 с за столетие. Чтобы счёт времени по атомным часам не расходился со сменой времени суток (день/ночь) и сменой времён года, иногда приходится уменьшать показания атомных часов. Сейчас уменьшение осуществляют ровно на одну секунду, если вращение Земли «отстаёт» на 0,9 с или даже меньше. Это делается в конце календарных суток (по Гринвичу) 31 июля или 31 декабря. Последний раз «лишняя секунда» (англ. *leap second*) была изъята из непрерывного счёта атомных секунд в ночь с 31 декабря 2008 г. на 1 января 2009 г. Но для большинства практических целей можно считать, что сутки среднего солнечного времени равны стандартным суткам.

СУТКИ, ЗВЁЗДНЫЕ – промежуток времени между двумя последовательными

верхними кульминациями точки весеннего равноденствия. Равен 23 час 56 мин 04,09 с среднего солнечного времени. В тропическом году звёздных суток ровно на единицу больше, чем средних солнечных, т. е. их 366,2422. Длительность звёздных суток немного изменяется вследствие нутации (покачивания земной оси), а также покачивания тела Земли относительно оси её вращения (движения полюсов) и вследствие неравномерности вращения Земли вокруг оси. Эти изменения составляют менее 0,001 с.

Звёздные сутки делятся на звёздные часы, минуты и секунды. Звёздные сутки на 3 мин 56 с короче средних солнечных суток. Звёздный час короче общепринятого на 9,86 с. Как единица времени употребляются в редких случаях при организации астрономических наблюдений. Для непрерывного счёта звёздных суток служит гринвичская звёздная дата (GSD).

СУТКИ, ИСТИННЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ — промежуток времени между двумя последовательными одноимёнными (например, нижними) кульминациями центра солнечного диска на одном и том же географическом меридиане. Продолжительность истинных солнечных суток в течение года изменяется приблизительно от 86 378 с до 86 430 с, т. е. от 23 час 59 мин 38 с до 24 час 00 мин 30 с. Это происходит из-за неравномерности годичного движения Солнца по эклиптике, а также из-за наклона эклиптики к экватору.

СУТКИ, КАЛЕНДАРНЫЕ — промежуток времени, равный 86 400 с. В большинстве стран начало суток приходится на 0 часов, т. е. на полночь. Но это не всегда было так: в библейские времена, в Древней Греции и в Иудее, а также в некоторые другие эпохи; начало дня приходилось на вечернее время. У римлян в различные периоды их истории начало дня приходилось на разное время суток. В астрономии до 1925 г. началом календарных суток считался полдень, 12 часов.

СУТКИ, СОЛНЕЧНЫЕ — интервал времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через меридиан. Если бы видимое движение Солнца определялось только вращением Земли вокруг своей оси, то оно происходило бы очень равномерно. Но наблюдаемое движение Солнца отражает также неравномерное движение Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите и наклон земной оси к эклиптике. Поэтому различают истинные солнечные сутки, заданные неравномерным видимым движением Солнца по небу (их можно отсчитывать по солнечным часам), и средние солнечные сутки, заданные математически вычисленным равномерным движением «среднего солнца». В отличие от истинных, средние солнечные сутки имеют постоянную длину, поэтому именно они до недавнего времени использовались при измерении времени в быту и науке. Ныне используются ещё более равномерные сутки, основанные на атомном стандарте времени.

СУТКИ, СРЕДНИЕ СОЛНЕЧНЫЕ — промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего экваториального солнца (это условная точка, движущаяся вдоль небесного экватора с постоянной скоростью, равной средней скорости истинного Солнца). Употреблялись как единица времени в астрономии до 1976 г. Длина средних солнечных суток с высокой точностью близка к 86 400 с. В тропическом году около 365,2422 средних солнечных суток.

СУТОЧНАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ — неравномерность видимого движения близких к Земле объектов, например, Луны, возникающая вследствие суточного параллакса.

СУТОЧНЫЕ ПАРАЛЛЕЛИ — окружности, параллельные экватору, описываемые в пространстве изображениями небесных светил вследствие вращения небесной сферы, т. е. суточные пути светил на небе. См. *Небесная параллель*.

СУТОЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ — кажущееся перемещение небесных светил с востока на запад в течение суток вследствие вращения Земли с запада на восток.

СУТОЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС — изменение видимого положения небесного светила в течение суток вследствие изменения положения наблюдателя при вращении Земли (см. *Параллакс*). Максимальное значение суточного параллакса, называемое горизонтальным параллаксом (поскольку в этом случае объект находится на математическом горизонте наблюдателя), для некоторых из числа ближайших объектов составляет:

Луна	57′ 03″ (среднее значение)
Солнце	8,8″
Венера	32″ (наибольший)
Марс	23″ (наибольший)
Юпитер	2,1″ (наибольший)

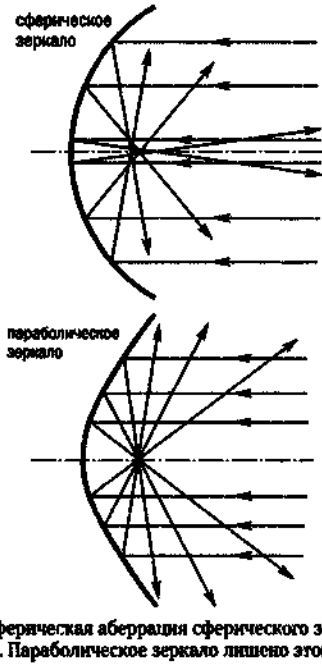
Фактически горизонтальный параллакс равен угловому радиусу Земли, видимому от указанного светила.

СУТТУНГ (S XXIII, Suttung) — естественный спутник Сатурна. Его открыл в 2000 г. канадский астроном Б. Гладман (Brett J. Gladman) с коллегами. Большая полуось орбиты 19 667 тыс. км. Орбитальный период 1029,7 сут. Эксцентриситет орбиты 0,13. Наклонение орбиты к эклиптике 174°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер 7 км. Видимый блеск 23,9^m и максимальное угловое расстояние от планеты 59′ 17″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

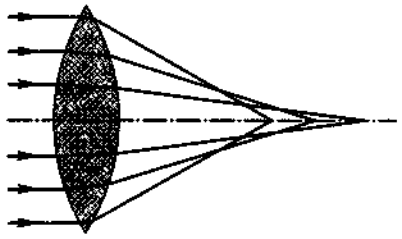
СУФИ (Абу-л-Хусайн Абд-ар-Рахман ибн Умар ас-Суфи) (8.12.903, Рей, недалеко от современного Тегерана, — 25.5.986) — арабский астроном и астролог. В «Книге неподвижных звёзд» (965) дал каталог 1017 звёзд в 48 созвездиях с эклиптическими координатами и звёздными величинами. В «Книге действий с астролябией» и «Книге действий с небесным глобусом» описал методы практической астрономии. «Книга введения в науку о звёздах и их приговорах» — астрологическое сочинение.

СФЕРА ВЛИЯНИЯ ПЛАНЕТЫ — область, в которой притяжение планеты доминирует над солнечным. Точный смысл придаётся конкретизацией понятия «доминирует». В зависимости от неё различают сферу тяготения, сферу действия и др.

СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ — размытие изображения, построенного зеркалом или линзой со сферической поверхностью. Сферическая аберрация возникает потому, что для параллельных лучей, падающих на объектив на разном расстоянии от его оптической оси, точки фокуса не совпадают. Поэтому изображение точечного объекта, где бы мы ни разместили экран, получается не в виде точки, а в виде пятна. Сферическая аберрация — единственная геометрическая аберрация, остающаяся и в том случае, если точка-



Сферическая аберрация сферического зеркала. Параболическое зеркало лишено этого недостатка



Сферическая аберрация простой линзы

объект находится на главной оптической оси системы. Распределение освещённости в пятне рассеяния таково, что в центре получается острый максимум при быстром уменьшении освещённости к краю пятна. У зеркального объектива этот дефект устраняется переходом от сферической формы зеркала к параболической: параболоид не обладает сферической аберрацией, он строит точечное изображение далёкого источника, лежащего на оптической оси. Сферическая аберрация линзового объектива устраняется корректировкой («ретушью») поверхности линзы или переходом от одиночной линзы к сложной многолинзовой системе.

СФЕРИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ – раздел астрономии, разрабатывающий математические методы решения задач, связанных с изучением видимого расположения и движения космических тел (звёзд, Солнца, Луны, планет, искусственных спутников Земли и др.) на небесной сфере, в частности разработка теоретических основ счёта времени.

СФЕРИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ, или сферический компонент, – элемент структуры спиральных галактик; представляет сферическую или эллипсоидальную область, заполненную относительно старыми звёздами, движущимися по вытянутым орбитам и сильно концентрирующимися к центру, совпадающему с центром диска галактики. Обычно простирается значительно дальше диска и подразделяется по радиусу (в порядке удаления от центра и уменьшения плотности) на ядро, балдж, гало и корону. Единственным структурным элементом сферической составляющей являются шаровые скопления звёзд, встречающиеся во всем её объёме, за исключением ядра. Межзвёздный газ в ней крайне разрежен и горяч.

СЦИНТИЛЛЯЦИИ – вспышки света, возникающие при прохождении через некоторые вещества ионизирующего излучения – рентгеновских и гамма-лучей, частиц космических лучей.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР – детектор ионизирующего излучения (рентгеновских и гамма-лучей, космических лучей). В сцинтилляционных детекторах используются кристаллы йодистого натрия или йодистого цезия, излучающие фотоны (сцинтиллирующие) в видимом диапазоне спектра при прохождении высокоэнергичной частицы. Фотонные всплески (сцинтилляции) регистрируются фотоумножителем (ФЭУ). Двухслойный детектор из йодистого натрия и йодистого цезия позволяет определить направление движения частицы, поскольку эти сцинтилляторы имеют различное время высвечивания импульса. Детекторы такого типа называют фосвич-детектором.

СЧЁТ ИМПУЛЬСОВ – то же, что *Счёт фотонов*.

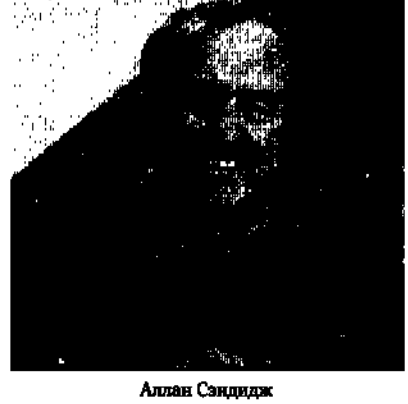
СЧЁТ ФОТОНОВ – техника фотометрических наблюдений, позволяющая снизить шум при детектировании слабых сигналов. Детектором в системах счёта фотонов обычно служит фотоумножитель или иной приёмник, имеющий достаточную чувствительность для надёжной регистрации факта прихода отдельного фотона. Интенсивность источника в этом случае измеряется не амплитудой выходного фототока детектора, а количеством зарегистрированных фотонов. Такой подход позволяет снизить шум, поскольку, хотя выходной ток фотоумножителя для двух идентичных фотонов будет немного различаться, импульсы от каждого из них будут сосчитаны вне зависимости от амплитуды фототока. Дальнейшее снижение шума достигается путём фиксации некоторого предела амплитуды импульса, ниже которого импульс рассматривается как шумовой и не учитывается. Импульсы небольшой амплитуды с большой вероятностью являются результатом термоэлектронной эмиссии (так называемого «темнового тока») внутри самого фотоумножителя.

СЧЁТЧИК СОВПАДЕНИЙ – устройство, позволяющее извлекать информацию о направлении движения потока фотонов или частиц. Счётчики совпадений обычно применяют для регистрации гамма-излучения и частиц космических лучей, т. е. в случаях, когда непосредственное получение изображений невозможно. Счетчик состоит из двух детекторов излучения, разнесённых на некоторое расстояние в пространстве. Частица считается зарегистрированной в случае одновременного срабатывания двух детекторов; направление движения частицы определяется пространственной ориентацией линии, соединяющей оба детектора. Выполняя сканирование небесной сферы с помощью счётчика совпадений, можно получить информацию о положении источников излучения.

СЪЁМКА В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛУЧАХ – фотосъёмка через телескоп с использованием обычной камеры (цифровой или плёночной) со штатным объективом. Телескоп и камеру устанавливают на «бесконечность», объектив камеры совмещают с окуляром телескопа. Система телескоп + камера в целом даёт большее увеличение по сравнению с прямой съёмкой камерой, установленной в фокусе телескопа (т. е. при использовании объектива телескопа вместо объектива камеры) или по сравнению со съёмкой с окулярной проекцией (камера без объектива, поставленная за окуляром телескопа).

«СЫРЫЕ» ДАННЫЕ – на сленге экспериментаторов так называются исходные данные.

СЭНДИДЖ, Аллан Рекс (Sandage, Allan Rex) (18.06.1926, Айова-сити, США, – 13.11.2010, Сан-Габриэль, шт. Калифорния, США) – американский астроном. В 1948 г. окончил Иллинойский университет. С 1952 г. работал в обсерваториях Маунт Вилсон и Маунт Паломар (Калифорния). Совместно М. Шварцшильдом впервые рассмотрел (1952) эволюционный путь звезды на стадии горения гелия – от главной последовательности по ветви красных гигантов. Исправил (1957) шкалу межгалактических расстояний, чем существенно уточнил значение постоянной Хаббла. Открыл (1965) квазизвёздные галактики, в оптическом диапазоне сходные с квазарами, но не имеющие сильного радиоизлучения. Отождествил (совместно с Р. Джаккони и др.) первые обнаруженные галактические источники рентгеновского излучения. Член Национальной АН США (1963). Премии им. Х. Уорнер (1957) и им. Г. Н. Рассела (1973) Американского астрономического общества, медаль им. А. С. Эддингтона (1963) и Золотая медаль (1967) Лондонского королевского астрономического общества, медаль им. Пия XI Папской АН (1966), медаль им. Д. Риттенхауза Астрономического общества им. Д. Риттенхауза (1968), Национальная научная медаль правительства США (1971), медаль им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1975) и др.



Аллан Сэндидж

СЮНЯЕВ, Рашид Алиевич (р. 1.03.1943, Ташкент, СССР) – российский астрофизик. Окончил Московский физико-технический институт. Доктор физико-математических наук (1973), профессор МФТИ (1974). Возглавлял отдел астрофизики высоких энергий Института космических исследований РАН, с 1992 г. главный научный сотрудник ИКИ РАН. Кроме того один из директоров Института астрофизики Общества Макса Планка в Гархинге близ Мюнхена (Германия). В 1984 г. избран членом-корреспондентом АН СССР, с 1992 г. академик РАН. Член Национальной Академии наук Германии «Леопольдина», иностранный член Королевского общества Великобритании и Национальной академии наук США, почётный член Академии наук Татарстана.

Совместно с Н. И. Шакурой разработал теорию аккреционных дисков, образующихся при падении вещества на компактный объект. Эта теория объясняет происхождение рентгеновского излучения от двойных систем, в которые вместе с нормальной звездой входит чёрная дыра либо нейтронная звезда.

Исследовал физические процессы в ранней Вселенной, включая рекомбинацию водорода и формирование спектра реликтового излучения. Вместе с акад. Я. Б. Зельдовичем предсказал понижение яркости реликтового излучения в направлении на скопления галактик с горячим межгалактическим газом (эффект Зельдовича–Сюняева), а также акустические пики в угловом распределении реликтового излучения и барионные акустические осцилляции в пространственном распределении галактик, связанные с существованием звуковых волн в ранней Вселенной. Руководил рентгеновскими наблюдениями с модуля «Квант» орбитальной станции «Мир», позволившими открыть несколько галактических чёрных дыр и нейтронных звёзд, а также рентгеновское излучение от сверхновой 1987А, вспыхнувшей в БМО. Была построена теория возникновения этого излучения, возникающего в результате радиоактивного распада кобальта в железо. Сюняев был научным руководителем орбитальной обсерватории ГРАНАТ, руководит российской программой наблюдений гамма-обсерватории ИНТЕГРАЛ. Он научный руководитель с российской стороны международного астрофизического проекта «Спектр-Рентген-Гамма», который должен провести полный обзор неба в рентгеновских лучах. Р. А. Сюняев – один из ведущих учёных спутника «Планк».

Лауреат Государственной премии России (2000), премии им. А. А. Фридмана РАН, Золотой медали Лондонского Королевского астрономического общества, премии Хайнемана Американского астрономического и Американского физического обществ, Золотой медали К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества, премии Грубера по космологии и Золотой медали Фонда Грубера и Международного астрономического союза, премии и Золотой медали Фонда Крафорда и Шведской академии наук, Золотой медали и Международной премии по науке имени Короля Фейсала, медали им. К. Шварцшильда Германского астрономического общества, премии им. Рассела Американского астрономического общества, премии им. Б. Росси Американского астрономического общества, Золотой медали и премии им. сэра Месси Королевского общества и КОСПАР.



Р. А. Сюняев

T

T-АДАПТЕР – резьбовой переходник, которым оснащается большинство зеркальных фотоаппаратов и цифровых камер, позволяющий использовать сменные объективы, а также крепить камеру к телескопу.

ТАЙГЕТЕ (J XX, Taygete) – естественный спутник Юпитера (S/2003 J17). Автор открытия – Скотт Шеппард (2000). Большая полуось орбиты 22 439 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 686,7 сут. Эксцентриситет орбиты 0,252. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 5 км. Альбедо около 4%. Блеск 22^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°47′45″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ТАЛАССА (N IV, Thalassa) – естественный спутник Нептуна. Его открыли Ричард Террил и др. в сентябре 1989 г. на снимках, переданных «Вояджером-2». Большая полуось орбиты 50 075 км. Орбитальный период 0,3114844 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0002. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,21°, т. е. орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Размеры 108×100×52 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $3{,}5 \cdot 10^{17}$ кг при средней плотности около 1,2 г/см^3. Альбедо около 9%. Видимый блеск $23{,}8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 51 К.

Вследствие короткого орбитального периода Таласса испытывает приливное торможение и приближается к Нептуну. Вероятно, она уже практически достигла предела Роша, поэтому в будущем может разрушиться и образовать кольцо либо погрузиться в атмосферу Нептуна.

ТАРВОС (S XXI, Tarvos) – естественный спутник Сатурна. Его открыли 23 сентября 2000 г. канадские астрономы Дж. Кавеларс (J. J. Kavelaars), Б. Глэдман (Brett J. Gladman) и их коллеги. Большая полуось орбиты Тарвоса 17 983 тыс. км. Орбитальный период 926,2 сут. Эксцентриситет орбиты 0,531. Наклонение орбиты к эклиптике 33,8°; спутник обращается по орбите в прямом направлении, т. е. в сторону вращения планеты. Размер 15 км. Альбедо около 0,04. Цвет красноватый. Видимый блеск $22{,}1^m$, максимальное угловое расстояние от планеты 1°16′04″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ТАРКЕК (S LII, Tarqeq) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2007 г. Большая полуось орбиты 17,91 млн км. Орбитальный период 894,86 сут. Эксцентриситет орбиты 0,12. Наклонение орбиты к эклиптике 49,9°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Размер около 7 км. Видимый блеск 24^m и максимальное угловое расстояние от планеты 53,2′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ТАУРИДЫ – ежегодный довольно слабый метеорный поток (около 10 метеоров в час), двойной радиант которого лежит в созвездии Телец. Поток наблюдается с 26 октября по 22 ноября с максимумами 2 и 12 ноября. Поток связан с кометой Энке. Метеоры медленные: геоцентрическая скорость частиц около 30 км/с.

ТАХИОН – гипотетический объект, который всегда движется со скоростью, большей скорости света.

ТЕБА (J XIV, Thebe) – естественный спутник Юпитера. Большая полуось орбиты 221,9 тыс. км. Орбитальный период 0,674536 сут = 16 час 11 мин 17 с. Эксцентриситет орбиты 0,0175. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 1,08°. Масса $4{,}3 \cdot 10^{17}$ кг. Размер 116×98×84 км. Средняя плотность 0,86 г/см^3. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск $15{,}7^m$, максимальное угловое расстояние от плане-

ты 1′13″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Автор открытия – Стивен Синнотт, «Вояджер-1», 1979 г.

ТЕКТИТЫ – природные стёкла чёрного или тёмно-зелёного цвета. Хорошо проплавлены и в отличие от других естественных стекол – обсидианов и фульгуритов – не содержат включений микрокристаллов. Тектиты встречаются фрагментами весом от долей грамма до килограммов (в среднем десятки граммов). Их формы разнообразны: каплевидные «слёзки», гантели, лодочки, обрамлённые фланцами «пуговицы», диски, полые тонкостенные шары и др. Часто напоминают застывшие вязкие капли, испытавшие в своём движении сопротивление среды, например воздуха при полёте в атмосфере. Поверхность многих тектитов носит следы воздействия высокоскоростных газовых потоков. Их химические и петрографические особенности указывают, что они образовались в результате высокотемпературного плавления ($T > 2000$ K), причём охлаждение расплава было скоротечным. Тектиты имеют аморфную структуру. Диапазон их состава невелик: они содержат 68–82% SiO_2, 10–15% Al_2O_3 и чрезвычайно мало (около 0,02%) воды. В химическом отношении они не напоминают ни одно из общеизвестных земных или внеземных веществ.

Встречаются тектиты не везде; они образуют четыре поля рассеяния: в Европе (Чехия), Сев. Америке (шт. Джорджия и Техас), Африке (Кот-д'Ивуар) и наиболее крупное Австрало-азиатское поле длиной 10 тыс. км и шириной 4000 км, протянувшееся по дуге большого круга от Тасмании до Индокитая. Возраст тектитов, как правило, не превышает 35 млн лет; у тектитов Австрало-азиатского поля он составляет 0,7 млн лет.

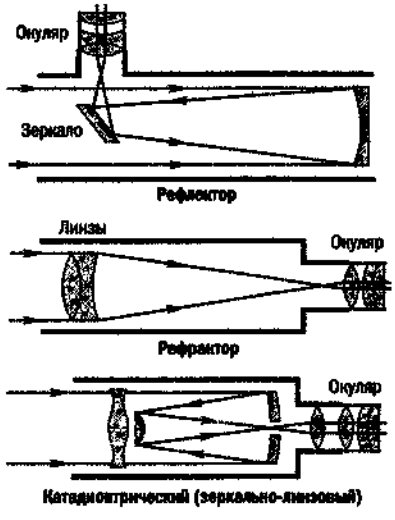
Геологи считают тектиты «наиболее загадочными среди всех камней, когда-либо найденных на Земле». Главная загадка тектитов – где они образовались: в космосе или на Земле? Хотя их состав довольно близок к земных осадочным породам и в принципе мог бы быть объяснен их переплавлением, связать поля тектитов с ударными кратерами в большинстве случаев не удаётся. Единственный метеоритный кратер, в котором найдены тектиты, – это кратер Жаманшин вблизи Аральского моря. Он лежит на дуге Австрало-азиатского поля, и часть его тектитов чрезвычайно схожа с вьетнамскими тектитами из этого же поля.

Среди гипотез происхождения тектитов отметим две: ударную гипотезу (падение метеорита и разлёт капель расплава), а также доставка тектитов в ядре кометы, взорвавшейся при входе в атмосферу Земли. Вторая гипотеза более популярна и в принципе может быть проверена при анализе вещества ядер комет и астероидов, некоторые из которых также являются «спящими» ядрами короткопериодических комет.

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ КАМЕРА – то же, что видеокамера.

ТЕЛЕКОМПРЕССОР – то же, что *Преобразователь фокуса.*

ТЕЛЕСКОП – прибор для регистрации излучения и получения изображений небесных светил. Обычно этот термин используется для приборов, работающих в оптическом и радиодиапазоне, причём в последнем случае чаще употребляется термин «радиотелескоп». Оптический телескоп появился в начале XVII в., его создателем считается Г. Галилей (1609). Основой оптического телескопа могут служить линзы (телескоп-рефрактор), зеркала (телескоп-рефлектор) либо комбинация тех и других (катадиоптрический телескоп). Радиотелескоп был создан в середине XX в. Основой радиотелескопа служит либо металлический концентратор радиоизлучения, фокусирующий его путём отражения на приёмной антенне, либо система из множества однотипных антенн, соединённых в общую цепь. Инфракрасные телескопы сходны по конструкции с оптическими рефлекторами и радиорефлекторами, но их приёмная часть, а иногда и весь телескоп охлаждается до низкой температуры. Термин «телескоп» часто используется также для приборов, не являющихся телескопами в прямом смысле, то есть не формирующих изображение, а предназначенных лишь для детектирования потока от источника гамма-излучения, космических лучей, нейтрино или гравитационных волн. Было бы более корректно называть их детекторами, поскольку они не концентрируют частицы или излучение и зачастую вообще не являются координатно-чувствительными. Однако совершенствование этих приборов постепенно позволяет включать их в семейство телескопов. Например, рентгеновский детектор с появлением оптики косого (скользящего) падения превратился в рентгеновский телескоп.

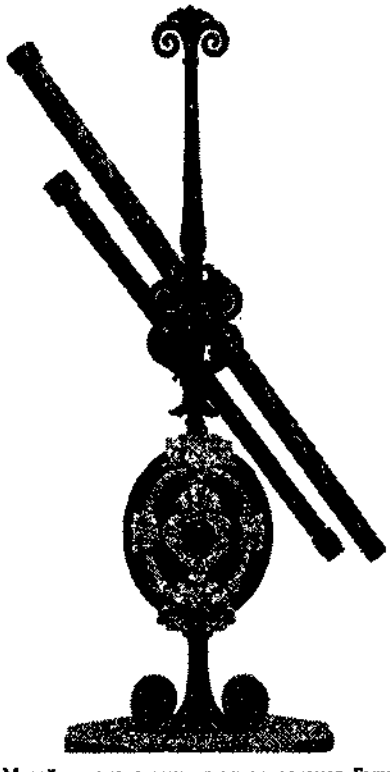


Типы телескопов

ТЕЛЕСКОП – южное созвездие, введённое Н. Лакайлем. Воистину без хорошего телескопа в нём не многое увидишь. Границы этого созвездия как будто специально проведены так, чтобы избежать ярких звёзд. Самая яркая из его звёзд (α Tel) имеет блеск $3{,}5^m$. Зато с телескопом там многое можно изучить. Весьма любопытна звезда RR Tel, чья 387-суточная переменность блеска продолжалась даже в период новоподобной вспышки, которая началась в 1944 г. и длилась необычайно долго – 6 лет! Возможно, это двойная система, в которой крупная красная звезда демонстрирует регулярную переменность блеска, а компактная горячая звезда ответственна за вспышки новой. Такие системы называют «симбиотическими звёздами».

ТЕЛЕСКОП, история развития. История оптического телескопа насчитывает 400 лет и прямо связана с прогрессом техники в эпоху Возрождения. Стекло было известно египтянам ещё в 3800 г. до н. э., но оптические свойства стекла были полностью оценены лишь в эпоху Средневековья. Очки появились в Италии около 1300 г., а к началу XVI в. оптические центры возникли в Германии и Голландии. Первый телескоп был изготовлен в Голландии в 1608 г.; видимо, Ганс Липперсгей был первым, кто применил комбинацию линз. Весной 1609 г. Галилей узнал о голландском изобретении и, не имея детального описания, сам за несколько недель разработал конструкцию и построил телескоп. Направив инструмент на небо, Галилей открыл новую эру в наблюдательной астрономии, которая продолжается до наших дней.

Конструкция телескопов-рефракторов быстро совершенствовалась, но все они страдали хроматической аберрацией: лучи разных цветов фокусировались на разном расстоянии от объектива. Около 1663 г. Исаак Ньютон обратился к зеркальным системам, поскольку лучи любого цвета отражаются от зеркала одинаково. Так началось развитие телескопов-рефлекторов. Около 1664 г. Джеймс Грегори предложил телескоп с главным параболическим зеркалом и вспомогательным эллиптическим. Эта схема была свободна не только от хроматической, но и от сферической аберрации. Но изготовить столь сложные зеркальные поверхности Грегори не смог. Ньютон разработал методы шлифовки и полировки сложных зеркал. В 1668 г. он построил первый телескоп-рефлектор длиной всего 16 см



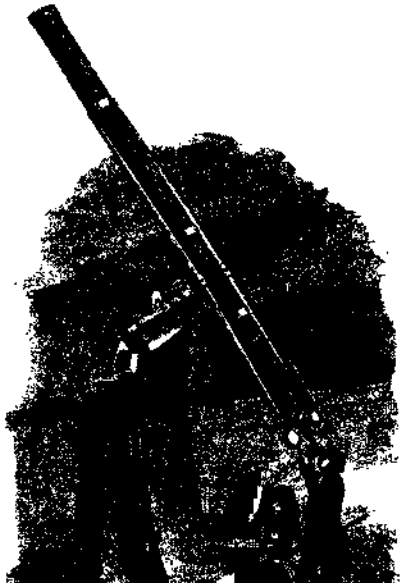
Музейная экспозиция двух телескопов Галилея и объектива его первого телескопа (в центре виньетки) в Музее истории науки во Флоренции (Италия)

с параболическим зеркалом диаметром 3 см. Упростив схему Грегори, он с помощью маленького плоского зеркала вывел фокус главного зеркала наружу сквозь отверстие в трубе телескопа. Ньютон делал зеркала из оптической бронзы, сплава меди с оловом, называемого «спекулум» (от лат. *speculum* – зеркало) за блеск, сравнимый с блеском серебра. К сожалению, этот сплав из-за присутствия меди быстро тускнеет и требует переполировки. Но его использовали для астрономических зеркал вплоть до 1850 г., когда изобрели метод серебрения стекла.

В течение XVIII в. наблюдался быстрый прогресс в изготовлении рефлекторов. Вильям Гершель создал в 1789 г. крупнейший по тем временам телескоп системы Ньютона с зеркалом диаметром 122 см и фокусным расстоянием 12 м. Но в эти же годы постепенно совершенствовалась и конструкция рефракторов. Важнейшим событием стало изобретение ахроматического объектива, составленного из двух линз: выпуклой из лёгкого стекла крона и вогнутой из тяжёлого флинта; такой «дублет» имеет значительно меньшую хроматическую аберрацию.

Современные телескопы-рефракторы мало изменились с той эпохи, достигнув в конце XIX в. своего максимального диаметра в 1 м: линзы большего размера прогибаются под собственным весом. Зато телескопы-рефлекторы продолжают свой рост. Крупнейшим телескопом в мире с 1919 по 1948 г. был 2,5-метровый рефлектор на обсерватории Маунт-Вилсон (шт. Калифорния). В 1948 г. был создан и до 1974 г. оставался крупнейшим в мире 5-метровый рефлектор на обсерватории Маунт-Паломар (шт. Калифорния). С 1974 по 1991 г. крупнейшим был 6-метровый рефлектор БТА Российской академии наук, установленный в Специальной астрофизической обсерватории на Северном Кавказе. Это первый телескоп, установленный на альт-азимутальной монтировке, имеющей вертикальную и горизонтальную оси вращения. Теперь по такой схеме строят все крупные телескопы.

В последние годы созданы телескопы нового поколения с апертурой 8–10 м. Если бы зеркало такого диаметра изготавливалось по старой технологии, оно весило бы сотни тонн, поэтому используются новые технические принципы: главное зеркало делается либо составным из нескольких небольших зеркал, либо столь тонким, что само не может поддерживать свою форму и требует специальной механической системы. Крупнейшими сейчас являются 10-метровые телескопы-близнецы Кек-I и Кек-II, установленные в обсерватории Мауна-Кеа (о. Гавайи), а также 10,4-метровый Большой канарский телескоп на о. Ла-Пальма. Их зеркала собраны из 36 шестиугольных элементов диаметром по 2 м. Компьютерная система постоянно регулирует их относительное положение для согласованной работы как единого зеркала.



Классический 11-дюймовый телескоп-рефрактор фирмы «Merz and Mahler», установленный в обсерватории г. Цинциннати (США) в 1843 г. Возможно, это старейший действующий телескоп: он до сих пор (2012 г.) систематически используется для публичных наблюдений

ТЕЛЕСКОП-РЕФЛЕКТОР – см. *Рефлектор.*

ТЕЛЕСКОП-РЕФРАКТОР – см. *Рефрактор.*

ТЕЛЕСКОП «ВИКТОР БЛАНКО» – оптический телескоп диаметром 4 м на обсерватории Серро Тололо в Чили. Работает с 1976 г. Назван в честь астронома Виктора Бланко (Victor M. Blanco, 1918–2011), бывшего директора обсерватории.

ТЕЛЕСКОП ГАЛИЛЕЯ – телескоп-рефрактор, в котором в качестве окуляра используется рассеивающая (отрицательная) линза. Впервые телескоп этой системы был сделан и использован для астрономических наблюдений Галилео Галилеем (1564–1642) в 1609 г. Телескоп Галилея даёт прямое изображение, но имеет небольшое поле зрения. В настоящее время такая система представляет лишь исторический интерес и практически используется только в театральных биноклях, дающих увеличение в 2–4 раза.



Телескоп Галилея и его подпись

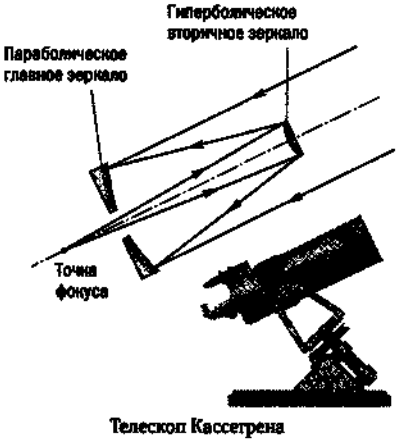
ТЕЛЕСКОП ГЕРШЕЛЯ – вариант системы телескопа-рефлектора, использовавшийся Вильямом Гершелем (1738–1822) и другими астрономами. У этого телескопа главное зеркало установлено чуть наклонно, так что точка фокуса находится вне приходящего параллельного пучка лучей, на краю входной апертуры телескопа. Таким образом, телескоп системы Гершеля позволяет обходиться без вторичного зеркала, что заметно уменьшает потери света. Эта система была изобретена в ту эпоху, когда зеркала телескопов изготавливали из зеркальной бронзы. Свежеотполированное металлическое зеркало имеет коэффициент отражения не более 60%, поэтому телескоп с двумя металлическими зеркалами, например системы Ньютона или Кассегрена, доносил до наблюдателя только 36% приходящего света. Хотя наклон главного зеркала вносит сильные аберрации и существенно ухудшает качество изображения, возможность получить выигрыш по собранному свету была в то время доминирующим фактором. Для снижения влияния аберраций Гершель строил свои телескопы с небольшими относительными отверстиями (1:10 и менее). Несмотря на явное несовершенство, с этими телескопами удалось совершить немало замечательных откры-

тий. В России телескоп с наклонным главным зеркалом независимо предложил М. В. Ломоносов (1711–1765).

ТЕЛЕСКОП ДАЛЛА—КИРКХЕМА (Dall–Kirkham telescope) – вариант телескопа системы Кассегрена, в котором используются эллиптическое главное и сферическое вторичное зеркала. Система обеспечивает превосходное изображение в небольшом поле зрения вблизи оптической оси, при удалении от которой изображение быстро ухудшается вследствие нарастающей комы. Система Далла–Киркхема проще в изготовлении, чем классический кассегреновский телескоп, но из-за ограниченного поля хороших изображений она обычно применяется лишь для визуальных наблюдений планет, двойных звёзд и прочих объектов малого углового размера.

ТЕЛЕСКОП ЙОЛО (Yolo) – один из вариантов конструкции внеосевого телескопа-рефлектора, в котором первичное и вторичное вогнутые зеркала обычно имеют форму тороида. Эту оптическую схему предложил в середине 1960-х гг. Артур Леонард (Arthur S. Leonard). Система свободна от комы, но страдает астигматизмом, с которым можно бороться путём деформации или полировки вторичного зеркала. См. *Внеосевой телескоп.*

ТЕЛЕСКОП КАССЕГРЕНА – зеркальный телескоп, изобретённый Г. Кассегреном в 1672 г. В телескопе используются два элемента: параболическое главное зеркало и гиперболическое вторичное зеркало. Вторичное зеркало имеет выпуклую форму и устанавливается перед фокусом главного вогнутого зеркала. Лучи, собираемые главным зеркалом, отражаются от вторичного и, проходя через отверстие в центре главного зеркала, сходятся в фокусе позади главного зеркала. Вторичное зеркало играет роль линзы Барлоу, увеличивая эквивалентный фокус системы. Большинство крупных современных рефлекторов имеют схему телескопа Кассегрена,



Телескоп Кассегрена

или его апланатического варианта – телескопа Ричи–Кретьена. См. также *Телескоп Ньютона; телескоп Грегори.*

ТЕЛЕСКОП КАССЕГРЕНА—НЬЮТОНА – телескоп системы Кассегрена с дополнительным плоским зеркалом, установленным после вторичного гиперболического зеркала, для вывода лучей, идущих к фокусу, вбок, за пределы трубы. Вариант этой системы, в которой пучок выводится в полую ось склонения (или в ось высоты в альт-азимутальной монтировке), известен как система Несмита.

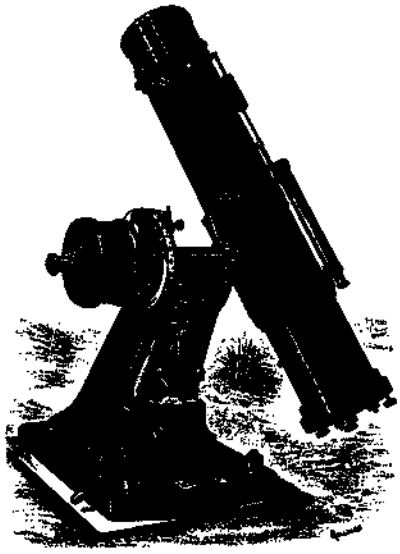
ТЕЛЕСКОП МАКСУТОВА – катадиоптрический (зеркально-линзовый) телескоп, в котором используется сферическое главное зеркало, корректирующий линзовый элемент со сферическими поверхностями (мениск), и вторичное зеркало, представляющее собой алюминированный участок в центре второй поверхности мениска. Такая система даёт превосходные изображения вблизи оптической оси, однако внешние части поля зрения подвержены влиянию комы. Эту оптическую систему изобрёл в 1941 г. советский оптик Дмитрий Дмитриевич Максутов (1896–1964). Примерно тогда же описание аналогичной оптической системы опубликовал Альберт Бауэрс.

ТЕЛЕСКОП МАКСУТОВА–КАССЕГРЕНА – то же, что *Телескоп Максутова.*

ТЕЛЕСКОП «МЕЙОЛ» – оптический телескоп-рефлектор диаметром 4 м, работающий с 1973 г. на обсерватории Китт-Пик (Аризона). Телескоп массой 300 т установлен на подковообразной «американской» экваториальной монтировке. Главное зеркало массой 15 т, гиперболическое f/2,7, толстое (61 см), из плавленого кварца. Телескоп назван в честь американского астронома Николаса Мейола (Nicholas Ulrich Mayall, 1906–1993), бывшего в период создания инструмента директором этой обсерватории.

ТЕЛЕСКОП НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ – оптический телескоп системы Ричи–Кретьена диаметром 3,6 м, установленный на Европейской южной обсерватории Ла-Силья в 1989 г. Телескоп новой технологии (New Technology Telescope, NTT) стал первым из крупных телескопов, в котором была применена система активной оптики для повышения резкости получаемых изображений.

ТЕЛЕСКОП НЬЮТОНА – телескоп-рефлектор, изобретённый и построенный Исааком Ньютоном в 1668 г. В качестве объектива Ньютон использовал вогнутое параболическое зеркало. Вторичное зеркало телескопа плоское, установлено под углом 45° к оптической оси. После отражения от вторичного зеркала лучи собираются в фокусе, расположенном снаружи в верхней части трубы телескопа.


Телескоп-рефлектор системы Ньютона на экваториальной монтировке с часовым механизмом, скорость которого поддерживается регулятором Уатта

ТЕЛЕСКОП РАЙТА – вариант камеры Шмидта, в котором используется главное зеркало, имеющее форму сплюснутого сфероида. Телескоп Райта (Wright telescope), или камера Райта, имеет плоскую фокальную поверхность и вдвое короче эквивалентной камеры Шмидта.

ТЕЛЕСКОП РИЧИ–КРЕТЬЕНА (Ritchey–Chretien telescope) – апланатический вариант телескопа системы Кассегрена, в котором используются гиперболические главное и вторичное зеркала. Эта система имеет большее поле резких изображений по сравнению с эквивалентным телескопом системы Кассегрена. Система Ричи–Кретьена применяется во многих крупных современных рефлекторах.

ТЕЛЕСКОП УОЛТЕРА – телескоп для мягкого рентгеновского излучения, в котором используется отражательная оптика косого падения. Угол между направлением лучей и плоскостью металлического зеркала обычно не превышает 0,2–2°. Несколько вариантов телескопа такого типа в 1952 г. предложил немецкий физик Ганс Уолтер (Hans Wolter, 1911–1978).

ТЕЛЕСКОП «ХЕЙЛ» – оптический телескоп со сплошным облегчённым зеркалом диаметром 5 м (200 дюймов), установленный в 1948 г. в обсерватории Маунт Паломар, на юге шт. Калифорния (США), на высоте 1700 м. Телескоп может работать в прямом фокусе, а также в фокусах Кассегрена и куде. Телескоп на-

зван в честь выдающегося американского астронома и организатора науки Джорджа Эллери Хейла (G. E. Hale, 1868–1938), по инициативе которого был создан этот инструмент, сама обсерватория Маунт Паломар, а также многие другие крупные телескопы, обсерватории и институты. См. также *Обсерватория Маунт-Паломар.*

ТЕЛЕСКОП «ХОББИ—ЭБЕРЛИ» – оптический телескоп оригинальной конструкции, работающий с 1997 г. на горе Фолкс (высота 2000 м) в обсерватории Мак-Дональд (шт. Техас). Это первый неполноповоротный инструмент, монтировка которого имеет движение только по азимуту, но не по высоте. Главное зеркало телескопа – составное сферическое размером 9,8×11 м, смонтировано из 91 шестиугольного элемента. Ось симметрии главного зеркала имеет постоянный наклон 55° к горизонту. Слежение за объектом производится путём поворота всего телескопа по азимуту и движения по высоте фокального узла, включающего в себя корректор поля и спектрограф низкого разрешения. При этом из главного зеркала постоянно «вырезается» действующая апертура диаметром 9,2 м. С учётом суточного движения светил телескопу доступно около 75% площади неба, видимого на данной широте. Максимальное время сопровождения объекта – от 45 минут у экватора до 2,5 час у северной границы доступной области. Корректор поля в первичном фокусе выполнен из четырёх зеркал; вначале он обеспечивал поле зрения диаметром 4′ (50 мм), но после модернизации оно увеличено до 22′. Телескоп в основном предназначен для спектральных исследований. К спектрографам высокого разрешения, размещённым под телескопом, свет передаётся волоконным кабелем. Лучевая скорость звёзд измеряется с точностью 1 м/с. Стоимость телескопа без приборов составляет 13,5 млн долл. США, что в 5 раз меньше стоимости полноповоротного телескопа такого же диаметра. Имя телескопу дано в честь «благодетелей образования» Уильяма Хобби (William P. Hobby, Jr., p. 1932) и Роберта Эберли (Robert Edward Eberly, 1918–2004).

ТЕЛЕСКОП ШМИДТА—КАССЕГРЕНА (Schmidt–Cassegrain telescope) – визуальный телескоп, представляющий собой комбинацию телескопа Кассегрена и камеры Шмидта. В телескопе Шмидта–Кассегрена (корректирующая пластина Шмидта устанавливается вблизи фокуса главного зеркала, а выпуклое вторичное зеркало крепится непосредственно к ней. Как и в системе Кассегрена, пучок, отражённый от вторичного зеркала, выходит через центральное отверстие в главном зеркале и собирается в фокусе позади него. Телескоп Шмидта–Кассегрена в силу компактности очень популярен у производителей небольших телескопов (например, фирмы Celestron и Meade). Однако оптические характеристики системы Шмидта–Кассегрена не столь высоки, как у камеры Шмидта.

ТЕЛЕСКОП VISTA – широкоугольный оптический телескоп системы квази-Ричи–Кретьен диаметром 4,1 м. Работает на Европейской южной обсерватории Серро-Паранал (Чили, высота 2520 м) с 2010 г. Имеет 67-мегапиксельную камеру ближнего инфракрасного диапазона (0,85–2,3 мкм). Диаметр поля зрения около 1,5°, угловое разрешение 0,34″.

ТЕЛЕСКОПЫ «ДЖЕМИНИ» – два оптических телескопа с тонкими сплошными зеркалами диаметром 8,1 м, правильная форма которых поддерживается системой активной оптики. Один из телескопов (Gemini North, Джемини Северный) установлен в 2000 г. на обсерватории Мауна Кеа (о. Гавайи) на высоте 4210 м, второй (Gemini South, Джемини Южный) – в 2001 г. на горе Серро Пачон (Чили), высота 2720 м.

ТЕЛЕСКОПЫ «КЕК» – два оптических телескопа-близнеца с мозаичными главными зеркалами диаметром 10 м, установленные на альт-азимутальных монтировках на расстоянии 85 м друг от друга в помещении обсерватории «Кек» (W. M. Keck Observatory) на вершине горы Мауна-Кеа (о. Гавайи, США) на высоте 4145 м. Телескопы вступили в строй в 1993 г. (Keck I) и 1996 г. (Keck II) и до 2008 г. оставались крупнейшими в мире. Главное зеркало каждого телескопа собрано из 36 шестиугольных сегментов размерами около 2 м, относительное положение которых поддерживается системой активной оптики. Масса каждого телескопа около 300 т. После ввода в строй системы адаптивной оптики, компенсирующей атмосферные искажения, телескопы получили возможность работать совместно в режиме интерферометра. Угловое разрешение каждого из телескопов составляет от 0,4″ до 0,04″, а в режиме интерферометра с базой достигает 0,024″ на волне 10 мкм и 0,005″ на волне 2,2 мкм. Строительство телескопов финансировалось фондом У. М. Кека, выделившим в 1985 г. 70 млн долларов.

ТЕЛЕСКОПЫ «МАГЕЛЛАН» – два телескопа «Magellan telescopes» оптического и ближнего инфракрасного диапазонов спектра с главными зеркалами диаметром 6,5 м. Установлены в 2000 и 2002 гг. на обсерватории Лас-Кампанас (Чили) в рядом расположенных башнях, объединённых в одном корпусе. Телескопы способны работать в режиме интерферометра. Они названы именами астронома Вальтера Бааде (Walter Baade) и филантропа Лэндона Клея (Landon T. Clay). Монолитные главные зеркала телескопов изготовлены по технологии центробежного литья и имеют сотовую структуру тыльной поверхности. Телескопы созданы группой университетов (Аризонский, Гарвардский, Мичиганский), Массачусетским технологическим институтом и Институтом Карнеги в Вашингтоне.

ТЕЛЕСКОПЫ LX – серия телескопов систем Шмидта–Кассегрена и Максутова, выпускаемая фирмой Meade Instruments Co. Наиболее продвинутыми телескопами этой серии являются модели LX200 и LX400, имеющие диаметр от 20 до 50 см, полностью управляемые компьютером и оснащённые базой данных, включающей координаты более 65 тыс. объектов.

ТЕЛЕСТО (S XIII, Telesto) – естественный спутник Сатурна. Открыт 8 апреля 1980 г. по наземным снимкам группой астрономов: Б. Смит, Х. Рейтсема, С. Ларсон и Дж. Фонтейн. Большая полуось орбиты 294 619 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 1,887802 сут. Эксцентриситет орбиты 0,00. Наклонение орбиты к экватору планеты 1,19°. Размеры 32,6×23,6×20 км. Блеск $18{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 48″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

Маленькие спутники Калипсо и Телесто движутся практически по орбите крупного спутника Тефии, являясь «троянцами» в системе Сатурн–Тефия. Калипсо располагается в точке Лагранжа L_5, двигаясь по орбите на 60° впереди Тефии, а Телесто отстает от Тефии на 60°, занимая точку Лагранжа L_4.

ТЕЛЕЦ – зимнее зодиакальное созвездие, лежащее на пересечении зодиака с Млечным Путём, к северо-западу от Ориона. Созвездие красивое, крупное и богатое яркими звёздами. Согласно мифу, «телец» – это тот белый бык, на котором Европа переплыла море и попала к Зевсу на Крит. В Тельце два самых известных звёздных скопления – Плеяды и Гиады. Плеяды (M45) часто называют «Семь Сестёр» – это изумительное рассеянное скопление, одно из ближайших к нам (400 св. лет); оно содержит около 500 звёзд, окутанных еле заметной туманностью. Девять ярчайших звёзд, расположившихся на поле диаметром чуть более 1°, названы в честь титана Атласа, океаниды Плейоны и их семи дочерей (Альциона, Астеропа, Майя, Меропа, Тайгета, Целено, Электра). Зоркий глаз различает в Плеядах 6–7 звёзд; вместе они выглядят как маленький ковшик. Наблюдение Плеяд в бинокль доставляет большое удовольствие. В древнейшем списке из 48 созвездий, составленном Евдоксом (IV в. до

н. э.) и приведённом в поэме Арата, Плеяды выделены отдельным созвездием.

Ещё ближе к нам (150 св. лет) расположено рассеянное скопление Гиады, содержащее 132 звёзды ярче 9^m и ещё 260 более тусклых возможных членов. Звёзды Гиад рассеяны на значительно большей площади, чем компактные Плеяды, поэтому производят меньшее впечатление. Но для астрономических исследований Гиады, по причине их близости, значительно важнее. Согласно мифу, Гиады — дочери Атласа и Эфры; они приходятся сводными сестрами Плеядам. У восточного края Гиад лежит не относящаяся к ним яркая оранжевая звезда Альдебаран (α Tau), в переводе с арабского — «идущая вослед»; в наше время её часто называют «Воловий Глаз». Блеск Альдебарана меняется от $0{,}75^m$ до $0{,}95^m$; вместе со своим компаньоном, красным карликом 13^m, он удалён на 65 св. лет, т. е. располагается вдвое ближе к нам, чем Гиады.

Вторая по яркости звезда в Тельце (β Tau) относится к группе «общих» звёзд, поскольку лежит на границе с соседним созвездием — Возничим. В каталогах, изданных до начала XX в., эта яркая звезда, которую арабы называли Нат, часто обозначалась как γ Возничего, но в 1928 г. при проведении границ созвездий её «подарили» Тельцу. Однако и сегодня на некоторых картах звёздного неба Нат включают в рисунок не только Тельца, но и Возничего.

Знаменитый астрофизический объект в Тельце — остаток взрыва сверхновой звезды 1054 г. — Крабовидная туманность (М1), расположенная на краю Млечного Пути, примерно на 1° к северо-западу от звезды ζ Tau. Видимый блеск туманности $8{,}4^m$. Она удалена от нас на 6300 св. лет; её линейный диаметр около 6 св. лет и ежедневно увеличивается на 80 млн км. Это мощный источник радио- и рентгеновского излучения. В центре Крабовидной туманности находится крохотная, но очень горячая голубая звёздочка 16-й величины; это знаменитый пульсар «Краб» — нейтронная звезда, 30 раз в секунду посылающая строго периодические импульсы электромагнитного излучения.

ТЕЛЛУРИЙ (лат. *tellus*, р. п. *telluris* — земля) — механическая модель Солнечной системы, демонстрирующая взаимные движения планет и спутников. Теллурии создавали в основном в XVII и XVIII вв. Другое название теллурия — орарий.

ТЕЛЛУРИЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ — программа, демонстрирующая на экране компьютера положение и движение планет и спутников по орбитам в Солнечной системе. Как правило, входит составной частью в программы компьютерных планетариев. Существуют также сетевые теллурии, демонстрирующие орбиты экзопланет.

ТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ ПОЛОСЫ (или линии) — тёмные полосы в спектрах небесных светил, вызванные поглощением света в атмосфере Земли. В основном за них ответственны молекулы азота (N_2), кислорода (O_2), озона (O_3) и воды (H_2O).

ТЕЛЛУРИЧЕСКИЙ (лат. *tellus*, р. п. *telluris* — земля) — относящийся к Земле.

ТЕЛЬКСИНОЕ (J XLII, Thelxinoe) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард и др. (2004). Большая полуось орбиты 20 454 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 597,607 сут. Эксцентриситет орбиты 0,2685. Наклонение орбиты к эклиптике 151°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $23{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°21′48″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ — то же, что *Скрытая масса галактики*.

ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ — гипотетическая форма энергии с необычными свойствами, которые в рамках ОТО приводят к появлению всеобщего гравитационного отталкивания. Предложена для объяснения ускоряющегося расширения Вселенной. Термин «тёмная энергия» (dark energy) был введён в 1995 г. в статье Майкла Тёрнера (Michael S. Turner) и Лоренса Кросса (Lawrence M. Krauss), в которой для согласования малого космологического возраста Вселенной с большим возрастом звёзд, а также высокой неоднородности Вселенной (скопления галактик) с низкой плотностью тёмного вещества (1/3 от критической) была высказана гипотеза, что около 2/3 критической плотности составляет энергия вакуума. Позже измерения показали, что в тёмной энергии заключено около 74% плотности энергии Вселенной. Ещё 22% приходится на тёмную материю и только 4% — на все формы обычного (барионного) вещества, включая звёзды, планеты, межзвёздное вещество, излучение и свободные элементарные частицы (космические лучи). В рамках теоретической физики «тёмная энергия» — это термин, объединяющий уравнения состояния вещества, способные вызвать космологическую инфляцию (инфляционное расширение Вселенной). В эту группу попадают Λ-член ($p = -\varepsilon$, где p — давление, ε — плотность энергии) и квинтэссенция ($p = -w\varepsilon$, где w — постоянный коэффициент; $w \geq -1$).

ТЕМНОВАЯ АДАПТАЦИЯ ЗРЕНИЯ — см. *Адаптация зрения к темноте*.

ТЕМНОВАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ — регистрация «пустого» ПЗС-изображения, накопленного при закрытом затворе ПЗС-камеры в тех же условиях (температура ПЗС-матрицы, время экспозиции), что и основное изображение.

ТЕМНОВОЙ ТОК — ток фотоэлектрического сенсора (например, ФЭУ) при полном отсутствии падающего на него потока света. В основном возникает за счёт внутренней термоэлектронной эмиссии. Служит одним из источников шума. Снижается при охлаждении сенсора.

ТЁМНОЕ ВЕЩЕСТВО, или тёмная материя, — вещество неизвестной природы, не излучающее и не поглощающее электромагнитное излучение, но проявляющее себя гравитационным взаимодействием с обычным (барионным) веществом и излучением (эффектом гравитационной линзы). Присутствие тёмного вещества особенно заметно на периферии крупных галактик и в скоплениях галактик, где его притяжение доминирует над притяжением обычного вещества, т. е. звёзд и межзвёздного газа. Доля тёмного вещества в средней плотности Вселенной — около 22%. Астрономы часто называют тёмное вещество «скрытой массой» галактик, хотя оно в большом количестве присутствует и в межгалактическом пространстве.

ТЕМПЕРАТУРА — физическая величина, характеризующая распределение энергии между частицами вещества или в спектре излучения в условиях теплового (термодинамического) равновесия. Абсолютная (термодинамическая) температура T выражается в кельвинах (К) и отсчитывается от абсолютного нуля — состояния, в котором прекращается поступательное движение частиц. В теоретической физике и астрофизике часто используют величину kT, т. е. измеряют температуру в энергетических единицах (Дж, эрг, эВ).

Если система, включающая вещество и излучение, находится в термодинамическом равновесии, то кинетическая энергия частиц распределена согласно распределению Максвелла, распределение по возбуждённым состояниям и состояниям ионизации определяется распределением Больцмана и формулой Саха, а спектральная плотность энергии излучения распределена по частотам в соответствии с законом излучения Планка. Все эти формулы включают температуру в качестве параметра, причём во всех распределениях этот параметр одинаков.

Чаще, однако, в космических объектах и в лабораторной плазме термодинамическое равновесие не имеет места, так что некоторые из указанных распределений не выполняются. Во многих случаях оказывается возможным приближённо описывать распределение той же формулой, что при термодинамическом рав-

новесии, но с другим параметром — так называемой эффективной температурой. Введённые таким образом температуры в разных распределениях могут различаться. Кинетическая температура частиц определяется как параметр в распределении Максвелла; это может быть электронная температура или ионная температура (в зависимости от того, о распределении каких частиц идёт речь). Параметр распределения Больцмана называют температурой возбуждения, а параметр распределения Саха — ионизационной температурой. Аналогично параметр в формуле Планка называют температурой излучения.

Понятия температуры возбуждения и температуры ионизации используют и в более широком смысле. В плазме, далёкой от термодинамического равновесия, например в корональном пределе, распределение электронов по энергиям остаётся максвелловским с электронной температурой T_e. Распределения же по возбуждённым состояниям и состояниям ионизации существенно отличаются от формул Больцмана и Саха. Эти распределения даются формулами, содержащими T_e в качестве параметра. Если условия в источнике нестационарны (например, остывающая плазма в остатке вспышки сверхновой), то ионизационное равновесие, соответствующее стационарному корональному пределу, не успевает установиться. Его можно приближённо описать стационарной формулой, но с эффективной «ионизационной» температурой $T_Z < T_e$.

Для описания излучения, спектр которого существенно отличается от планковского, используют понятия яркостной температуры T_b и цветовой температуры T_c. Первая определяет абсолютную величину интенсивности излучения на данной частоте, а вторая — зависимость интенсивности от частоты в сравнительно небольшом интервале частот, представляющем интерес для исследователей. В радиоастрономии используют также понятия шумовой температуры и антенной температуры.

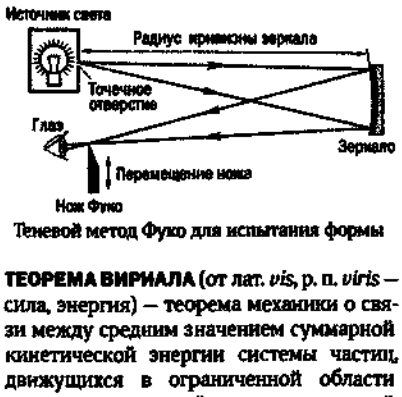
ТЕНЗОР КРИВИЗНЫ РИМАНА — тензор, содержащий подробную математическую информацию о геометрии пространства любого данного числа измерений.

ТЕНЗОР РИЧЧИ — тензор, построенный из компонентов тензора кривизны Римана и входящий в состав уравнений гравитационного поля в общей теории относительности.

ТЕНЗОР ЭЙНШТЕЙНА — тензор, построенный из компонентов тензора Риччи и стоящий в левой части уравнений гравитационного поля в общей теории относительности (так называемые уравнения Эйнштейна).

ТЕНЗОР ЭНЕРГИИ-ИМПУЛЬСА — тензор, содержащий подробную математическую информацию о распределении в пространстве и изменении во времени энергии, импульса, давлений и некоторых других величин. Он стоит в правой части уравнений гравитационного поля в общей теории относительности (в качестве источника гравитационного поля), тогда как в левой их части стоят геометрические характеристики пространства-времени (тензор Эйнштейна).

ТЕНЕВОЙ МЕТОД ФУКО — метод контроля формы поверхности вогнутых зеркал, известный также как метод ножа Фуко, предложенный Леоном Фуко (Foucault L., 1819–1868). При контроле по методу Фуко вблизи центра кривизны вогнутого зеркала (т. е. на удвоенном фокусном расстоянии) помещается источник света в виде точки (маленького отверстия перед лампой) или тонкой щели. Наблюдатель, расположившись на небольшом расстоянии за изображением источника, увидит зеркало, равномерно залитое светом. При введении в конус сходящихся от зеркала лучей непрозрачного экрана с прямолинейным острым краем (нож Фуко) наблюдается теневая картина, по деталям и характеру которой можно определить форму зеркала. Например, в случае испытания точного сферического зеркала сходящийся волновой фронт является частью сферы. Если нож Фуко находится точно в фокусе, то при его даже очень малом поперечном сдвиге зеркало потемнеет одновременно во всех точках своей поверхности. Наличие ошибок поверхности зеркала приводит к отступлению волнового фронта от идеальной сферы, поэтому при введении ножа Фуко будут затемняться только отдельные зоны зеркала, а именно те, вблизи фокуса которых находится нож. Чувствительность теневого метода, т. е. возможность обнаружения малых отличий формы поверхности от идеальной, зависит от ряда условий, в частности от размера источника света, и составляет $^1/_{10}$ длины волны света или даже меньше.



Теневой метод Фуко для испытания формы

ТЕОРЕМА ВИРИАЛА (от лат. *vis*, р. п. *viris* — сила, энергия) — теорема механики о связи между средним значением суммарной кинетической энергии системы частиц, движущихся в ограниченной области пространства, и действующими в этой системе силами. Установлена немецким физиком Р. Клаузиусом (1870). В астрономии существен случай гравитационных сил; при этом теорема вириала формулируется так: для всякого гравитационно связанного тела (системы) его средняя по времени потенциальная гравитационная энергия

$$U_G = -2E_{кин}, \qquad (1)$$

где $E_{кин}$ — средняя по времени кинетическая энергия движения частиц тела (системы). Часто теорему вириала формулируют так: у стабильной гравитационно связанной системы частиц полная кинетическая энергия составляет (по модулю) половину потенциальной энергии.

Следует подчеркнуть, что в выражение (1) не входит внутренняя энергия частиц (например, энергия их вращения или внутренняя энергия атомов или молекул, если рассматривается газ).

Применение этой теоремы в астрономии обусловлено тем, что она позволяет через величину гравитационной энергии связать массу системы с кинетической энергией частей этой системы (в системе отсчёта, относительно которой система как целое неподвижна). Поскольку гравитационная энергия системы U_G по порядку величины составляет $-GM^2/R$, где M — масса системы, R — её размер (радиус), G — гравитационная постоянная, а средняя кинетическая энергия системы $E_{кин} = Mv_{ср}^2/2$ (где $v_{ср}^2$ — среднеквадратичная скорость членов системы), то из формулы (1) следует:

$$M \approx v_{ср}^2 R/G. \qquad (2)$$

Если из наблюдений известны $v_{ср}^2$ и R, то выражение (2) позволяет оценить массу системы. Этот метод применим, например, для оценки масс звёздных скоплений, галактик и компактных скоплений галактик. При рассмотрении строения звёзд теорема вириала позволяет оценить среднюю температуру звезды. Для этого в формулу (2) подставляют значение среднеквадратичной скорости, выраженное через температуру:

$$v_{ср}^2 = 3kT/m,$$

где m — масса частицы газа. Тогда из (2) следует:

$$T = GmM/kR. \qquad (3)$$

Полная энергия звезды, как следует из (1),

$$E = E_{кин} + U_G = -E_{кин} = U_G/2. \qquad (4)$$

Из (4) видно, что $\Delta E = -\Delta E_{кин}$, т. е. сообщение звезде энергии уменьшает кинетическую энергию её частиц, и, наоборот, излучение энергии приводит к росту $E_{кин}$ и температуры звезды. Если источником энергии звезды служит её постепенное сжатие под действием сил гравитации (это соответствует определённым этапам эволюции звёзд), то выделяющаяся гравитационная энергия распределяется следующим образом. Половина её,

согласно (1), идёт на увеличение $E_{кин}$ и температуры звезды: $-\Delta U_G/2=\Delta E_{кин}$. Вторая половина ΔU_G идёт на излучение: $\Delta E_{изл}=-\Delta E_{кин}=\Delta U_G/2$.

ТЕОРЕМА ОТСЧЁТОВ – если значение непрерывного сигнала измеряется с определённой частотой (с определённым шагом выборки), то максимальная частота гармоник этого сигнала, которые могут быть восстановлены без искажений, равна половине частоты выборки. Другая формулировка: если аналоговый сигнал имеет ограниченный спектр в разложении по частотам, то он может быть восстановлен однозначно и без потерь по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой, строго большей удвоенной максимальной частоты спектра. Это утверждение в русскоязычной литературе называется теоремой Котельникова, а в англоязычной литературе – теоремой Найквиста–Шеннона.

ТЕОРИЯ СТРУН – физическая теория, в которой постулируется, что фундаментальными объектами в природе являются не точечные частицы, а крошечные одномерные нити, называемые струнами. В этой теории разные элементарные частицы являются различными колебательными модами струны. В теории струн естественным образом сочетаются квантовая механика и общая теория относительности, являющиеся во всех других случаях несовместимыми. Часто «теорией струн» для краткости называют теорию суперструн, которая является суперсимметричным обобщением теории струн. Суперсимметрия связывает свойства частиц с целым спином (бозонов) со свойствами частиц с полуцелым спином (фермионов).

ТЕПЛОВАЯ ВСПЫШКА В ГЕЛИЕВОМ СЛОЕВОМ ИСТОЧНИКЕ – тепловая неустойчивость в невырожденных гелиевых слоевых источниках звёзд. Характерна для звёзд на асимптотической ветви сверхгигантов. У звёзд разной массы происходит до нескольких десятков таких вспышек на протяжении от десятков до сотен тысяч лет.

ТЕРМИНАТОР – граница между дневным и ночным полушариями Луны, планеты или естественного спутника планеты. У идеального шара терминатор имеет форму половины эллипса, соединяющего концы его большой оси. В предельных случаях это полукруг или прямая линия. У реальных планет из-за неровности их поверхности терминатор при его наблюдении в телескоп демонстрирует сложную форму, особенно в областях с пересечённым рельефом (горы, каньоны). В области терминатора солнечные лучи падают под малым углом к поверхности планеты, образуя длинные тени. Это облегчает астроному изучение рельефа поверхности.

ТЕРМИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ – механическое напряжение, возникающее в твёрдом объекте вследствие того, что различные его части имеют разную температуру и поэтому расширяются или сжимаются в разной степени. Наличие термического напряжения приводит к деформации точной формы оптической поверхности, что особенно важно для главного зеркала крупного телескопа. Поэтому большие зеркала современных телескопов изготавливают из стеклокерамических материалов (цервита, ULE, ситалла) с низким коэффициентом теплового расширения. Для уменьшения эффекта термической деформации иногда перед наблюдениями немного подогревают или охлаждают главное зеркало телескопа до прогнозируемой ночной температуры.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ – состояние, к которому приближается любая замкнутая макроскопическая система по истечении большого промежутка времени. При термодинамическом равновесии устанавливается детальный баланс – любой элементарный процесс в системе оказывается уравновешенным соответствующим обратным процессом. Например, если за единицу времени в некотором макроскопическом элементе объёма среды (газа) N атомов (ионов, молекул) переходит из начального энергетического состояния i в состояние k в результате поглощения фотона или соударения с какой-либо частицей, то при термодинамическом равновесии в том же объёме за то же время произойдёт столько же переходов из состояния k в состояние i с излучением фотонов такой же энергии или с равнозначным уменьшением кинетической энергии системы. Детальный баланс имеет место для процессов, изменяющих кинетическую энергию и направление движения элементарных частиц, атомов, ионов, молекул, состояние их возбуждения, для процессов ионизации и рекомбинации, диссоциации и образования молекул и т. п.

В состоянии термодинамического равновесия параметры системы не меняются со временем (строго говоря, те из параметров, которые не фиксируют заданные условия существования системы, могут испытывать флуктуации – малые колебания около своих средних значений). Из детального баланса процессов следует, что при термодинамическом равновесии реализуются: распределение Максвелла частиц по скоростям, распределение Больцмана частиц по энергиям, формула Саха для степени ионизации атомов и молекул, закон действующих масс для химического равновесия, законы излучения Планка, Кирхгофа, Стефана–Больцмана и т. п., причём температуры T, входящие в формулы, описывающие эти законы и распределения, одинаковы во всех частях равновесной системы и для всех сортов частиц, т. е. можно говорить просто о температуре системы.

Термодинамически равновесное поле излучения можно получить внутри замкнутой полости с теплоизолирующими стенками (модель «абсолютно чёрного тела»). Внутри такой полости фотоны распределены однородно и изотропно, интенсивность излучения определяется формулой Планка $B_\nu(T)$, а поток излучения строго равен нулю. Однако если в стенке полости имеется отверстие достаточно малое, чтобы практически не нарушать равновесия внутри полости, то спектральная плотность потока излучения (количество энергии, проходящей через единицу площади за единицу времени в единичном интервале частот) через такое малое отверстие равна $\pi B_\nu(T)$.

Во Вселенной в целом условия, близкие к термодинамическому равновесию, реализовались лишь на ранних этапах её эволюции, до эпохи рекомбинации. В звёздах термодинамическое равновесие, вообще говоря, отсутствует, так как всякая звезда излучает с поверхности некоторое количество электромагнитной энергии, возникающей в её недрах, как правило, вследствие термоядерных реакций. Существующий в звёздах поток энергии наружу, а значит, и перепад температуры между внутренними и наружными частями несовместимы с термодинамическим равновесием.

Применительно к звёздам, а иногда и к другим астрономическим объектам используется предположение о локальном термодинамическом равновесии, согласно которому температура в разных элементах объёма среды разная, существует поток излучения наружу (поле излучения неизотропно), но в каждом элементе объёма среды справедливы распределения Максвелла и Больцмана, формула Саха, закон излучения Кирхгофа, причём во все из них для данного объёма входит одно и то же локальное (местное) значение температуры, одинаковое для всех сортов частиц. Локальное термодинамическое равновесие хорошо выполняется в недрах звёзд, в слоях с оптической толщей $\tau \gg 1$, и менее оправдано для внешних слоёв звезды (в фотосфере). Тем не менее, поскольку предположение о локальном термодинамическом равновесии очень сильно облегчает расчёт моделей атмосфер звёзд, его часто используют при вычислении радиального распределения температуры в недрах звёзд и характеристик их непрерывного спектра (так называемые «LTE-модели», от англ. Local Thermodynamic Equilibrium). При отказе от этого предположения (в «NLTE-моделях», от

non-LTE) приходится находить совместные решения уравнений переноса излучения, статистического равновесия (населённости уровней ионизационного равновесия для большого числа ионов химических элементов) и гидростатического равновесия в звёздах со стационарными атмосферами, а в случае нестационарных атмосфер – ещё и уравнений гидродинамики. Совместное решение этих уравнений – задача очень трудная, требующая применения мощных компьютеров. Как следует из сравнения LTE- и NLTE-моделей атмосфер, гипотеза локального термодинамического равновесия позволяет в большинстве случаев качественно, а часто и с неплохой точностью количественно описать непрерывный спектр выходящего из звезды излучения и распределения основных физических величин с глубиной в атмосферах звёзд.

Локальное термодинамическое равновесие служит хорошим приближением к реальности для всех астрофизических объектов или их частей, где среда оказывается оптически толстой на всех частотах, на которых объект излучает. Примерами могут служить протозвёзды и протопланеты на поздних стадиях эволюции, когда плотность газа становится значительной.

В межзвёздном газе и туманностях, в газовых оболочках активных ядер галактик условия, как правило, очень далеки от термодинамического равновесия, и из термодинамически равновесных соотношений для них обычно можно использовать лишь максвелловское распределение частиц по скоростям. Для расчёта температуры, ионизации, спектра излучения в этих случаях необходимо решить уравнения статистического равновесия. Типичными примерами отсутствия термодинамического равновесия являются условия в солнечной короне и в планетарных туманностях. В первом случае температура излучения определяется температурой фотосферы (около 6000 К), тогда как электронная температура, определяемая распределением электронов по скоростям, достигает 1–2 млн К. В планетарных туманностях господствуют совершенно другие условия: температура излучения определяется температурой центральной горячей звезды (30–100 тыс. К), тогда как электронная температура составляет всего 5–10 тыс. К.

ТЕРМОПАРА – детектор электромагнитного излучения, работа которого основана на эффекте Зеебека (немецкий физик Людвиг Зеебек, L. F. W. A. Seebeck, 1805–1849). Этот эффект заключается в возникновении разности потенциалов между местами контактов двух разнородных металлов, если эти точки контактов имеют разную температуру. Простейшая термопара состоит из двух тонких проволочек, обычно из сурьмы и висмута, спаянных на концах и включённых в цепь с чувствительным амперметром. Если один из контактов держать при постоянной температуре, а второй нагревать излучением, между контактами возникнет разность потенциалов и потечёт электрический ток, величина которого будет пропорциональна интенсивности излучения. Термопары не являются высокочувствительными детекторами, однако, поскольку их действие основано только на нагреве излучением, их можно использовать в широком спектральном диапазоне – от ультрафиолетового до микроволнового излучения, покрывая места контактов подходящим поглотителем. Термопары применяют для взаимной калибровки и сравнения детекторов, обладающих более высокой чувствительностью, но работающих в ограниченном участке спектра.

ТЕРМОСФЕРА – область верхней атмосферы Земли на высотах приблизительно от 100 до 500 км с положительным градиентом температуры, т. е. чем выше, тем горячее. Термосфера заключена между мезосферой (внизу) и экзосферой (вверху). Границы этих областей определены не очень чётко и могут колебаться в зависимости от активности Солнца и способа определения. Нижняя граница термосферы может опускаться до 90 и даже 80 км, а верхняя граница лежит в диапазоне от 500 до 1000 км.

Температура воздуха в термосфере может варьироваться от 200 до 2000 К, в зависимости от степени солнечной активности. Причиной является поглощение ультрафиолетового излучения Солнца на высотах от 150 до 300 км, обусловленное ионизацией атмосферного кислорода. В нижней части термосферы рост температуры в сильной мере обусловлен энергией, выделяющейся при рекомбинации (объединении) атомов кислорода в молекулы. При этом в энергию теплового движения частиц превращается энергия солнечного УФ-излучения, поглощённая ранее при диссоциации молекул O_2.

Все пилотируемые полёты на околоземных орбитах происходят в пределах термосферы. Ниже летать нельзя: торможение о плотные слои атмосферы не позволит кораблю сделать и одного оборота вокруг Земли. А выше 500 км простираются радиационные пояса Земли, оказывающие на людей губительное действие. Многие искусственные спутники также движутся в пределах термосферы, поскольку низкие орбиты предпочтительны для решения важных задач (наблюдение за поверхностью Земли, телефонная связь и т. п.). Однако ввиду крайней разреженности газа в термосфере её высокая температура не грозит космическому аппарату существенным нагревом.

ТЕРМОЭЛЕМЕНТ – электронный прибор, преобразующий тепловую энергию в электрическую энергию. В астрономии используется как детектор электромагнитного излучения. Обычно состоит из нескольких термопар, соединённых последовательно (иногда – параллельно).

ТЕРМОЭЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЕ – устройство, применяемое для охлаждения детекторов в небольших коммерческих ПЗС-камерах, работа которого основана на эффекте Пельтье (J.-Ch. Peltier, 1834). Он состоит в том, что при прохождении электрического тока через место контакта (спая) двух разнородных проводников, в этом месте поглощается (или выделяется – в зависимости от направления тока) тепло.

ТЕРМОЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ – элементарная ядерная реакция, происходящая в ходе термоядерного синтеза в горячей плазме, частицы которой хаотически распределены по скоростям (в отличие от частиц, разогнанных в ускорителе).

ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ – энергия, выделяющаяся в результате термоядерных реакций. Часто при этом имеется в виду только тепловая энергия, выделяющаяся в виде кинетической энергии частиц (за исключением нейтрино) и гамма-квантов, а уносимая потоком нейтрино энергия не учитывается.

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ – цепочка ядерных реакций, происходящих в горячей плазме и приводящих к слиянию лёгких атомных ядер и образованию ядер более тяжёлых элементов. Энергия, необходимая для преодоления кулоновского барьера при сближении ядер, черпается из кинетической энергии их хаотического теплового движения. В результате выделяется ядерная энергия связи, часть которой при этом переходит в тепло, например, в форме быстрых нейтронов и гамма-квантов. Другую часть уносят нейтрино.

ТЕССЕРЫ (*лат. tessera, мн. tesserae* – черепица) – полигональные площади, узор которых напоминает черепицу. Встречаются на Венере.

ТЕФИЯ (S III, Tethys) – естественный спутник Сатурна. Дж. Д. Кассини открыл его 21 марта 1684 г. Большая полуось орбиты Тефии 294 619 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 1,887802 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0001. Наклонение орбиты к экватору планеты 1,12°. Размеры 1076,8 × 1057,4 × 1052,6 км. Масса $6{,}17 \cdot 10^{20}$ кг. Средняя плотность 0,984 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 15 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 394 м/с. Суточное

вращение синхронизовано с орбитальным. Геометрическое альбедо 1,23. Альбедо Бонда 0,8. Болометрическое альбедо Бонда 0,67. Видимый блеск $10{,}2^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 48″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 86 К.

ТЕФЛОН (политетрафторэтилен, ПТФЭ, фторопласт) — пластический материал, обладающий очень малым коэффициентом трения. Применяется как основа для подшипников скольжения в осях монтировки Добсона для самодельных телескопов.

ТИМОХАРИС Александрийский (конец IV — начало III в. до н. э.) — древнегреческий астроном. Вместе с Аристиллом в 296–272 гг. до н. э. впервые определил координаты звёзд и составил первый в античной истории звёздный каталог. В качестве координат указывалась эклиптическая широта и эклиптическая долгота, отсчитываемая от ярких звёзд. Позже эти наблюдения использовали Птолемей и Гиппарх для установления явления прецессии (предварения равноденствий) и уточнения его параметров. В 295–283 гг. до н. э. Тимохарис наблюдал положение Луны и Венеры по отношению к неподвижным звёздам. В честь Тимохариса назван крупный лунный кратер.

ТИОНЕ (J XXIX, Thyone) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 20 939 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 627,21 сут. Эксцентриситет орбиты 0,229. Наклонение орбиты к эклиптике 149°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 22{,}3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1° 54′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ТИТАН (S VI, Titan) — естественный спутник Сатурна. Открыт 25 марта 1655 г. голландским астрономом Х. Гюйгенсом. Титан стал пятым открытым спутником планет (не считая Луны); первыми четырьмя были галилеевы спутники Юпитера.

Большая полуось орбиты Титана 1221,87 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 15,945 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0288. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,35°. Радиус Титана 2576 км (= 0,4 радиуса Земли = 1,5 радиуса Луны). Масса $1{,}345 \cdot 10^{23}$ кг. Средняя плотность 1,88 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 1,35 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 2,64 км/с. Суточное враще-



Изображение поверхности Титана, переданное 14 января 2005 г. севшим на его поверхность зондом «Гюйгенс»

ние синхронизовано с орбитальным. Ось вращения перпендикулярна плоскости орбиты. Альбедо 0,22. Видимый блеск $8{,}3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 3′ 22″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности 94 К. Давление атмосферы у поверхности 147 кПа ≈ 1,5 бар ≈ 1,5 атм. Состав верхних слоёв атмосферы (стратосферы): 98,4% азота (N_2), 1,4% метана (CH_4). Состав нижних слоёв атмосферы (тропосферы): 95% азота (N_2), 4,9% метана (CH_4).

Титан — единственный (кроме Луны) спутник планеты, на поверхность которого до 2012 г. опускался исследовательский зонд: 14 января 2005 г. посадочный аппарат «Гюйгенс», достигший системы Сатурна в составе межпланетной миссии «Кассини–Гюйгенс» (NASA, ESA), вошёл в атмосферу Титана, два часа спускался на парашюте и два часа работал на поверхности. Однако данные о Титане продолжают накапливаться благодаря регулярным пролётам вблизи него орбитального зонда «Кассини», который, двигаясь по орбите вокруг Сатурна, совершил уже около полусотни сближений с Титаном (порой почти касаясь его атмосферы). Получено множество оптических и радиолокационных изображений поверхности, показавших неожиданно богатое разнообразие ландшафтов спутника. В горных областях видны сухие речные русла. Многие низменности похожи на сухие морские впадины.

Хотя на поверхности Титана нет жидкой воды, там имеются большие озёра жидкого метана и этана. Испаряясь, эти жидкости собираются в облака и время от времени выпадают в виде проливных дождей и могучими реками стекают в озёра: происходит круговорот метана в природе Титана, аналогичный круговороту воды на Земле. Титан привлекает внимание экзобиологов, поскольку у него есть не только азотная атмосфера с органическими компонентами, но и твёрдая поверхность, где могут скапливаться продукты синтеза. Правда, температура этой поверхности (−180 °С) скорее подходит для сжижения кислорода. Но условия для жизни могут быть более благоприятными в недрах Титана, поскольку на любой планете с глубиной растёт температура. Таким образом, по богатству природы Титан не уступает некоторым большим планетам, например Меркурию, а возможно, и Марсу. Поэтому Титан с полным основанием можно назвать планетой-спутником.

ТИТАНИЯ (U III, Titania) — естественный спутник Урана. Открыта Вильямом Гершелем 11 января 1787 г. Большая полуось орбиты 435 910 км. Орбитальный период 8,706234 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0011. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,34°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Диаметр 1577 км. Масса около $3{,}53 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,71 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 38 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 773 м/с. Геометрическое альбедо 35%, альбедо Бонда 17%. Видимый блеск $13{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 32″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 70 К; минимальная 60 К, максимальная 89 К.

ТИХООКЕАНСКОЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО (Astronomical Society of the Pacific, ASP) — научно-просветительская организация, одна из крупнейших в мире, объединяющая действующих астрономов (профессионалов и любителей) и преподавателей астрономии и физики в основном из западной части США, но в целом — из 40 стран мира. Основано в г. Сан-Франциско 7 февраля 1889 г. Общество курирует работу сотен астрономических клубов, проводит крупные образовательные и эколого-научные программы. Например, Project ASTRO — национальная программа развития новых методов преподавания астрономии и других естественных наук, объединяющая усилия тысяч учителей и учёных по созданию новых наглядных пособий и учебных материалов и предоставлению их широкому кругу преподавателей (в основном бесплатно). Эта программа в основном на-

целена на развитие активности детей на уроках. Программа Family ASTRO развивает у детей интерес к астрономии и в целом к естествознанию в свободное время дома; помогает родителям воспитывать активных и любознательных детей с лидерскими навыками. Программа The Night Sky Network координирует работу любительских астрономических клубов и направляет их активность на помощь местным школам и колледжам.

Общество выпускает высококачественный профессиональный астрономический журнал «Publications of the Astronomical Society of the Pacific» (PASP), а также через Интернет предоставляет всем желающим учебные материалы для преподавания астрономии; систематически организует научные конференции и публикует их труды в виде серии книг «Astronomical Society of the Pacific Conference Series» (ASPCS), которая насчитывает уже более 400 томов. Общество регулярно награждает престижными премиями и медалями астрономов всего мира. Особенно высоко ценится медаль им. К. У. Брюс – одна из высших наград в области астрономии. Президентами Тихоокеанского астрономического общества в разное время были выдающиеся астрономы – Эдвин Хаббл, Джордж Абель, Фрэнк Дрейк и др.

ТИЦИУС, Иоганн Даниель (Titius, Johann Daniel, Von Wittenberg) (2.01.1729, Кёнитц, Пруссия, ныне Хойнице, Польша, – 11.12.1796, Виттенберг, Саксония, ныне в Германии) – немецкий астроном. Получил образование в Лейпцигском университете (1752), занимался астрономией, физикой и биологией, классифицировал растения, животных и минералы. С 1756 г. профессор университета в Виттенберге. Обнаружил закономерность в расстоянии планет от Солнца (1766), которая была подтверждена и широко пропагандирована Боде в 1772 г. (см. *Правило Тициуса–Боде*). Это правило достаточно точно дало расстояние Урана, открытого в 1781 г., но не оправдалось для Нептуна и особенно Плутона. Очень большое влияние это правило оказало на организацию поиска и открытие астероидов. Имя Тициуса занесено на карту Луны.

ТИЦИУСА–БОДЕ ПРАВИЛО – см. *Правило Тициуса–Боде*.

ТОМБО, Клайд Уильям (Tombaugh, Clyde W.) (4.02.1906, ферма близ г. Стритор, шт. Иллинойс, США, – 17.01.1997, Лас-Крусес, шт. Нью-Мексико, США) – американский астроном, первооткрыватель карликовой планеты Плутон. Под влиянием отца, страстного любителя астрономии, Клайд ещё в школьные годы начал самостоятельные наблюдения неба. Когда 2,25-дюймовый фабричный рефрактор перестал его удовлетворять, он сам отполировал 9-дюймовое зеркало и построил телескоп, используя старые детали от автомашин. С помощью этого телескопа он сделал множество качественных зарисовок Юпитера и Марса, которые послал в Ловелловскую обсерваторию во Флагстаффе (шт. Аризона), чтобы получить консультацию специалистов, но вместо этого был приглашен туда на работу. Ему предложили освоить наблюдения с новым 13-дюймовым фотографическим рефрактором. Томбо с радостью принял предложение и в 1929 г. включился в многолетнюю программу поиска Планеты-X за Нептуном, начатую ещё в 1905 г. основателем обсерватории Персивалем Ловеллом.

Каждую ночь Томбо фотографировал различные участки неба, а днём, используя специальный двойной микроскоп (блинк-компаратор), сравнивал изображения одних и тех же участков, полученные в разные ночи, с интервалом от двух до семи дней, надеясь заметить медленное перемещение одной из сотен тысяч звёздочек на фоне остальных светил: верный признак того, что это неизвестная далёкая планета. Наконец, 18 февраля 1930 г., сравнивая фотопластинки за 23 и 29 января, на которых была зафиксирована область близ звезды δ Близнецов, Томбо заметил смещение слабого звездообразного объекта $14{,}5^m$. Последующие наблюдения подтвердили, что это новая планета. Официально об открытии девятой планеты Солнечной системы, названной Плутоном, было объявлено 13 марта 1930 г., в день 75-летия П. Ловелла, не дожившего до этого события. Большая личная роль Ловелла в организации поиска новой планеты была увековечена в её названии, две первые буквы которого соответствуют инициалам известного астронома. В 1931 г. Томбо был награждён медалью им. Х. Джексон-Гуилт Лондонского королевского астрономического общества.

В 1932 г. он поступил в Канзасский университет и окончил его в 1936 г. Продолжал работать в Ловелловской обсерватории до 1943 г., он не прекратил поиска новых планет. Всего Томбо исследовал около 90 млн звёздных изображений. В ходе выполнения этой программы он открыл шесть звёздных скоплений (одно шаровое и пять рассеянных), две новые кометы, 775 астероидов и много переменных звёзд. Он провёл также исследование пространственного распределения галактик, обнаружив несколько десятков скоплений галактик и одно сверхскопление.

В 1943–1945 гг. он преподавал в Аризонском колледже во Флагстаффе (ныне Университет Северной Аризоны), в 1945–1946 гг. – в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, С 1946 г. он возглавлял отдел оптических измерений в Абердинской баллистической лаборатории в Лас-Крузесе (шт. Нью-Мексико), где в то время испытывали трофейные немецкие ракеты «Фау-2». В 1955 г. он стал также работать в Университете штата Нью-Мексико (с 1965 г. – профессор), где создал Группу планетных исследований. Вместе с сотрудниками исследовал вращение Меркурия, эволюцию Большого красного пятна на Юпитере и разработал новые фотографические методы для поиска небольших спутников Земли. Благодаря его энергии астрономическое отделение этого университета приобрело высокий статус и в сотрудничестве с другими астрономами создало крупную обсерваторию Апаче Поинт в горах Сакраменто.

После выхода на пенсию в 1973 г. Томбо продолжал активную лекторскую деятельность, перечисляя значительную часть гонорара астрономическому отделению университета Нью-Мексико. Он до конца жизни не прекращал наблюдений неба, используя и свой самодельный 9-дюймовый телескоп, который по этой причине отказывался отдавать в музей.

ТОМСОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ – рассеяние низкочастотного излучения на свободных электронах. Сечение томсоновского рассеяния σ_T не зависит от энергии электрона: $\sigma_T=(8\pi/3)r_e^2=6{,}65\cdot10^{-25}$ см^2, где $r_e=e^2/(m_ec^2)$ – классический радиус электрона. Дифференциальное сечение томсоновского рассеяния

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}=\frac{r_e^2}{2}(1+\cos^2\alpha),$$

где α – угол рассеяния. Таким образом, томсоновское рассеяние имеет рэлеевскую индикатрису (зависимость интенсивности рассеянного излучения от α).

Томсоновское рассеяние получило название в честь английского ученого Дж. Дж. Томсона, рассмотревшего поведение заряженной частицы в поле электромагнитной волны. Под действием переменного электрического поля волны частица колеблется с частотой волны, испытывая переменное ускорение. Заряд, движущийся с ускорением, должен излучать. Излучаемая энергия черпается из энергии первичной волны и переизлучается во всех направлениях с рэлеевской индикатрисой и на той же частоте. Томсоновское рассеяние – это эффект классической, а не квантовой физики. Квантовые поправки становятся существенными при больших энергиях фотона (см. *Комптоновское рассеяние*). Условие применимости приближения томсоновского рассеяния имеет вид: $\gamma h\nu/(m_ec^2)\ll1$, где $\gamma=E/m_ec^2$ – лоренц-фактор рассеивающего электрона, ν – частота излучения, E – энергия электрона.

Рассеяние, подобное томсоновскому, имеет место и на ядрах, однако, поскольку сечение рассеяния обратно пропорционально квадрату массы рассеиваю-

щей частицы, для протона она почти в 4 млн раз меньше, чем сечение рассеяния на свободном электроне.

Томсоновское рассеяние вносит существенный вклад в непрозрачность вещества в недрах звёзд, влияет на спектры излучения горячих звёзд, определяет бо́льшую часть свечения солнечной короны, наблюдаемого во время полных солнечных затмений. Велика роль томсоновского рассеяния в формировании спектров рентгеновских источников, аккреционных дисков, белых карликов. Оно влияет на профиль спектральных линий в горячих атмосферах звёзд.

Характерной особенностью томсоновского рассеяния является сильная линейная поляризация рассеянного излучения. Степень поляризации зависит от угла рассеяния и достигает 100% при $\alpha = 90°$. Именно этот эффект приводит к сильной поляризации диффузного оптического излучения солнечной короны. При доминирующей роли томсоновского рассеяния сильно поляризовано и излучение, выходящее из плоскопараллельной атмосферы. Степень поляризации может достигать 11,7% и зависит от угла между нормалью к плоскости и лучом зрения. Этот эффект приводит к поляризации излучения звёзд в тесных двойных системах (форма таких звёзд отличается от сферической из-за приливного влияния соседнего компонента) и к поляризации излучения аккреционных дисков.

ТОНКОЕ ЗЕРКАЛО – главное зеркало крупного телескопа, сплошное, но при этом столь малой толщины, что его жёсткости недостаточно для предотвращения недопустимых прогибов под собственным весом. Правильная форма таких зеркал поддерживается системой актюаторов, расположенных с тыльной стороны зеркала и управляемых компьютером.

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – один из специфических механизмов электромагнитного излучения. Согласно положениям электродинамики, заряд, движущийся с ускорением или торможением, излучает электромагнитные волны. В космических условиях торможение (или ускорение) зарядов может быть вызвано либо их притяжением или отталкиванием при сближении электронов и ионов, либо их центробежным ускорением при движении во внешнем магнитном поле. В астрофизике тормозным излучением называют только первый механизм излучения; излучение при торможении частиц во внешнем магнитном поле называют магнитотормозным (циклотронным и синхротронным). Тормозное излучение (в астрофизическом смысле этого слова) обычно возникает в ионизованном газе благодаря столкновениям тепловых электронов с ионами. Часто тормозное излучение также называют излучением при свободно-свободных переходах, так как его можно связать с переходами электронов с одной орбиты на другую, не сопровождающимися захватом электрона ионом. При этих переходах излучается весь спектр частот электромагнитных волн, в том числе рентгеновские лучи (если температура достаточно высока) и радиоволны. Спектр тормозного излучения непрерывен и обрывается при максимально возможной энергии, равной начальной энергии электрона. Энергия тормозного излучения из единицы объёма плазмы внутри единичного телесного угла в единичном интервале частот в единицу времени (так называемый коэффициент излучения):

$$j_\nu(T) = \frac{16}{3}\sqrt{\frac{\pi m_e}{6kT}}\,\frac{n_\nu Z^2 e^6}{m_e^2 c^3}\,g e^{-h\nu/kT} n_e n_i = \approx 5{,}44\cdot 10^{-39}\,\frac{n_\nu Z^2 g}{\sqrt{T}}\,e^{-h\nu/kT} n_e n_i$$

в единицах эрг/(см^3·с·ср·Гц). Здесь n_ν – показатель преломления, Z – заряд иона, n_e и n_i – концентрации электронов и ионов, g – множитель Гаунта (в оптическом диапазоне $g \approx 1$, а в радиодиапазоне $g \approx 6$–7). Из-за большой массы ионов их тормозное излучение пренебрежимо мало по сравнению с тормозным излучением электронов. Скорость потерь энергии плазмы на тормозное излучение составляет:

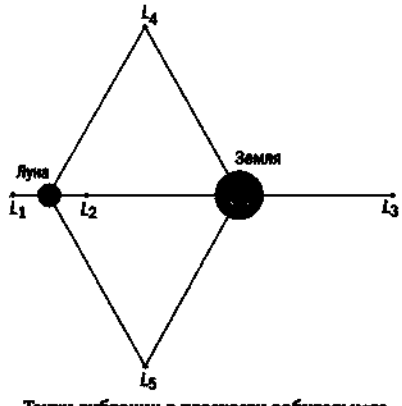
$$W = 1{,}43\cdot 10^{-27} T^{1/2} n_e n_i Z^2 \text{ эрг/(см}^3\cdot\text{с)}.$$

Механизм тормозного излучения в космических условиях ответствен за радиоизлучение солнечной короны и корон звёзд, зон HII, планетарных туманностей, газа в скоплениях галактик и т. п. Тормозное излучение также определяет значительную часть ИК- и оптического излучения звёзд. С помощью этого механизма объясняют также излучение некоторых рентгеновских источников.

Реже встречается тормозное излучение нетепловых электронов космических лучей, вносящее вклад в гамма-излучение Галактики и других объектов, тормозное излучение электронов на электронах (оно существенно при температуре газа $T > 10^9$ К), а также тормозное излучение электронов на отрицательных ионах и даже на нейтральных атомах. Существование последнего связано с конечными размерами атомов, из-за чего электрон, проходя близко от центра атома, испытывает слабое ускорение, обусловленное разностью электростатических сил, действующих на него со стороны ядра и электронных оболочек. Тормозное излучение на нейтральных атомах и отрицательных ионах существенно в атмосферах холодных звёзд при $T < 6000$–7000 К.

ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК – объект, угловой размер которого меньше углового разрешения телескопа или линейный размер изображения которого меньше размеров пикселя детектора. Объекты с противоположными свойствами называют протяжёнными источниками.

ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ – точки (в равномерно вращающейся системе координат), в которых лёгкое небесное тело, движущееся под влиянием притяжения двух других тел значительной массы, взаимно обращающихся по круговым орбитам, может находиться в состоянии равновесия по отношению к этим двум телам. Вблизи точек либрации, например, движутся астероиды-троянцы. Обозначаются точки либрации традиционно буквой L с индексом или строчной цифрой (например, L_2 или L2) в честь Лагранжа, детально исследовавшего эту небесно-механическую задачу. Поэтому их часто называют точками Лагранжа.



Точки либрации в плоскости орбитального движения системы Земля–Луна

ТОЧКИ РАВНОДЕНСТВИЯ – две точки на небесной сфере, в которых эклиптика пересекает небесный экватор. Переходя из южного полушария в северное, Солнце проходит через точку весеннего равноденствия 20 или 21 марта, а обратно – через точку осеннего равноденствия 22 или 23 сентября. В эти дни по всей Земле Солнце перемещается по небу от восхода до заката почти ровно за 12 часов и, следовательно, везде продолжительность дня и ночи одинакова. Через точку весеннего равноденствия (старое название – «начальная точка Овна», знак ♈) проходят нулевые меридианы в эклиптической и экваториальной системах координат. Когда астрономия складывалась как наука, около 2000 лет назад, эта точка располагалась в созвездии Овна. В результате прецессии она переместилась примерно на 20° к западу и теперь находится в созвездии Рыб. Точка осеннего равноденствия раньше была в Весах (знак ♎), а теперь в Деве.

ТОЧКИ СОЛНЦЕСТОЯНИЯ – две точки на эклиптике, где Солнце в течение года достигает максимального и минимального

склонения. Около 22 июня Солнце проходит точку летнего солнцестояния, где его склонение составляет +23,5°, а около 22 декабря Солнце проходит точку зимнего солнцестояния, имея склонение −23,5°.

Т-ПЕРЕХОДНИК — то же, что *Т-адаптер*.

ТРАНЗИТ — см. *Прохождение*.

ТРАССИРОВКА ЛУЧЕЙ — метод теоретической оценки качества оптической системы, применяемый при её разработке. Стал возможен благодаря росту вычислительной мощности компьютеров. Программа трассировки лучей прослеживает путь входного пучка параллельных лучей, падающих на оптическую систему под каким-либо углом к оптической оси, и вычисляет координаты точки пересечения каждого луча с плоскостью изображения. Процедура повторяется для нескольких углов наклона параллельного пучка, и результаты вычислений представляются графически в виде соответствующего набора кружков рассеяния. Трассировка лучей не учитывает дифракционные эффекты, поэтому качество системы считается удовлетворительным, если размеры кружков рассеяния не превышают размеров диска Эри для данной системы.

ТРЕК ХАЯШИ — почти вертикальная ветвь эволюции звёзды на диаграмме Герцшпрунга—Рассела, по которой молодая звёзда спускается к главной последовательности. На треке Хаяши звезда находится в конвективном равновесии. По мере сжатия звезды её светимость, которая вначале была очень высокой, быстро падает, но температура поверхности остаётся почти неизменной. Для звёзд, покидающих главную последовательность и становящихся гигантами, этот процесс происходит в обратном порядке. Трек назван в честь японского астрофизика Чуширо Хаяши (Chushiro Hayashi, 1920–2010), теоретически описавшего этот этап эволюции звезды.

ТРЕНОГА — переносная подставка для небольшого телескопа, камеры, бинокля и т. п., имеющая три опоры, сверху скреплённые общей платформой, имеющей крепление для оптического инструмента. Иногда треноги имеют вид центральной колонны с тремя горизонтальными подпорками. Для облегчения транспортировки треноги изготавливают складными или разборными.

ТРЕУГОЛЬНИК — маленькое экваториальное созвездие к юго-востоку от Андромеды. У его западной границы видна спиральная галактика M33, или Туманность Треугольника, повёрнутая к нам почти плашмя. Её английское прозвище Pinwheel переводится как «цевочное колесо» — разновидность зубчатого колеса со стерженьками вместо зубьев; оно довольно точно передаёт видимую форму галактики. Несмотря на формально достаточную яркость (5,7^m), заметить невооружённым глазом эту галактику практически невозможно. Она, как и Туманность Андромеды (M31), член Местной группы галактик. Обе они расположены симметрично относительно звезды Мирах (β Андромеды), что существенно облегчает поиск более слабой M33. Обе галактики находятся от нас примерно на одинаковом расстоянии, но Туманность Треугольника чуть дальше, на расстоянии 2,6 млн св. лет.

ТРИНИТРОТОЛУОЛ, ТНТ, тротил, тол — взрывчатое вещество, часто упоминаемое в литературе как эквивалент по энергии взрыва ядерной бомбы или метеорита. Теплота взрыва ТНТ составляет 1 ккал/г = $4{,}2 \cdot 10^{12}$ Дж/кт. Энергия взрыва типичной атомной бомбы эквивалентна 20 кт ТНТ (≈ 10^{14} Дж), а водородной бомбы — 1 Мт ТНТ.

ТРИНКУЛО (U XXI, Trinculo) — естественный спутник Урана. Открыт Джоном Кавелаарсом и его коллегами (Глэдманом, Холманом и др.) 13 августа 2001 г. Большая полуось орбиты 8504 тыс. км. Орбитальный период 749,24 сут. Эксцентриситет орбиты 0,220. Наклонение орбиты к эклиптике 167°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Диаметр около 18 км. Масса около $4 \cdot 10^{15}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Видимый блеск 25,4^m и максимальное угловое расстояние от планеты 13′ 06″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ТРИТОН (N I, Triton) — один из естественных спутников Нептуна, крупнейший среди них. Открыл его 10 октября 1846 г. английский астроном Уильям Ласселл. Это открытие состоялось всего через 17 дней после обнаружения немецкими астрономами И. Галле и Г. д'Арре самого Нептуна, существование которого предсказал и положение на небе предвычислил французский астроном У. Леверье. Любопытно, что сообщение об открытии Нептуна получил Вильям Гершель. Именно он написал об этом Ласселлу и предложил поискать у новой планеты спутники, что тот незамедлительно начал и через 8 дней обнаружил Тритон. Ласселл заявил также об открытии колец Нептуна, что весьма странно. Нептун действительно окружён кольцами, но они настолько тусклые, что заметить их с Земли практически невозможно; во всяком случае, этого не мог бы сделать Ласселл.

Название спутника «Тритон» предложил в 1880 г. французский астроном Камиль Фламмарион. Однако вплоть до середины XX в, более употребительным его названием было просто «спутник Нептуна». Второй спутник Нептуна — Нереида — был открыт только в 1949 г. Исследование Тритона с близкого расстояния было предпринято лишь однажды: в июле—сентябре 1989 г., когда автоматический зонд «Вояджер-2» пролетел мимо Нептуна. При этом удалось сфотографировать только 40% поверхности Тритона.

Большая полуось орбиты Тритона 354 759 км. Орбитальный период 5,877 сут = 5 сут 21 час 03 мин. Эксцентриситет орбиты $2 \cdot 10^{-5}$. Наклонение орбиты к эклиптике 130°, а к экватору планеты 157°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления вращения планеты. Тритон единственный из крупных спутников (так называемых «планет-спутников») с обратным орбитальным движением.

Диаметр Тритона 2707 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $2{,}14 \cdot 10^{22}$ кг (что составляет 99,5% от суммарной массы всех известных спутников Нептуна). Средняя плотность Тритона 2,05 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 0,78 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 1,46 км/с. Визуальное геометрическое альбедо 76%. Видимый блеск 13,5^m и максимальное угловое расстояние от планеты 17″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 38 K.

Несмотря на крайне низкую температуру поверхности, за счёт сублимации азота у Тритона существует чрезвычайно разреженная азотная атмосфера со следами двуокиси углерода и метана. Атмосферное давление у поверхности 1,4–1,9 Па (в 70 тыс. раз меньше давления земной атмосферы на уровне моря). На Тритоне зафиксированы метановые облака на высоте 1–3 км над поверхностью. Наземные наблюдения за покрытием звёзд показали заметный рост плотности атмосферы с 1989 по 1998 г. Вероятно, это связано с сезонным 5%-м ростом температуры поверхности.

Поверхность Тритона в основном покрыта метановым и азотным льдом. Некоторые области покрыты водяным льдом и «сухим льдом» (CO_2). Наблюдаются довольно большие перепады высот: например, вблизи экватора на обращённой к Нептуну стороне Тритона обнаружены по крайней мере два образования, напоминающие замёрзшее озеро с террасами на берегах с высотой ступеней до километра. Их возникновение, по-видимому, связано с последовательными эпохами замерзания и плавления, с каждым разом охватывавшими всё меньший объём вещества. Даже в условиях поверхности Тритона метановый или аммиачный лёд недостаточно прочны, чтобы удерживать такие перепады высот, поэтому полагают, что в основе террас лежит водяной лёд.

На поверхности Тритона мало ударных кратеров, что говорит о геологической активности спутника: возраст его поверхности не превышает 100 млн лет. На снимках, переданных «Вояджером», было зафиксировано всего 179 ударных кратеров. Для сравнения: на Миранде, спутнике Урана, зафиксировано 835 кратеров, хотя площадь поверхности Миранды составляет всего 3% от площади поверхности Тритона. Самая большая из найденных ударных структур на Тритоне, названная «Мазомба» (Mazomba), имеет диаметр 27 км. При этом на Тритоне обнаружено множество огромных кратеров (некоторые больше Мазомбы), происхождение которых связано с геологической активностью, а не со столкновениями. Большинство кратеров Тритона сконцентрировано в ведущем полушарии спутника, т. е. в том, которое обращено в направлении его орбитального движения. Вероятно, в ведомом полушарии кратеров должно быть меньше. Поскольку «Вояджер» исследовал менее половины поверхности Тритона, в будущем вполне возможно обнаружение гораздо большего числа ударных кратеров, причём ещё большего размера, чем Мазомба.

На поверхности Тритона довольно большую площадь занимает уникальная местность, рельеф которой напоминает дынную корку. В Солнечной системе такая поверхность не встречается более нигде. Она так и называется — «Дынная корка» (*Cantaloupe terrain*). Канталуп — это мускусная дыня, англ. *terrain* — «местность», точнее, «рельеф местности». На Дынной корке мало ударных кратеров, однако эта местность считается древнейшей на спутнике. Там встречаются огромные круглые структуры диаметром 30–40 км, однако их происхождение не связывают с ударами метеоритов, поскольку они приблизительно одинакового размера, неправильной формы, с высокими гладкими краями (ударные кратеры обычно имеют круглую форму, их края пологие и сглаженные). Происхождение этих структур связывают с явлением диапиризма. Диапировые складки и купола возникают за счёт выдавливания высокопластичных пород из нижних горизонтов. О происхождении Дынной корки есть несколько мнений. Возможно, это результат мощной криовулканической активности с последующим затоплением местности и остыванием. После затвердевания лёд расширялся и трескался.

В области полярной шапки имеются многочисленные тёмные полосы (их около 50). По меньшей мере, две из них возникли в результате действия гейзероподобных выбросов (см. *Криовулканизм*), остальные, скорее всего, тоже. Азот, пробиваясь сквозь отверстия во льду, выносит пылевые частицы на высоту до 8 км, откуда они, снижаясь, могут распространяться шлейфами на расстояния до 150 км. Выбросы этих холодных гейзеров — плюмы — тянутся в западном направлении, что говорит о существовании преобладающего ветра. Источники энергии и механизм действия выбросов ещё непонятны, но то, что они наблюдались в широтах (от 50° до 57° ю. ш.), над которыми Солнце находилось в зените, позволяет предположить влияние солнечного света. Аналогичное явление наблюдается на Марсе: газовые гейзеры CO_2, по-видимому, каждую весну извергаются из его южной полярной шапки.

Особенности строения и орбитального движения Тритона позволяют предположить, что он возник в поясе Койпера как отдельное небесное тело, похожее на Плутон, и позднее был захвачен Нептуном. Приливное взаимодействие Нептуна и Тритона сокращает орбиту спутника и разогревает планету. Возможно, благодаря этому Нептун выделяет больше тепла, чем Уран. А Тритон в результате торможения постепенно приближается к Нептуну. Вероятно, когда-нибудь он войдёт в предел Роша, и его разорвёт на части — в этом случае образовавшееся вокруг Нептуна кольцо будет более мощным, чем кольца Сатурна.

ТРОПОСФЕРА — нижние слои атмосферы планеты, примыкающие к её поверхности, в которых происходят циркуляционные и конвективные движения газов, обеспечивающие медленное уменьшение температуры с высотой и определяющие погодные и климатические явления.

ТРОЯНЦЫ — семейство астероидов, движущихся приблизительно по орбите Юпитера на равном расстоянии от него и от Солнца. Наиболее крупные из них носят имена героев Троянской войны. Второе подобное семейство астероидов на орбите Юпитера — греки. На орбитах некоторых других планет тоже есть подобные астероиды, сопровождающие планету. По традиции их тоже называют «троянцами» (например, троянцы Сатурна) либо троянскими астероидами. Подробнее см. *Греки и троянцы*.

ТРУБА ТЕЛЕСКОПА — часть телескопа, объединяющая его основные элементы и позволяющая сохранять их взаимное относительное положение при наведении инструмента на различные точки небесной сферы. В случае рефракторов и небольших рефлекторов труба телескопа является трубой в буквальном смысле. Трубы крупных рефлекторов обычно представляют собой решётчатые ферменные конструкции из пересекающихся штанг. При необходимости снизить влияние окружающих подсветок промежутки между штангами затягивают светонепроницаемым материалом.

ТРЮМ (S XXX, Thrymr) — естественный спутник Сатурна. Его открыли в 2000 г. Б. Гладман (Brett J. Gladman) с коллегами. Большая полуось орбиты 20 810 тыс. км. Орбитальный период 1120,809 сут. Эксцентриситет орбиты 0,453. Наклонение орбиты к эклиптике 175°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Альбедо около 4%. Цвет красноватый. Видимый блеск 24^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1° 18′ 53″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ТРЮМПЛЕР, Роберт Джулиус (Trumpler, Robert Julius) (2.10.1886, Цюрих, Швейцария, — 10.09.1956, Беркли, США) — американский астроном швейцарского происхождения. Изучая видимые размеры и расстояния звёздных скоплений, доказал (1930) существование межзвёздного поглощения света. Дал классификацию звёздных скоплений по виду диаграммы цвет—величина.

ТУКАН — южное околополюсное созвездие, выделенное И. Байером к югу от Журавля и Феникса. В нем нет ярких звёзд, но в самой южной его части видно изумительное шаровое скопление 47 Тукана (NGC 104), имеющее блеск 4^m и удалённое на 13 тыс. св. лет. Рядом с ним видна соседняя галактика — Малое Магелланово Облако (ММО), член Местной группы и, как и БМО, спутник нашей звёздной системы, удалённый на 190 тыс. св. лет.

ТУМАННОСТИ — облака межзвёздного газа и пыли, видимые благодаря их собственному излучению (если они горячие) либо отражению от них света соседних звёзд или поглощению света лежащих за ними звёзд (в этом случае туманность заметна в виде тёмного силуэта).

Раньше астрономы называли туманностями любые небесные объекты, неподвижные относительно звёзд, но имеющие, в отличие от них, диффузный, размытый вид, как у маленького облачка. Употребляемый в астрономии для туманности латинский термин *nebula* означает «облако». Со временем выяснилось, что некоторые из них — это звёздные скопления, которые не удавалось разрешить на звёзды. Другие, например, туманность в созвездии Ориона, состоят из межзвёздного газа и пыли и принадлежат нашей Галактике. Третьи, «белые» туманности, как в Андромеде и в Треугольнике, оказались гигантскими звёздными системами, подобными нашей Галактике.

Внегалактическими туманностями раньше называли светлые туманные пятна, расположенные вне полосы Млечного Пути (т. е. вне «галактического пояса»). Когда выяснилось, что в абсолютном большинстве это далёкие звёздные систе-

мы, подобные нашей Галактике, некоторое время их продолжали называть «внегалактическими туманностями», вкладывая в это понятие вполне определённый смысл — далёкие гигантские звёздные системы. Сейчас термин «внегалактические туманности» уже не употребляется. Туманностями принято называть только газово-пылевые образования в межзвёздном или околозвёздном пространстве.

История. Ещё до изобретения телескопа астрономы замечали на небе «туманные пятна», не похожие на звёзды и планеты. На небе Северного полушария это были туманности Ориона и Андромеды, на южном небе — Магеллановы Облака. В зависимости от качества зрения человек мог видеть некоторые звёздные скопления как кучку звёзд или же как размытое пятнышко. Например, туманное пятнышко в созвездии Рака теперь известно как звёздное скопление Ясли. Но, чтобы заметить в нём отдельные звёзды, нужен чрезвычайно зоркий глаз (а лучше — бинокль) и очень тёмное небо. Ещё несколько скоплений можно увидеть невооружённым глазом как слабые «туманные звёзды», но догадаться об их истинной природе до изобретения телескопа было невозможно.

С изобретением телескопа было открыто много новых туманностей. В 1612 г. Н. Пейреск (1580–1637) впервые упомянул о «Большой туманности Ориона», а С. Мариус (1570–1624) первым в Европе описал Туманность Андромеды (арабы знали о ней и до телескопа). Совершенствовался телескоп — обнаруживались новые туманности: в списке Э. Галлея (1714) их 6, у В. Дерхэма (1733) — уже 16, Н. Лакайль (1755) отметил 42 объекта, в каталоге Ш. Мессье и П. Мешена (1783) описано 103 туманности, а в списках В. Гершеля (1818) уже 2500 объектов незвёздного вида. Наконец, в «Новом общем каталоге туманностей и скоплений» Дж. Дрейера (1888) значится 7840 незвёздных объектов.

До середины XIX в. астрономы считали, что все туманности — это далёкие скопления звёзд. Но в 1860 г., впервые использовав спектроскоп, сэр Уильям Хёггинс показал, что некоторые туманности газовые. Когда сквозь спектроскоп проходит свет обычной звезды, получается непрерывный спектр, в котором представлены все цвета от фиолетового до красного. Правда, в некоторых местах спектра звезды имеются узкие тёмные линии поглощения, но заметить их глазом довольно трудно, они видны лишь на качественных фотографиях спектров. Поэтому при наблюдении глазом спектр звёздного скопления выглядит как непрерывная цветная полоса. Спектр излучения разреженного газа, напротив, состоит из отдельных ярких линий, между которыми практически нет света. Именно это увидел Хёггинс при наблюдении некоторых туманностей через спектроскоп. Более поздние наблюдения подтвердили, что многие туманности действительно являются облаками горячего газа. Часто астрономы называют «туманностями» и тёмные диффузные объекты — тоже облака межзвёздного газа, но холодные.

Во второй половине XIX в., после открытия Хёггинса, по отношению к туманностям наблюдался «газовый перегиб» — они все считались облаками межзвёздного газа. Даже обладающие чёткой симметричной формой спиральные туманности, такие как Туманность Андромеды, считались сравнительно близкими образованиями, связанными с формированием звёзд и планет: ядро спиральной галактики принимали за молодую звезду, формирующуюся в центре вращающегося газового облака. Это заблуждение рассеялось к началу XX в., когда фотографии, полученные на больших телескопах, показали истинную природу галактик, состоящих из миллиардов звёзд.

Типы туманностей. Туманности разделяют на следующие основные типы:

— диффузные туманности, или области H II, такие как Туманность Ориона;

— отражательные туманности, такие как туманность Меропы в Плеядах;

— тёмные туманности, такие как Угольный Мешок, которые обычно связаны с молекулярными облаками;

— остатки сверхновых, такие как туманность Сеть в Лебеде; планетарные туманности, как Кольцо в Лире.

Диффузные туманности. Широко известные примеры диффузных туманностей — это Туманность Ориона на зимнем небе, а также Лагуна и Тройная (Трёхраздельная) — на летнем. Тёмные линии, рассекающие Тройную туманность на части, — это холодные пылевые облака, лежащие перед ней. Расстояние до этой туманности около 2200 св. лет, а её диаметр чуть менее 2 св. лет. Масса этой туманности в 100 раз больше массы Солнца. Но некоторые диффузные туманности, например Лагуна, 30 Золотой Рыбы и Туманность Ориона, значительно крупнее и массивнее.

В отличие от звёзд, газовые туманности не имеют собственного источника энергии; они светятся только в том случае, если внутри них или рядом находятся горячие звёзды с температурой поверхности от 20 до 40 тыс. К. Эти звёзды испускают ультрафиолетовое излучение, которое поглощается газом туманности и переизлучается им в форме видимого света. Пропущенный через спектроскоп, этот свет расщепляется на характерные линии излучения различных элементов газа.

Отражательные туманности. Отражательная туманность возникает, когда облако с рассеивающими свет пылинками освещается расположенной рядом звездой, температура которой не так высока, чтобы заставить светиться газ. Небольшие отражательные туманности иногда видны рядом с формирующимися звёздами.

Тёмные туманности — это облака, состоящие в основном из газа и отчасти из пыли (в соотношении по массе около 100:1). В оптическом диапазоне они закрывают от нас центр Галактики и видны как чёрные пятна вдоль всего Млечного Пути, например Большой Провал в Лебеде. Но в инфракрасном и радиодиапазонах эти туманности излучают довольно активно. В некоторых из них сейчас формируются звёзды. Плотность газа в них значительно выше, чем в межоблачном пространстве, а температура ниже, от −260 °C до −220 °C. В основном они состоят из молекулярного водорода (H_2), но обнаружены в них и другие молекулы, в том числе органические.

Остатки сверхновых. Когда состарившаяся звезда взрывается, её внешние слои сбрасываются со скоростью порядка 10 тыс. км/с. Это быстро летящее вещество, подобно бульдозеру, сгребает перед собой межзвёздный газ, и вместе они образуют структуру, подобную туманности Сеть в Лебеде. При столкновении движущегося вещества с неподвижным они нагреваются в мощной ударной волне и светятся без дополнительных источников энергии. Температура газа при этом достигает сотен тысяч градусов, и он становится источником рентгеновского излучения. Кроме того, в ударной волне усиливается межзвёздное магнитное поле, а заряженные частицы — протоны и электроны — ускоряются до энергий гораздо выше тепловой. Движение этих быстрых заряженных частиц в магнитном поле вызывает излучение в радиодиапазоне, называемое нетепловым.

Самый интересный остаток сверхновой — Крабовидная туманность. В ней выброшенный сверхновой газ ещё не смешался с межзвёздным веществом. В 1054 г. была видна вспышка звезды в созвездии Телец. Восстановленная по китайским летописям картина вспышки показывает, что это был взрыв сверхновой звезды, которая в максимуме достигла светимости в 100 млн. раз выше солнечной. Крабовидная туманность находится как раз на месте той вспышки. Астрономы измерили угловой размер и скорость расширения туманности, поделили одно на другое и таким образом рассчитали, когда это расширение началось: почти точно получился 1054 г. Сомнений нет: Крабовидная туманность — это остаток сверхновой.

В спектре этой туманности каждая линия раздвоена. Ясно, что один компонент линии, сдвинутый в голубую сторону, приходит от приближающейся к нам части оболочки, а другой, сдвинутый в крас-

ную сторону, — от удаляющейся. По формуле Доплера вычислили скорость расширения (1200 км/с) и, сравнив её со скоростью углового расширения, определили расстояние до Крабовидной туманности, около 3300 св. лет.

Крабовидная туманность имеет сложное строение: её внешняя волокнистая часть излучает отдельные эмиссионные линии, характерные для горячего газа; внутри этой оболочки заключено аморфное тело, излучение которого имеет непрерывный спектр и сильно поляризовано. К тому же оттуда исходит мощное нетепловое радиоизлучение. Это можно объяснить только тем, что внутри туманности быстрые электроны движутся в магнитном поле, испуская при этом синхротронное излучение в широком диапазоне спектра — от радио до рентгеновского.

Долгие годы загадочным оставался источник быстрых электронов в Крабовидной туманности, пока в 1968 г. не удалось обнаружить в её центре быстро вращающуюся нейтронную звезду — пульсар, остаток взорвавшейся тысячу лет назад массивной звезды. Совершая 30 оборотов в секунду и обладая чудовищно мощным магнитным полем, нейтронная звезда выбрасывает в окружающую туманность потоки быстрых электронов, ответственных за наблюдаемое излучение (см. *Пульсары*).

Оказалось, что механизм синхротронного излучения весьма распространён среди активных астрономических объектов. В нашей Галактике можно указать немало остатков сверхновых, излучающих за счёт движения электронов в магнитном поле, например мощный радиоисточник Кассиопея А (Cas A), с которым в оптическом диапазоне связана расширяющаяся волокнистая оболочка. Из ядра гигантской эллиптической галактики M87 выбрасывается тонкая струя горячей плазмы с магнитным полем, излучающая во всех диапазонах спектра. Не ясно, связаны ли активные процессы в ядрах радиогалактик и квазаров со сверхновыми, но физические процессы излучения в них весьма схожи.

Планетарные туманности. В некотором смысле простейшие галактические туманности — это планетарные. Их открыто около двух тысяч, а всего в Галактике их не менее 20 тыс. Они концентрируются в галактическом диске, но не тяготеют, как диффузные туманности, к спиральным рукавам.

При наблюдении в небольшой телескоп планетарные туманности выглядят размытыми дисками без особых деталей и поэтому напоминают планеты. У многих из них вблизи центра видна голубая горячая звезда. Как и у диффузных туманностей, источником их свечения служит ультрафиолетовое излучение звезды, находящейся внутри. Типичный пример — туманность Кольцо в Лире; эта планетарная туманность светится под действием ультрафиолетового излучения горячей звезды, расположенной в центре газовой оболочки (см. *Планетарные туманности*).

Спектральный анализ излучения туманностей

Чтобы проанализировать спектральный состав излучения туманности, часто используют бесщелевой спектрограф. В простейшем случае вблизи фокуса телескопа помещают вогнутую линзу, превращающую сходящийся пучок света в параллельный. Его направляют на призму или дифракционную решётку, расщепляющую пучок в спектр, а затем выпуклой линзой фокусируют свет на фотопластинке, получая при этом не одно изображение объекта, а несколько — по числу линий излучения в его спектре. Правда, изображение центральной звезды при этом растягивается в линию, поскольку у неё непрерывный спектр.

В спектрах газовых туманностей представлены линии всех важнейших элементов: водорода, гелия, азота, кислорода, неона, серы и аргона. Причём, как и везде во Вселенной, водорода и гелия оказывается гораздо больше остальных.

Возбуждение атомов водорода и гелия в туманности происходит не так, как в лабораторной газоразрядной трубке, где поток быстрых электронов, бомбардируя атомы, переводит их в более высокое энергетическое состояние, после чего атомы возвращаются в нормальное состояние, излучая свет. В туманности нет таких энергичных электронов, которые могли бы своим ударом возбудить атом, т. е. «забросить» его электроны на более высокие орбиты. В туманности происходит «фотоионизация» атомов ультрафиолетовым излучением центральной звезды, т. е. энергии пришедшего кванта достаточно, чтобы вообще оторвать электрон от атома и пустить его в свободный полёт. В среднем проходит 10 лет, пока свободный электрон встретится с ионом, и они вновь объединятся (рекомбинируют) в нейтральный атом, выделив энергию связи в виде квантов света. Рекомбинационные линии излучения наблюдаются в радио-, оптическом и инфракрасном диапазонах спектра.

Наиболее сильные линии излучения у планетарных туманностей принадлежат атомам кислорода, потерявшим один или два электрона, а также азоту, аргону, сере и неону, причём они излучают такие линии, которые никогда не наблюдаются в их лабораторных спектрах, а появляются только в условиях, характерных для туманностей. Эти линии называют «запрещёнными». Дело в том, что атом обычно пребывает в возбуждённом состоянии менее миллионной доли секунды, а затем переходит в нормальное состояние, излучая квант. Однако существуют некоторые уровни энергии, между которыми атом совершает переходы очень неохотно, оставаясь в возбуждённом состоянии секунды, минуты и даже часы. За это время в условиях относительно плотного лабораторного газа атом обязательно сталкивается со свободным электроном, который изменяет его энергию, и маловероятный переход исключается. Но в крайне разреженной туманности возбуждённый атом долго не сталкивается с другими частицами и спокойно дожидается того момента, когда происходит запрещённый переход. Именно поэтому запрещённые линии впервые обнаружили не физики в лабораториях, а астрономы, наблюдая туманности. А поскольку в лабораторных спектрах этих линий не было, то некоторое время даже считалось, что они принадлежат неизвестному на Земле элементу. Его хотели назвать «небулий» (от *nebula* — туманность), но недоразумение вскоре прояснилось. Эти линии видны в спектрах как планетарных, так и диффузных туманностей. В спектрах таких туманностей есть и слабое непрерывное излучение, возникающее при рекомбинации электронов с ионами.

На спектрограммах туманностей, полученных со щелевым спектрографом, линии часто выглядят изломанными и расщеплёнными. Это эффект Доплера, указывающий на относительное движение частей туманности. Планетарные туманности обычно расширяются радиально от центральной звезды со скоростью 20–40 км/с. Оболочки сверхновых расширяются гораздо быстрее, возбуждая перед собой ударную волну. А у диффузных туманностей вместо общего расширения обычно наблюдается турбулентное (хаотическое) движение отдельных частей.

Важная особенность некоторых планетарных туманностей — стратификация их монохроматического излучения. Например, излучение однократно ионизованного атомарного кислорода наблюдается в обширной области, на большом расстоянии от центральной звезды, а двукратно ионизованные (т. е. потерявшие два электрона) кислород и неон видны лишь во внутренней части туманности, тогда как четырёхкратно ионизованный неон заметен лишь в центральной её части. Этот факт объясняется тем, что необходимые для более сильной ионизации атомов энергичные фотоны не достигают внешних областей туманности, а поглощаются газом уже недалеко от звезды.

По химическому составу планетарные туманности весьма разнообразны: элементы, синтезированные в недрах звезды, у некоторых из них оказались подмешанными к веществу сброшенной оболочки, а у других — нет. Ещё сложнее состав остатков сверхновых: сброшенное звездой вещество в значительной степени смешано с межзвёздным газом, и, кроме того,

разные фрагменты одного остатка иногда имеют различный химический состав (как у Кассиопеи А). Вероятно, это вещество выбрасывается с различных глубин звезды, что даёт нам возможность проверять теорию эволюции звёзд и взрыва сверхновых.

Происхождение туманностей

Диффузные и планетарные туманности имеют совершенно разное происхождение. Диффузные всегда находятся в областях звёздообразования — как правило, в спиральных рукавах галактик. Обычно они связаны с крупными и холодными газово-пылевыми облаками, в которых формируются звёзды. Яркая диффузная туманность — это небольшой кусочек такого облака, разогретый родившейся поблизости горячей массивной звездой. Поскольку такие звёзды формируются нечасто, то и диффузные туманности далеко не всегда сопровождают холодные облака. Например, в Орионе есть молодые горячие звёзды, поэтому есть и несколько диффузных туманностей, но они крошечные по сравнению с невидимым для глаза тёмным облаком, занимающим почти всё созвездие Орион. А в небольшой области звёздообразования в Тельце нет ярких горячих звёзд и поэтому нет заметных диффузных туманностей (есть лишь несколько слабеньких туманностей вблизи активных молодых звёзд типа Т Тельца).

Планетарные туманности — это оболочки, сброшенные звёздами на заключительном этапе их жизни. Нормальная звезда светит за счёт протекающих в её ядре термоядерных реакций, превращающих водород в гелий. Но когда запасы водорода в ядре звезды истощаются, с ней происходят быстрые перемены: гелиевое ядро сжимается, оболочка расширяется, и звезда превращается в красный гигант. Обычно это переменные звёзды типа Миры Кита или OH/IR с огромными пульсирующими оболочками. В конце концов они сбрасывают внешние части своих оболочек. Вероятно, так формируются планетарные туманности. Лишённая оболочки внутренняя часть звезды имеет очень высокую температуру, иногда выше 100 тыс. К. Постепенно остаток звезды сжимается и превращается в белый карлик, лишённый ядерного источника энергии и медленно остывающий. Таким образом, планетарные туманности выбрасываются их центральными звёздами, тогда как диффузные туманности типа Туманности Ориона — это вещество, которое осталось неиспользованным в процессе формирования звёзд.

ТУМАННОСТЬ АНДРОМЕДЫ — ближайшая к нам спиральная галактика, наблюдаемая в созвездии Андромеда; известна под номером M31 в каталоге Шарля Мессье и под номером NGC 224 в Новом общем каталоге. Другие её популярные названия: галактика в Андромеде, спираль в Андромеде, Галактика Андромеда, Andromeda Galaxy. Расстояние до этой галактики около 780 пк (2,5 млн св. лет). Её масса и размер немного больше, чем у нашей галактики, поэтому Туманность Андромеды — наиболее массивный член Местной группы галактик. Морфологический тип Туманности Андромеды SA(s)b.

Туманность Андромеды — единственная галактика, которую можно наблюдать в Северном полушарии невооружённым глазом (с трудом) или в бинокль как светлое туманное пятнышко. Наблюдая галактику глазом и даже в бинокль, мы замечаем лишь её наиболее яркую центральную, часть.

Интегральная (т. е. суммарная по всей площади) звёздная величина Туманности Андромеды $V = 3{,}44$. Такую звезду было бы легко заметить глазом, но в данном случае этот свет «размазан» по большой площади и потому почти незаметен: на глубоких снимках видимый размер галактики 1×3°, т. е. значительно больше лунного диска, имеющего диаметр 0,5°. Наиболее яркая часть Туманности Андромеды — её диск — повернут к нам почти ребром, поэтому галактика выглядит как вытянутый эллипс. Относительно Солнца Туманность Андромеды движется с лучевой скоростью −301 км/с (т. е. приближается к нам). Но большая часть этой скорости связана с движением самого Солнца по галактоцентрической орбите. Скорость сближения нашей галактики с Туманностью Андромеды составляет около 120 км/с.

ТУМАННОСТЬ ОРИОНА — светлая диффузная туманность в созвездии Ориона, на расстоянии около 500 пк от Солнца. Благодаря большому угловому размеру (около 1°) при хороших условиях наблюдения видна даже невооружённым глазом и очень хорошо видна в бинокль в виде бледного пятна в Мече фигуры охотника, чуть ниже Пояса Ориона из трёх звёзд. Чтобы отличить от прочих туманностей, которыми богато это созвездие, её часто называют «Большая туманность Ориона» или, с заглавной буквы, Туманность Ориона. В каталогах обозначается как M42 или NGC 1976. Открыта в 1610 г. французским учёным Никола-Клодом Фабри де Переском (1580–1637) и независимо в 1618 г. швейцарским астрономом Иоганном Баптистом Цизатом (1586?–1657). Туманность Ориона была первой сфотографированной туманностью (Генри Дрэпер, США, 1880).

Туманность Ориона содержит скопление очень молодых звёзд. В центральной, наиболее яркой её части находятся четыре массивные горячие звезды спектрального класса O — Трапеция Ориона. Их ультрафиолетовое излучение (в основном звезды θ Ori) вызывает свечение газа самой туманности. В 1980-х гг. удалось сфотографировать в инфракрасном диапазоне скопление молодых и формирующихся звёзд, скрытое в глубине туманности и не наблюдаемое в оптическом диапазоне. Светлая туманность представляет собой небольшую нагретую часть гораздо более обширного, холодного и не видимого в оптике облака молекулярного водорода, занимающего на небе существенную часть фигуры Ориона.

ТУНГУССКИЙ МЕТЕОРИТ, или Тунгусское явление, — уникальное природное событие, имевшее место 17 (30) июня 1908 г. в 7 час утра по местному времени (00 час 14 мин по Гринвичу) в бассейне р. Подкаменная Тунгуска (ныне Эвенкийский муниципальный район Красноярского края России). По внешним признакам оно напоминало явления, сопровождающие падение крупных метеоритов, но отличалось огромными масштабами. В течение нескольких секунд наблюдался ослепительно яркий болид, перемещавшийся по небу с юго-востока на северо-запад и оставлявший мощный пылевой след. На расстоянии свыше 1000 км был слышен взрыв, в эпицентре которого произошёл вывал леса в радиусе 15–30 км. Мощность взрыва составила 10^{16}–10^{17} Дж, что эквивалентно взрыву от 3 до 30 Мт ТНТ (т. е. порядка 1000 атомных бомб, сброшенных на Хиросиму). Тем не менее ни вещества метеорита, ни кратера от его падения найдено не было. Предполагается, что причиной Тунгусского явления был влёт в атмосферу Земли небольшого (десятки метров) рыхлого ядра кометы или каменного метеороида размером около 10 м, раздробившегося и взорвавшегося на высоте 5–10 км.

ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ — квантовомеханический процесс, при котором частицы могут проходить через потенциальный барьер, имея энергию ниже этого барьера.

ТУРБОПАУЗА — уровень атмосферы на высоте 100–120 км, на котором происходит переход от преобладания турбулентного перемешивания газового состава к диффузному разделению.

ТУРИНСКАЯ ШКАЛА АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ (Torino Impact Hazard Scale или короче — Torino Scale) — международная шкала, характеризующая степень потенциальной опасности, грозящей Земле со стороны астероида или ядра кометы. Балл по Туринской шкале астероидной опасности присваивается малому телу Солнечной системы в момент его открытия в зависимости от массы этого тела, возможной скорости и вероятности его столкновения с Землёй. Туринская шкала содержит 11 уровней (баллов), в соответствии с которыми астероиды и другие небесные тела классифицируются

по степени их опасности для Земли. При этом учитывается не только вероятность столкновения астероида с Землёй, но и потенциальные разрушения, к которым может привести катастрофа (см. таблицу ниже). По мере дальнейшего исследования орбиты тела его балл по Туринской шкале может быть изменен.

Одной из причин, подтолкнувших астрономов к разработке такой шкалы, стали систематические сенсационные сообщения средств массовой информации о грозящих Земле катастрофах, провоцирующие истерию в обществе и создающие неверное представление о реальной космической угрозе. В связи с этим Туринская шкала была разработана для объективной оценки степени опасности от конкретных астероидов и ядер комет для земной биосферы и цивилизации.

Шкалу астероидной опасности разработал профессор Массачусетского технологического института (США) Ричард Бинзел (R. P. Binzel). Её первый вариант, созданный в 1995 г., назывался «Индекс опасности околоземного объекта» (A Near-Earth Object Hazard Index). К длившейся четыре года работе над этой шкалой, кроме астрономов, были привлечены социологи (специалисты по общественной психологии) и журналисты — популяризаторы науки, пишущие для солидных журналов и газет. Видный астроном К. Пилчер (K. Pilcher) счёл Туринскую шкалу полезной для классификации и объяснения гражданам последствий столкновения планеты с астероидами. Применять эту шкалу призвал и Т. Герелс (T. Gehrels), возглавляющий один из международных проектов по поиску неизвестных околоземных небесных тел.

Окончательный вариант шкалы Бинзел представил своим коллегам в июле 1999 г. на международном симпозиуме по околоземным объектам в Турине. Астрономы одобрили шкалу Бинзела и решили назвать её в честь этого итальянского города. Международный астрономический союз утвердил Туринскую шкалу как официальную для оповещения населения о возможной космической угрозе.

Эта шкала имеет приблизительно логарифмический характер, т. е. она подобна многим другим шкалам, используемым для выражения мощности природных явлений, например известной шкале Рихтера, широко используемой сейсмологами для указания разрушительной силы землетрясений. Как и шкала Рихтера, шкала Бинзела вполне доступна пониманию неспециалиста, в чём и заключается её несомненная польза.

Оценка опасности столкновения Земли с астероидом и кометой

События, не имеющие последствий (Белая зона)

0 — Вероятность столкновения в ближайшие десятилетия равна нулю. К этой же категории событий относятся столкновения с объектами, которые не смогут достигнуть поверхности Земли, поскольку сгорают в её атмосфере.

Заслуживающие тщательного мониторинга (Зелёная зона)

1 — Вероятность столкновения крайне мала. Скорее всего, подобные тела в ближайшие десятилетия с Землёй не встретятся.

Вызывающие беспокойство (Жёлтая зона)

2 — Близкий, но не являющийся чем-то необычным пролёт. Столкновение очень маловероятно. Подобные события происходят нередко.

3 — Близко пролетающее тело; вероятность столкновения 1% или выше. Столкновение способно вызвать только локальные разрушения.

4 — Близкий пролёт с вероятностью столкновения 1% или более. Столкновение способно вызвать региональные разрушения.

Явно угрожающие события (Оранжевая зона)

5 — Близкий пролёт, который с существенной вероятностью может вызвать столкновение, приводящее к региональной катастрофе.

6 — Близкий пролёт, который с существенной вероятностью может вызвать столкновение, приводящее к катастрофе с вероятными глобальными последствиями.

7 — Близкий пролёт, который с существенной вероятностью может вызвать столкновение, приводящее к катастрофе с неизбежными глобальными последствиями.

Столкновение неизбежно (Красная зона)

8 — Столкновение, приводящее к локальным разрушениям. Такие столкновения происходят один раз в 50–1000 лет.

9 — Столкновение, приводящее к региональным разрушениям. Такие события происходят один раз в (10–100) тыс. лет.

10 — Столкновение, приводящее к глобальной катастрофе с изменением климата. Такие события случаются один раз в 100 тыс. лет или реже.

Как видим, к нулевой категории отнесены те объекты, о которых с уверенностью можно сказать, что они не достигнут поверхности Земли, к первой — те, что всё же заслуживают внимательного мониторинга, ко второй, третьей и четвёртой отнесены малые объекты Солнечной системы, вызывающие оправданное беспокойство. В пятую—седьмую категории включены тела, явно угрожающие Земле, а объекты из последних трёх категорий неизбежно столкнутся с нами, причём последствия могут изменяться от локальных разрушений до глобальной катастрофы.

В принципе возможно перемещение объекта из одной категории в другую — в зависимости от его поведения на орбите и уточнения данных о нём. Такое уже происходило несколько раз. Так, открытые весной 1998 г. и весной 1999 г. астероиды сначала предполагалось отнести к первой категории, но дальнейшие наблюдения позволили уверенно переместить их в нулевую, т. е. приписать им нулевой балл по Туринской шкале. Например, в январе 1999 г. с помощью автоматического телескопа LINEAR была открыта малая планета 1999 AN10. Первые расчёты итальянских астрономов показали, что в ближайшие 600 лет этот астероид будет довольно часто пролетать мимо Земли, а в 2039 г. существует опасность его столкновения с Землёй, правда, очень маленькая — приблизительно один шанс из миллиарда. Дальнейшие исследования, проведённые специалистами NASA, подтвердили, что вероятность столкновения действительно существует. Опираясь на результаты дополнительных наблюдений, американские астрономы пришли к выводу, что в августе 2027 г. астероид 1999 AN10 пролетит на расстоянии около 37 тыс. км от центра Земли, т. е. в 10 раз ближе Луны. Столкновение в 2039 г. нам не угрожает, но значительно хуже прогнозировалась ситуация в 2044 и 2046 гг. Шансы на столкновение в 2046 г. оказались довольно малы — один из пяти миллионов. Но вероятность того, что малая планета окажется на орбите, ведущей к столкновению в 2044 г., оказалась в десять раз выше.

Это сообщение имело большой резонанс в прессе весной 1999 г. Однако уже в июле астрономы сообщили, что изображение астероида 1999 AN10 обнаружено на фотопластинках Паломарского обзора неба за 1955 г. Благодаря большой разности эпох наблюдения удалось существенно уточнить орбиту астероида: выяснилось, что он никогда не подходит к Земле ближе чем на 386 тыс. км. К сожалению, это успокаивающее известие не попало на страницы большинства газет. Отнесённый сначала к первой категории по Туринской шкале, астероид 1999 AN10 был в дальнейшем уверенно перемещён в нулевую категорию.

Подобный случай произошел и 9 июля 2002 г., когда был открыт астероид, получивший обозначение 2002 NT7. Предварительные результаты изучения его орбиты показали, что этот астероид может столкнуться с Землёй 1 февраля 2019 г. Но на основании наблюдений последующих нескольких дней учёные пришли к заключению, что в феврале 2019 г. он благополучно пролетит мимо Земли, хотя и недалеко от неё. Несмотря на это, двухкилометровая глыба 2002 NT7 остаётся одним из самых опасных для Земли объектов. Сейчас астрономы проверяют, не столкнётся ли она с Землёй 1 февраля 2060 г. В любом случае за астероидом 2002 NT7 теперь будут неустанно следить.

В 2004 г. был открыт 300-метровый астероид Апофис (99942 Apophis), имевший предварительное обозначение 2004 MN4. Расчёты показали, что в 2029 г. он пройдёт вблизи Земли, а 13 апреля 2036 г. не исключено его столкновение с нашей планетой. По мере накопления наблюдений и уточнения расчётов балл Апофиса по Туринской шкале менялия от 1 до 4 (до сих пор это рекордный показатель!), но после 2008 г. застыл на отметке «1».

Нет сомнения, что подобные настораживающие случаи будут происходить всё чаще. Дело в том, что поиск астероидов за последние годы был автоматизирован и поэтому стал значительно эффективнее, чем раньше. Наибольшего успеха добилась программа LINEAR (Lincoln Near Earth Asteroid Research — исследование околоземных астероидов лабораторией им. Линкольна Массачусетского технологического института, США). За 5 лет наблюдений (1997–2002) с помощью автоматического телескопа LINEAR диаметром около 1 м было зарегистрировано более 1 млн астероидов Главного пояса, из которых 158 тыс. оказались новыми. Кроме этого, были обнаружены 82 кометы. Исследование орбит астероидов показало, что 951 из них входят в группу «сближающихся с Землёй», т. е. в перигелии имеющих расстояние от Солнца менее 1,3 а. е. (радиус орбиты Земли составляет 1 а. е.). Эти данные позволили подсчитать полное количество астероидов поперечником от 1 км и более, включая ещё не открытые: их от 1200 до 1400. После их полного обнаружения и исследования орбит для каждого из них будет определён балл по Туринской шкале.

Сама шкала астероидной опасности постоянно совершенствуется. Опыт показал, что первоначально сформулированные названия групп баллов не всегда воспринимаются адекватно. Например, 1-й уровень опасности («заслуживающие тщательного мониторинга») пресса воспринимала с преувеличенным страхом. В 2005 г. некоторые формулировки в Туринской шкале были изменены: добавлены новые детали и переименованы некоторые категории. В частности, 1-й уровень был назван «нормальным».

Список пролетающих близ Земли астероидов с указанием степени их опасности по Туринской шкале приведён на сайте программы NEO (NASA) и дублируется на многих других сайтах профессионалов и любителей астрономии.

ТЯГОТЕНИЕ (притяжение, гравитация, всемирное тяготение) — универсальное фундаментальное взаимодействие между всеми материальными телами. В приближении малых скоростей и слабого гравитационного взаимодействия описывается теорией тяготения Ньютона, в общем случае — общей теорией относительности Эйнштейна. Гравитация является самым слабым из четырёх типов фундаментальных взаимодействий. В квантовом пределе гравитационное взаимодействие должно описываться квантовой теорией гравитации, которая ещё полностью не разработана.

Закон всемирного тяготения Ньютона и уравнение Пуассона

Закон всемирного тяготения был сформулирован И. Ньютоном в 1687 г. При его выводе Ньютон опирался на работы своих великих предшественников — Г. Галилея (1638) и И. Кеплера (1627). Согласно Закону всемирного тяготения, два точечных тела массами m_1 и m_2 притягивают друг друга с силой

$$F = Gm_1m_2/r^2, \qquad (1)$$

где r — расстояние между телами, G — гравитационная постоянная. Ускорение, которое испытывает тело m_2, находящееся на расстоянии r от данного тела m_1, равно:

$$a_2 = F/m_2 = Gm_1/r^2.$$

Эта величина не зависит от природы (состава) и массы тела, получающего ускорение. В этом соотношении выражается экспериментальный факт, известный ещё Галилею, согласно которому все тела падают в гравитационном поле Земли с одинаковым ускорением.

Ньютон установил, что ускорение и сила обратно пропорциональны r^2, сопоставив ускорение тел, падающих вблизи поверхности Земли, с ускорением, с которым движется Луна по своей орбите. Далее было показано, что из закона всемирного тяготения следуют законы Кеплера, которые были найдены И. Кеплером путём обработки многочисленных наблюдений за движениями планет. Так возникла небесная механика. Блестящим подтверждением ньютоновской теории тяготения было предсказание существования планеты за Ураном (У. Леверье, 1846) и открытие этой планеты (И. Галле, 23 сентября 1846), названной Нептуном.

В формулы, описывающие движение планет, входит произведение G и массы Солнца $M_\odot$, оно известно с большой точностью. Для определения же константы G требуются лабораторные опыты по измерению силы взаимного притяжения двух тел с известной массой. Первый такой опыт был поставлен английским учёным Г. Кавендишем (1798).

Зная G, удаётся определить абсолютное значение массы Солнца, Земли и других небесных тел.

Закон тяготения в форме (1) непосредственно применим к точечным телам. Можно показать, что он справедлив и для протяжённых тел со сферически-симметричным распределением массы, причём r есть расстояние между центрами симметрии тел. Для сферических тел, расположенных достаточно далеко друг от друга, закон (1) справедлив приближённо.

В ходе развития теории тяготения представление о непосредственном силовом взаимодействии тел постепенно уступило место представлению о поле. Гравитационное поле в теории Ньютона характеризуется потенциалом $\varphi(x, y, z, t)$, где x, y, z — координаты, t — время, а также напряжённостью поля $g = -\mathrm{grad}\,\varphi$, т. е.

$$g_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x};\ g_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y};\ g_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}.$$

Потенциал гравитационного поля, создаваемого совокупностью покоящихся масс, не зависит от времени. Гравитационные потенциалы нескольких тел удовлетворяют принципу суперпозиции, т. е. потенциал в какой-либо точке их общего поля равен сумме потенциалов рассматриваемых тел.

Предполагается, что гравитационное поле описывается в инерциальной системе координат, т. е. в системе координат, относительно которой тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют никакие силы. В гравитационном поле сила, действующая на частицу вещества, равна произведению её массы на напряжённость поля в месте нахождения частицы: $F = mg$. Ускорение частицы относительно инерциальной системы координат (так называемое абсолютное ускорение) есть, очевидно, g.

Точечное тело с массой dm создаёт гравитационный потенциал

$$\varphi = -G\frac{dm}{r}.$$

Сплошная среда, распределённая в пространстве с плотностью $\rho(x, y, z)$ (причём ρ может зависеть и от времени), создаёт гравитационный потенциал, равный сумме потенциалов всех элементов среды. В этом случае напряжённость поля выражается как векторная сумма напряжённостей, создаваемых всеми частицами.

Гравитационный потенциал подчиняется уравнению Пуассона:

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = 4\pi G\rho. \qquad (2)$$

Ясно, что потенциал изолированного сферически-симметричного тела зависит только от r. Вне такого тела потенциал совпадает с потенциалом точечного тела, расположенного в центре симметрии и имеющего ту же массу m. Если $\rho = 0$ при $r > R$, то $\varphi = -Gm/r$ при $r > R$. Тем самым обосновывается приближение материальных точек в небесной механике, где обычно имеют дело с почти сферическими телами, находящимися к тому же достаточно далеко друг от друга. Точное уравнение Пуассона с учётом реального, несимметричного распределения масс используется, например, при из-

учении строения Земли методами гравиметрии. Закон тяготения в форме уравнения Пуассона применяется при теоретическом исследовании строения звёзд. В звёздах сила тяготения, изменяющаяся от точки к точке, уравновешивается градиентом давления; во вращающихся звёздах к градиенту давления добавляется центробежная сила.

Отметим некоторые принципиальные особенности классической теории тяготения.

1. В уравнение движения материального тела, т. е. второй закон механики Ньютона $ma=F$ (где F — действующая сила, a — приобретаемое телом ускорение), и в закон тяготения Ньютона входит одна и та же характеристика тела — его масса. Тем самым подразумевается, что инертная масса тела и его гравитационная масса равны.

2. Мгновенное значение гравитационного потенциала полностью определяется мгновенным распределением масс во всём пространстве и предельными условиями для потенциала на бесконечности. Для ограниченных распределений вещества принимают условие обращения φ в ноль на бесконечности (при $r\to\infty$). Добавление к потенциалу постоянного слагаемого нарушает условие $\varphi=0$ на бесконечности, но не изменяет напряжённость поля g и не изменяет уравнения движения материальных тел в данном поле.

3. Переход в соответствии с преобразованиями Галилея ($x'=x-vt$, $t'=t$) от одной инерциальной системы координат к другой, движущейся относительно первой с постоянной скоростью v, не изменяет уравнение Пуассона и уравнения движения материальных тел. Другими словами, механика, включая ньютоновскую теорию тяготения, инвариантна относительно преобразований Галилея.

4. Переход от инерциальной системы координат к ускорению движущейся с ускорением $a(t)$ (без вращения) не изменяет уравнение Пуассона, но приводит к появлению дополнительного, не зависящего от координат члена ma в уравнениях движения. Точно такой же член в уравнениях движения возникает, если в инерциальной системе координат к гравитационному потенциалу добавить слагаемое, линейно зависящее от координат, $\varphi'=-a(t)x$, т. е. добавить однородное поле тяготения. Таким образом, однородное поле тяготения может быть скомпенсировано в условиях ускоренного движения.

Движение тел под действием сил тяготения

Важнейшей задачей ньютоновской небесной механики является задача движения двух точечных материальных тел, взаимодействующих гравитационно. Для её решения, используя закон тяготения Ньютона, составляют уравнения движения тел. Свойства решений этих уравнений известны с исчерпывающей полнотой. По известному решению можно установить, что некоторые величины, характеризующие систему, остаются постоянными во времени. Их называют интегралами движения. Основными интегралами движения (сохраняющимися величинами) являются энергия, импульс, момент импульса системы. Для системы двух тел полная механическая энергия E, равная сумме кинетической энергии (T) и потенциальной энергии (U), сохраняется:

$$E=T+U=\text{const},$$

где кинетическая энергия двух тел

$$T=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2.$$

В классической небесной механике потенциальная энергия обусловлена гравитационным взаимодействием тел. Для пары тел гравитационная (потенциальная) энергия равна:

$$U=-\frac{Gm_1m_2}{r}=\frac{1}{2}m_1\varphi_2+\frac{1}{2}m_2\varphi_1,$$

где φ_2 — гравитационный потенциал, создаваемый массой m_2 в точке нахождения массы m_1, а φ_1 — потенциал, создаваемый массой m_1 в точке нахождения массы m_2. Нулевым значением U обладают тела, разнесённые на бесконечно большое расстояние. Поскольку при сближении тел их кинетическая энергия увеличивается, а потенциальная энергия уменьшается, знак U отрицательный.

Для стационарных гравитирующих систем среднее значение абсолютной величины гравитационной энергии в два раза больше среднего значения кинетической энергии частиц, составляющих систему (см. *Теорема вириала*). Так, например, для малой массы m, вращающейся по круговой орбите вокруг центрального тела M, условие равенства центробежной силы mv^2/r силе тяготения GMm/r^2 приводит к $v^2=GM/r$, т. е. кинетическая энергия

$$T=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\frac{GM}{r},$$

тогда как $U=-GMm/r$. Следовательно, $U=-2T$ и $E=U+T=-T=\text{const}<0$. Из последнего следует, что отбор энергии увеличивает кинетическую энергию.

В ньютоновской теории тяготения изменение положения частицы мгновенно приводит к изменению поля во всём пространстве (гравитационное взаимодействие осуществляется с бесконечной скоростью). Другими словами, в классической теории тяготения поле служит целям описания мгновенного взаимодействия на расстоянии, оно не обладает собственными степенями свободы, не может распространяться и излучаться. Ясно, что такое представление о гравитационном поле справедливо лишь приближённо при достаточно медленных движениях источников. Учёт конечной скорости распространения гравитационного взаимодействия производится в релятивистской теории тяготения (см. ниже).

В нерелятивистской теории тяготения полная механическая энергия системы тел (включающая энергию гравитационного взаимодействия) должна оставаться неизменной бесконечно долго. Теория Ньютона допускает систематическое уменьшение этой энергии только при наличии диссипации, связанной с превращением части энергии в теплоту, например при неупругих столкновениях тел. Если тела вязкие, то их деформации и колебания при движении в гравитационном поле также уменьшают энергию системы тел за счёт превращения энергии в теплоту.

Ускорение и тяготение

Инертной массой тела (m_i) называют величину, характеризующую его способность приобретать то или иное ускорение под действием заданной силы. Инертная масса входит во второй закон механики Ньютона. Гравитационная масса (m_g) характеризует способность тела создавать то или иное поле тяготения. Гравитационная масса входит в закон тяготения.

Из опытов Галилея с той точностью, с которой они были поставлены, следовало, что все тела падают с одинаковым ускорением, вне зависимости от их природы и инертной массы. Это означает, что сила, с которой Земля действует на эти тела, зависит только от их инертной массы, причём сила пропорциональна инертной массе рассматриваемого тела. Но по третьему закону Ньютона изучаемое тело действует на Землю точно с такой же силой, с какой Земля действует на тело. Следовательно, создаваемая падающим телом сила зависит только от одной из его характеристик — инертной массы — и пропорциональна ей. В то же время падающее тело действует на Землю с силой, определяемой гравитационной массой тела. Таким образом, для всех тел гравитационная масса пропорциональна инертной. Считая m_i и m_g просто совпадающими, находят из экспериментов конкретное численное значение постоянной G.

Пропорциональность инертной и гравитационной масс у тел различной природы была предметом исследования в опытах многих физиков, например Роланда Этвеша (1922), Роберта Дикке (1964), Владимира Борисовича Брагинского (1971), и др. Она проверена в лаборатории с погрешностью $<10^{-13}$. Высокая точность этих экспериментов позволяет оценить влияние на массу различных видов энергии связи между частицами тела. Пропорциональность инертной и гравитационной масс означает, что физические взаимодействия внутри тела одинаковым образом участвуют в создании его инертной и гравитационной масс.

Относительно системы координат, движущейся с ускорением a, все свободные тела приобретают одинаковое ускорение $-a$. Из-за равенства инертной и гравитационной масс все они приобретают такое же ускорение относительно инерциальной системы координат под воздействием гравитационного поля с напряжённостью $g=-a$. Именно поэтому можно сказать, что с точки зрения законов механики однородное гравитационное поле неотличимо от поля ускорений. В неоднородном гравитационном поле компенсация напряжённости поля ускорением сразу во всём пространстве невозможна. Однако напряжённость поля может быть скомпенсирована ускорением специально подобранной системы координат вдоль всей траектории тела, свободно движущегося под действием сил тяготения. Такая система координат называется свободно падающей. В ней имеет место явление невесомости.

Движение космического корабля (например, ИСЗ) в поле тяготения Земли можно рассматривать как движение падающей системы координат. Ускорение космонавтов и всех предметов на корабле относительно Земли одинаково и равно ускорению свободного падения, а относительно друг друга практически равно нулю, поэтому они находятся в невесомости.

При свободном падении в неоднородном гравитационном поле компенсация напряжённости поля ускорением не может быть повсеместной, поскольку ускорение соседних свободно падающих частиц не совсем одинаково, т. е. частицы обладают относительным ускорением. В космическом корабле относительные ускорения практически незаметны, поскольку по порядку величины они составляют $GM_\oplus x/r^3 \approx 5\cdot10^{-8}$ см/с^2, где r – расстояние корабля от центра Земли, $M_\oplus$ – масса Земли, x – размер корабля. Этими ускорениями можно пренебречь и считать гравитационное поле Земля на расстоянии r от её центра однородным в объёме с характерным размером x. В любом заданном объёме пространства неоднородность гравитационного поля может быть установлена наблюдениями достаточно высокой точности, но при любой заданной точности наблюдений можно указать объём пространства, в котором поле будет выглядеть однородным.

Относительные ускорения проявляют себя, например, на Земле в виде океанских приливов. Сила, с которой Луна притягивает Землю, различна в разных точках Земли. Ближайшие к Луне части водной поверхности притягиваются сильнее, чем центр тяжести Земли, а он, в свою очередь, – сильнее, чем наиболее удалённые части Мирового океана. Вдоль линии, соединяющей Луну и Землю, относительные ускорения направлены от центра Земли, а в ортогональных направлениях – к центру. В результате водная оболочка Земли деформируется так, что она вытягивается в виде эллипсоида вдоль линии Земля–Луна. Из-за вращения Земли приливные горбы дважды в сутки прокатываются по поверхности океана. Аналогичная, но меньшая приливная деформация вызывается неоднородностью гравитационного поля Солнца.

А. Эйнштейн, исходя из эквивалентности однородных полей тяготения и ускоренных систем координат в механике, предположил, что такая эквивалентность распространяется вообще на все без исключения физические явления. Этот постулат называют принципом эквивалентности: все физические процессы протекают совершенно одинаково (при одинаковых условиях) в инерциальной системе отсчёта, находящейся в однородном гравитационном поле, и в системе отсчёта, движущейся поступательно с ускорением при отсутствии гравитационного поля. Принцип эквивалентности сыграл важную роль при построении эйнштейновской теории тяготения.

Релятивистская механика и теория поля

Изучение электромагнитных явлений Майклом Фарадеем и Джеймсом Максвеллом во второй половине XIX в. привело к созданию теории электромагнитного поля. Выводы этой теории были подтверждены экспериментально. Уравнения Максвелла неинвариантны относительно преобразований Галилея, но инвариантны относительно преобразований Лоренца, т. е. законы электромагнетизма одинаково формулируются во всех инерциальных системах координат, связанных преобразованиями Лоренца.

Если инерциальная система координат x', y', z', t' движется относительно инерциальной системы координат x, y, z, t с постоянной скоростью v в направлении оси x, то преобразования Лоренца имеют вид:

$$y'=y,\ z'=z,\ x'=\frac{x-vt}{\sqrt{1-(v/c)^2}},\ t'=\frac{t-vx/c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}}.$$

При малых скоростях ($v/c \ll 1$) и в пренебрежении членами $(v/c)^2$ и vx/c^2 эти преобразования переходят в преобразования Галилея. Логический анализ противоречий, возникавших при сопоставлении выводов теории электромагнитных явлений с классическими представлениями о пространстве и времени, привёл к построению частной (специальной) теории относительности. Решающий шаг был сделан Альбертом Эйнштейном (1905), но огромную роль в её построении сыграли труды нидерландского физика Хендрика Лоренца и французского математика Анри Пуанкаре. Частная теория относительности требует пересмотра классических представлений о пространстве и времени. В классической физике промежуток времени между двумя событиями (например, между двумя вспышками света), а также понятие одновременности событий имеют абсолютный смысл. Они не зависят от движения наблюдателя. В частной теории относительности это не так: суждения об интервалах времени между событиями и об отрезках длины зависят от движения наблюдателя (связанной с ним системы координат). Эти величины оказываются относительными примерно в том же смысле, в каком относительными, зависящими от расположения наблюдателей являются их суждения об угле, под которым они видят одну и ту же пару предметов. Инвариантным, абсолютным, не зависящим от системы координат, является только 4-мерный интервал ds между событиями, включающий как промежуток времени dt, так и элемент расстояния $dl=\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2}$ между ними:

$$ds^2=c^2dt^2-dx^2-dy^2-dz^2. \qquad (3)$$

Переход от одной инерциальной системы к другой, сохраняющий ds^2 неизменным, осуществляется как раз в соответствии с преобразованиями Лоренца. Инвариантность ds^2 означает, что пространство и время объединяются в единый 4-мерный мир – пространство-время. Выражение (3) можно записать также в виде:

$$ds^2=\eta_{\mu\nu}\,dx^\mu dx^\nu, \qquad (4)$$

где индексы μ и ν пробегают значения 0, 1, 2, 3 и по ним производится суммирование, $x^0=ct$, $x^1=x$, $x^2=y$, $x^3=z$, $-\eta_{00}=\eta_{11}=\eta_{22}=\eta_{33}=-1$, остальные величины $\eta_{\mu\nu}$ равны нулю. Набор величин $\eta_{\mu\nu}$ называют метрическим тензором плоского пространства-времени, или мира Минковского (в общей теории относительности, ОТО, было показано, что пространство-время обладает кривизной, см. ниже).

В термине «метрический тензор» слово «метрический» указывает на роль этих величин при определении расстояний и промежутков времени. В общем случае метрический тензор представляет собой совокупность десяти функций, зависящих от x^0, x^1, x^2, x^3 в выбранной системе координат. Метрический тензор (или просто метрика) позволяет определить расстояние и промежуток времени между событиями, отстоящими на dx^μ.

Частная теория относительности устанавливает предельную скорость движения материальных тел и вообще распространения взаимодействий. Эта скорость совпадает со скоростью света в вакууме. Вместе с изменением представлений о пространстве и времени специальная теория относительности уточнила понятие массы, импульса, силы. В релятивистской механике, т. е. в механике, инвариантной относительно преобразо-

ваний Лоренца, инертная масса тела зависит от скорости:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}},$$

где m_0 — масса покоя тела.

Энергия тела $E=m_0c/\sqrt{1-(v/c)^2}$ и его импульс $p=m_0v/\sqrt{1-(v/c)^2}$ объединяются в 4-компонентный вектор энергии-импульса. Для сплошной среды можно ввести плотность энергии, плотность импульса и плотность потока импульса. Эти величины объединяются в 10-компонентную величину — тензор энергии-импульса $T_{\mu\nu}$. Все компоненты $T_{\mu\nu}$ подвергаются совместному преобразованию при переходе от одной системы координат к другой.

Релятивистская теория электромагнитного поля (электродинамика) значительно богаче электростатики, справедливой лишь в пределе медленных движений зарядов. В электродинамике происходит объединение электрического и магнитного полей. Учёт конечной скорости распространения изменений поля и запаздывания в передаче взаимодействия приводит к понятию электромагнитных волн, которые уносят энергию из излучающей системы.

Аналогично релятивистская теория тяготения оказалась сложнее ньютоновской. Гравитационное поле движущегося тела обладает рядом свойств, подобных свойствам электромагнитного поля движущегося заряженного тела в электродинамике. Гравитационное поле на большом расстоянии от тел зависит от положения и движения тел в прошлом, поскольку гравитационное поле распространяется с конечной скоростью. Становится возможным излучение и распространение гравитационных волн (см. *Гравитационное излучение*). Релятивистская теория тяготения, как и можно было предполагать, оказалась нелинейной.

Кривизна пространства-времени в ОТО

Согласно принципу эквивалентности, никакими наблюдениями, используя любые законы природы, нельзя отличить ускорение, создаваемого однородным полем тяготения, от ускорения движущейся системы координат. В однородном гравитационном поле можно добиться равенства нулю ускорения всех частиц, помещённых в данную область пространства, если рассматривать их в системе координат, свободно падающей вместе с частицами. Такую систему координат представляют мысленно в виде лаборатории с жёсткими стенками и находящимися в ней часами. Иначе обстоит дело в неоднородном гравитационном поле, в котором соседние свободные частицы обладают относительными ускорениями. Они будут двигаться с ускорением, пусть и небольшим, относительно центра лаборатории (системы координат), и такую систему координат следует признать лишь локально инерциальной. Считать систему координат инерциальной можно только в той области, где допустимо пренебречь относительными ускорениями частиц. Следовательно, в неоднородном гравитационном поле лишь в малой области пространства-времени и с ограниченной точностью можно рассматривать пространство-время как плоское и пользоваться формулой (3) для определения интервала между событиями.

Невозможность ввести инерциальную систему координат в неоднородном гравитационном поле делает все мыслимые системы координат более или менее равноправными. Уравнения гравитационного поля должны быть записаны так, чтобы они были справедливы во всех координатных системах, без предпочтения какой-либо из них. Отсюда и название для релятивистской теории тяготения — общая теория относительности.

Гравитационные поля, создаваемые реальными телами, такими как Солнце или Земля, всегда неоднородны. Их называют истинными, или неустранимыми, полями. В таком гравитационном поле никакая локально-инерциальная система координат не может быть распространена на всё пространство-время. Это означает, что интервал ds^2 не может быть приведён к виду (3) во всём пространственно-временном континууме, т. е. пространство-время не может быть плоским. Эйнштейн пришёл к радикальной идее отождествить неоднородные гравитационные поля с кривизной пространства-времени. С этих позиций гравитационное поле любого тела можно рассматривать как искажение этим телом геометрии пространства-времени.

Основы математического аппарата геометрии пространства, обладающего кривизной (неевклидовой геометрии), были заложены в трудах Н. И. Лобачевского, Я. Бойяи, К. Гаусса и Г. Римана. В неевклидовой геометрии искривлённое пространство-время характеризуется метрическим тензором $g_{\mu\nu}$ входящим в выражение для инвариантного интервала:

$$ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu \qquad (5)$$

Частным случаем этого выражения является формула (4). Имея набор функций $g_{\mu\nu}$, можно поставить вопрос о существовании таких координатных преобразований, которые перевели бы (5) в (3), т. е. позволили бы проверить, не является ли пространство-время плоским. Искомые преобразования осуществимы тогда и только тогда, когда некоторый тензор, составленный из функций $g_{\mu\nu}$ квадратов их первых производных и вторых производных, равен нулю. Этот тензор называют тензором кривизны $R_{\mu\nu\alpha\beta}$. В общем случае он, естественно, не равен нулю.

Набор величин $R_{\mu\nu\alpha\beta}$ используют для инвариантного, не зависящего от выбора системы координат, описания геометрических свойств искривлённого пространства-времени. С физической точки зрения тензор кривизны, выражаясь через вторые производные от гравитационных потенциалов $g_{\mu\nu}$, описывает приливные ускорения в неоднородном гравитационном поле. Тензор кривизны — величина размерная, его размерность — квадрат обратной длины. Кривизне в каждой точке пространства-времени соответствуют характерные длины — радиусы кривизны $\mathfrak{R}$. В малой пространственно-временной области, окружающей данную точку, искривлённое пространство-время неотличимо от плоского с точностью до малых членов $(l/\mathfrak{R})^2$, где l — характерный размер области. В этом смысле кривизна мира обладает теми же свойствами, что, скажем, и кривизна земного шара: в малых областях она несущественна. Тензор кривизны в данной точке нельзя «уничтожить» никакими преобразованиями координат. Однако в определённой системе координат и с заранее известной точностью поле тяготения в малой области пространства-времени можно считать отсутствующим. В этой области все законы физики приобретают ту форму, которая согласуется с частной теорией относительности. Так проявляет себя принцип эквивалентности, положенный в основу теории тяготения при её построении.

Метрический тензор пространства-времени, и в частности кривизна мира, доступен экспериментальному определению. Чтобы доказать кривизну земного шара, надо располагать маленьким «идеальным» масштабом и с его помощью измерить расстояние между достаточно удалёнными точками поверхности. Сопоставление измеренных расстояний укажет на отличие реальной геометрии от евклидовой. Подобным же образом геометрию пространства-времени можно установить путём измерений, выполняемых с помощью «идеальных» линеек и часов. Естественно предположить вслед за Эйнштейном, что свойства маленького «идеального» атома не зависят от того, в какую точку мира он помещён. Поэтому, произведя, например, измерение сдвига частоты света (определив гравитационное красное смещение), можно в принципе определить метрический тензор пространства-времени и его кривизну.

Уравнения Эйнштейна

Путём суммирования тензора кривизны $R_{\mu\nu\alpha\beta}$ с метрическим тензором можно образовать симметричный тензор $R_{\mu\nu}=g^{\alpha\beta}R_{\mu\alpha\nu\beta}$, имеющий столько же компонентов, сколько и тензор энергии импульса $T_{\mu\nu}$ материи, которая служит источником гравитационного поля.

Эйнштейн предположил, что уравнения гравитации должны устанавливать

связь между $R_{\mu\nu}$ и $T_{\mu\nu}$. Кроме того, он учёл, что в гравитационном поле должны выполняться уравнения непрерывности для материи аналогично тому, как выполняется уравнение непрерывности тока в электродинамике. Такие уравнения выполняются автоматически, если уравнения гравитационного поля написать так:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} \Re = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}. \qquad (6)$$

Это и есть уравнения Эйнштейна, полученные им в 1916 г. Эти уравнения вытекают также из вариационного принципа, что независимо показал немецкий математик Давид Гильберт.

Уравнения Эйнштейна выражают связь между распределением и движением материи, с одной стороны, и геометрическими свойствами пространства-времени — с другой.

В уравнениях (6) в левой части стоят компоненты тензора $R_{\mu\nu}$, описывающего геометрию пространства-времени, а в правой — компоненты тензора энергии-импульса $T_{\mu\nu}$, описывающего физические свойства вещества и полей (источников гравитационного поля). Величины $g_{\mu\nu}$ — не просто функции, описывающие гравитационное поле, но вместе с тем — компоненты метрического тензора пространства-времени.

Эйнштейн писал, что бóльшая часть его работ (частная теория относительности, квантовая природа света) шла в русле актуальных проблем своего времени. Они были бы сделаны другими учёными с опозданием не более 2–3 лет, если бы их не сделал он сам. Для ОТО Эйнштейн делал исключение и писал, что релятивистская теория тяготения, возможно, задержалась бы на 50 лет. Этот прогноз, по существу, оправдался, так как именно в 1960-е гг. появились новые общие методы теории поля и возник другой подход к нелинейной теории тяготения, исходящий из понятия поля, заданного в плоском пространстве-времени. Было показано, что такой путь приводит к тем же уравнениям, к которым пришёл Эйнштейн на основе геометрической интерпретации тяготения.

Следует подчеркнуть, что именно в астрономии и космологии встречаются вопросы, в которых геометрический подход является предпочтительным. В качестве примера можно указать космологическую теорию пространственно-замкнутой Вселенной, а также теорию чёрных дыр. Поэтому теория Эйнштейна, опирающаяся на геометрические понятия, полностью сохраняет своё значение.

В геометрической интерпретации движение материальной точки в гравитационном поле представляет собой движение по 4-мерной траектории — геодезической линии пространства-времени. В мире, обладающем кривизной, геодезическая линия обобщает понятие прямой линии в евклидовой геометрии. Уравнения движения вещества, содержащиеся в уравнениях Эйнштейна, сводятся к уравнениям геодезических линий для точечных тел. Тела (частицы), которые нельзя считать точечными, отклоняются в своём движении от геодезических линий и испытывают действие приливных сил.

Слабые гравитационные поля и наблюдаемые эффекты

Поле тяготения большинства астрономических объектов является слабым. Примером может служить гравитационное поле Земли. Чтобы тело навсегда покинуло Землю, ему надо придать у поверхности Земли скорость 11,2 км/с, т. е. скорость малую по сравнению со скоростью света. Другими словами, гравитационный потенциал Земли мал по сравнению с квадратом скорости света, что и служит критерием слабости гравитационного поля.

В приближении слабого поля из уравнений ОТО вытекают законы ньютоновской теории тяготения и механики. Эффекты ОТО в таких условиях представляют собой лишь незначительные поправки.

Простейшим эффектом, хотя и трудным для наблюдений, является замедление течения времени в гравитационном поле, или, в более распространённой формулировке, эффект сдвига частоты света. Если световой сигнал с частотой ν_1 испущен в точке со значением гравитационного потенциала φ_1 и принят с частотой ν_2 в точке со значением потенциала φ_2 (где есть точно такой же излучатель для сравнения частоты), то должно выполняться равенство $(\nu_2 - \nu_1)/\nu_1 = (\varphi_1 - \varphi_2)/c_2$. Эффект гравитационного смещения частоты света был предсказан Эйнштейном ещё в 1911 г. на основании закона сохранения энергии фотона в гравитационном поле. Он надёжно установлен в спектрах звёзд, измерен с точностью до 1% в лаборатории и с точностью до $2 \cdot 10^{-4}$ в условиях космического полёта. В наиболее точном эксперименте использовался водородно-мазерный стандарт частоты, который был установлен на космической ракете, поднявшейся до высоты 10 тыс. км. Другой такой же стандарт был установлен на Земле. Сравнение их частот производилось на разных высотах. Результаты подтвердили предсказываемое изменение частоты.

Согласно ОТО, траектория фотона, движущегося в поле тяготения сферического тела, подвержена искривлению (исключение составляет лишь радиальное движение). Это явление называют эффектом искривления световых лучей. В частности, свет от далёких звёзд, проходящий вблизи Солнца, должен отклоняться на угол $\alpha = 2r_g/r = 4GM_\odot/c^2R_0 \approx 1{,}75''$, где R_0 — минимальное расстояние луча света от центра Солнца. Этот вывод был впервые подтверждён во время солнечного затмения экспедицией английских астрономов под руководством Артура Эддингтона в 1919 г.

Точность первых наблюдений была невелика. В последние годы радиоинтерферометрические наблюдения квазаров подтвердили эффект отклонения радиоволн с точностью до 1%. В этих наблюдениях определяются угловые расстояния между несколькими квазарами в тот период года, когда они видны вблизи Солнца, а также, для сравнения, в периоды, когда они далеки от него. Этот метод, в отличие от оптических наблюдений звёзд, не требует проведения наблюдений только в моменты полных солнечных затмений. Источником ошибок в этом методе могло бы служить то, что солнечная корона отклоняет радиоволны сильнее, чем гравитационное поле Солнца. Однако частотная зависимость этого отклонения (в отличие от не зависящего от частоты гравитационного отклонения) позволяет устранить возможные ошибки путём наблюдений эффекта на разных радиочастотах. Этот эффект лежит также в основе явления гравитационной линзы (см. *Гравитационная линза*).

При прохождении вблизи тяготеющего тела электромагнитный сигнал испытывает релятивистскую задержку во времени распространения. По своей физической природе этот эффект подобен предыдущему. По радионаблюдениям планет и особенно межпланетных зондов эффект задержки совпадает с расчётным значением в пределах 0,1%.

Наиболее важным с точки зрения проверки ОТО является поворот орбиты тела, обращающегося вокруг тяготеющего центра (его называют также эффектом сдвига перигелия). Этот эффект позволяет выявить нелинейный характер релятивистского гравитационного поля. Согласно ньютоновской небесной механике, движение планет вокруг Солнца описывается уравнением эллипса: $r = p/(1 + e\cos\theta)$, где $p = a(1 - e^2)$ — параметр орбиты, a — большая полуось, e — эксцентриситет. С учётом релятивистских поправок траектория имеет вид: $r = p/[1 + e\cos(1 - 3GM_\odot/pc^2)\theta]$. За каждый оборот планеты вокруг Солнца большая ось её эллиптической орбиты поворачивается в направлении движения на угол $\Delta\theta = 6\pi GM_\odot/pc^2$. Для Меркурия релятивистский угол поворота составляет $\approx 43''$ в столетие. Тот факт, что угол поворота накапливается с течением времени, облегчает возможность наблюдения этого эффекта. За один оборот угол поворота большой оси орбиты столь незначителен ($\sim 0{,}1''$), что его обнаружение существенно усложняется искривлением лучей света в пределах Солнечной системы. Тем не менее современные радиолокационные данные подтверждают релятивистский эффект сдвига перигелия Меркурия с точностью $\approx 1\%$.

Перечисленные эффекты называют классическими. Возможна проверка и других предсказаний ОТО, например прецессии оси гироскопа в слабом гравитационном поле Земли. Этот эффект также был проверен с помощью запущенного в 2004 г. спутника «Gravity Probe B» (NASA и Стэнфордский университет), имевшего на борту сверхпроводящий гироскоп и небольшой телескоп для фиксации направления на далёкую звезду. Эффект подтверждён с точностью лучше 1%.

Релятивистские эффекты используются не только для проверки теории, но и для уточнения астрофизических параметров, например для определения массы компонентов двойных звёзд. Так, в двойной системе, включающей пульсар PSR 1913+16, наблюдается эффект сдвига перигелия, что позволило определить суммарную массу компонентов системы с точностью ≈ 1%. Даже при эксплуатации некоторых технических систем уже приходится учитывать релятивистские эффекты. Так, в системах глобального позиционирования (например, в популярной системе GPS), основанных на регистрации времени прихода сигналов точных часов, размещённых на спутниках Земли, нужно учитывать изменение темпа хода часов на орбите по сравнению с поверхностью планеты.

Уравнения движения тел с учётом релятивистских эффектов известны с большой точностью. По наблюдаемым изменениям в орбитальном движении двойных звёзд (тесных пар) можно в принципе выявить потери энергии системы на излучение гравитационных волн. Такие изменения в виде систематического уменьшения орбитального периода были обнаружены в системе с пульсаром PSR 1913+16. Поскольку другие причины для векового изменения орбиты, по оценкам, несущественны, полагают, что это служит экспериментальным подтверждением существования гравитационного излучения и справедливости формулы для его расчёта. Специфические эффекты ОТО становятся доминирующими в сильных гравитационных полях, например в окрестности нейтронных звёзд и чёрных дыр, а также вблизи космологической сингулярности.

Тяготение и квантовая физика

Уравнения Эйнштейна включают классическое гравитационное поле, характеризуемое компонентами метрического тензора $g_{\mu\nu}$ и тензор энергии-импульса материи $T_{\mu\nu}$. Для описания движения тяготеющих тел квантовая природа материи, как правило, не важна. Причина в том, что обычно исследователи имеют дело с гравитационным взаимодействием макроскопических тел, состоящих из огромного числа атомов и молекул. Квантовомеханическое описание движения таких тел практически неотличимо от классического. Наука пока ещё не обладает экспериментальными данными о гравитационном взаимодействии в условиях, когда становятся существенными квантовые свойства частиц, взаимодействующих с гравитационным полем, и квантовые свойства самого гравитационного поля.

Квантовые процессы с участием гравитационного поля, безусловно, важны в космосе (см. *Космология*, *Чёрные дыры*), и, возможно, они станут доступными изучению также в лабораторных условиях. Объединение теории тяготения с квантовой теорией — одна из важнейших задач физики, к решению которой уже приступили.

В обычных условиях влияние гравитационного поля на квантовые системы чрезвычайно мало. Чтобы возбудить атом внешним гравитационным полем, относительное ускорение, создаваемое этим полем на расстоянии «радиуса атома водорода» $a \approx 10^{-8}$ см и приблизительно равное $ac^2/\mathfrak{R}_\oplus^2$, должно было бы быть сравнимо с ускорением, с которым движется электрон в атоме, $\sim e^4/a\hbar^2$. (Здесь $\mathfrak{R}_\oplus$ — радиус кривизны гравитационного поля Земли, равный $\mathfrak{R}_\oplus = R_\oplus(c^2R_\oplus/GM_\oplus)^{1/2} \approx 10^{13}$ см.) В гравитационном поле Земли с запасом в 10^{19} это соотношение не выполняется, следовательно, атомы в земных условиях под действием гравитации не возбуждаются и не испытывают сдвигов энергетических уровней.

Тем не менее в некоторых условиях вероятность переходов в квантовой системе под действием гравитационного поля может быть заметной. Именно на этом принципе основаны некоторые современные предложения по детектированию гравитационных волн. В специально созданных (макроскопических) квантовых системах переход между соседними квантовыми уровнями может произойти даже под воздействием весьма слабого переменного поля гравитационной волны. Примером такой системы может служить электромагнитное поле в полости с хорошо отражающими стенками. Если первоначально в системе было N квантов поля, т. е. фотонов ($N \gg 1$), то под воздействием гравитационного волны их число с заметной вероятностью может измениться и стать равным $N+2$ или $N-2$. Другими словами, возможны переходы с энергетического уровня N на уровни $N \pm 2$, и они в принципе доступны для обнаружения.

Особенно важна роль интенсивных гравитационных полей. Такие поля, вероятно, существовали в начале расширения Вселенной, вблизи космологической сингулярности и могут возникать на поздних стадиях гравитационного коллапса. Высокая интенсивность этих полей проявляется в том, что они способны проводить к наблюдаемым эффектам (рождению пар частиц) даже в отсутствие атомов, реальных частиц или фотонов. Эти поля оказывают эффективное воздействие на физический вакуум — физические поля в низшем энергетическом состоянии. В вакууме, благодаря флуктуациям квантованных полей, постоянно возникают и исчезают так называемые виртуальные, реально не наблюдаемые частицы. Если интенсивность внешнего гравитационного поля столь велика, что на расстояниях, характерных для квантовых полей и частиц, оно способно производить работу, превосходящую энергию пары частиц, то в результате может произойти рождение пары частиц — превращение их из виртуальной пары в реальную. Необходимым условием этого процесса должна быть сравнимость характерного радиуса кривизны $\mathfrak{R}$, описывающего интенсивность гравитационного поля, с комптоновской длиной волны $\lambda_C = \hbar/mc$, сопоставляемой частицам с массой покоя m. Аналогичное условие должно выполняться для безмассовых частиц с тем, чтобы был возможен процесс рождения пары квантов с энергией $\hbar\nu$.

В упомянутом выше примере полости, содержащей электромагнитное поле, этот процесс аналогичен переходу с вероятностью, сравнимой с единицей, из вакуумного состояния $N=0$ в состояние, описывающее два кванта, $N=2$. В обычных гравитационных полях вероятность таких процессов ничтожно мала. Однако в космосе они могли приводить к рождению частиц в очень ранней Вселенной, а также к квантовому «испарению» чёрных дыр малой массы (так называемый эффект Хокинга — см. *Чёрные дыры*).

Интенсивные гравитационные поля, способные существенно влиять на нулевый флуктуации других физических полей, должны столь же эффективно воздействовать и на собственные нулевые флуктуации. Если возможен процесс рождения квантов физических полей, то с той же вероятностью (а в некоторых случаях с ещё большей вероятностью) должен быть возможен процесс рождения квантов самого гравитационного поля — гравитонов. Строгое и исчерпывающее рассмотрение таких процессов возможно лишь на основе квантовой теории тяготения. Такая теория ещё не создана. Применение к гравитационному полю тех же идей и методов, которые привели к успешному построению квантовой электродинамики, наталкивается на серьёзные трудности. Сейчас ещё не ясно, какими путями пойдёт развитие квантовой теории тяготения. Несомненно одно — важнейшим способом проверки таких теорий будет поиск предсказываемых теорией явлений в космосе.

У

УБЫВАЮЩАЯ ЛУНА или планета — фаза Луны, а также планет Меркурий и Венера, при которой освещено более половины диска планеты, но освещённая часть

при этом постепенно сокращается. Луна в промежутке между полнолунием и последней четвертью называется убывающей, или ущербной. Внешние планеты, за исключением моментов противостояния, всегда находятся либо в убывающей, либо в растущей фазе. В случае внешних планет фазы, заметно отличающиеся от полной, наблюдаются только у Марса.

УВЕЛИЧЕНИЕ ТЕЛЕСКОПА – отношение углового размера объекта, наблюдаемого через телескоп, к его угловому размеру при наблюдении невооружённым глазом. У простого телескопа системы Кеплера увеличение равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Термин «увеличение» часто дополняют или заменяют термином «кратность», а в обозначениях – знаком «×». Например, говорят о 200-кратном увеличении или 150× телескопе. При типичных условиях наблюдений обычно используют увеличение от 50× до 500×.

УВЛЕЧЕНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ – физическое явление, состоящее в том, что пространство-время вокруг вращающегося тела вовлекается в его вращение. Другое название – эффект Лензе–Тирринга.

УГЛЕРОДНАЯ ДЕТОНАЦИЯ В ЗВЕЗДЕ – взрывообразное термоядерное возгорание углерода в вырожденном ядре звезды-сверхгиганта (аналог гелиевой вспышки, но с участием углерода, а не гелия). Углеродная детонация, по-видимому, характерна для звёзд с массой от 8 до 10 $M_\odot$. Взрывообразное загорание углерода в ядре сверхгиганта может привести к взрыву звезды как сверхновой типа II.

УГЛОВАЯ МИНУТА, или минута дуги (англ. arc minute), – мера угла, равная $^1/_{60}$ углового градуса, обозначается как ′, например 5′ = 5 угловых минут.

УГЛОВАЯ СЕКУНДА, или секунда дуги (англ. arcsecond или second of arc) – мера угла, равная $^1/_{3600}$ углового градуса, обозначается как ″, например 7″ = 7 угловых секунд.

УГЛОВОЙ ГРАДУС – мера угла, равная $^1/_{360}$ полной окружности или 0,017453... радиана.

УГЛОВОЙ ДИАМЕТР – видимый на небесной сфере диаметр объекта, измеренный в угловых единицах (радианы, градусы, минуты дуги, секунды дуги, угловые часы, минуты и секунды). Если угол, под которым виден объект, мал, то его угловой диаметр в радианах с большой точностью равен отношению линейного диаметра объекта к расстоянию до него. Поэтому, зная угловой диаметр и расстояние до объекта, можно вычислить его истинный линейный диаметр. Объекты на разных расстояниях (например, Солнце и Луна) могут иметь близкие угловые диаметры и в то же время значительно различаться по своим истинным размерам.

УДЛИНИТЕЛЬ ФОКУСА – то же, что линза Барлоу.

УЗКОПОЛОСНАЯ ФОТОМЕТРИЯ – фотометрические измерения в оптическом диапазоне, для которых используются светофильтры с полосами пропускания шириной 10 нм или ещё уже.

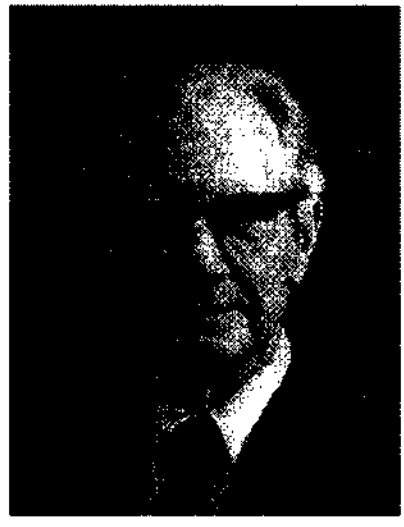
УЗКОПОЛОСНЫЙ ФИЛЬТР – полосовой фильтр с очень узкой полосой пропускания. В оптическом диапазоне типичная ширина полосы пропускания узкополосных фильтров составляет несколько нанометров или менее. Примеры – эталон Фабри–Перо, фильтр Hα, фильтр Лио, монохроматор.

УЗЛЫ ОРБИТЫ – две точки, в которых орбита пересекает базисную плоскость. Для членов Солнечной системы этой плоскостью обычно служит эклиптика (реже – небесный экватор). Тот узел, через который тело переходит из южного полушария в северное, называют восходящим, противоположный – нисходящим. У визуально-двойной звезды узлами являются точки пересечения орбиты и картинной плоскости (т. е. плоскости, перпендикулярной лучу зрения); при прохождении восходящего узла вторичный компонент системы движется к наблюдателю.

УИЛСОН, Роберт Вудроу (Wilson, Robert Woodrow) (р. 10.01.1936, Хьюстон, шт. Техас, США) – американский астроном. Нобелевская премия по физике (совместно с А. Пензиасом, 1978) за открытие (1965) микроволнового реликтового излучения Вселенной. Изучает молекулярный и изотопный состав межзвёздного газа.

УИППЛ (Уипл), Фред Лоуренс (Whipple, Fred Lawrence) (5.11.1906, Ред Оук, шт. Айова, США, – 30.08.2004, Кембридж, шт. Массачусетс, США) – американский астроном. В 1927 г. окончил Калифорнийский университет в Лос-Анжелесе. В 1927–1929 гг. преподавал в Калифорнийском университете в Беркли и там же в 1931 г. защитил диссертацию. В 1930–1931 гг. работал в Ликской обсерватории, а с 1931 г. – в Гарвардском университете: с 1945 г. профессор астрономии, с 1950 г. Филипсовский профессор астрономии. С 1955 г. до ухода на пенсию в 1973 г. был директором Смитсоновской астрофизической обсерватории. С 1959 г. член Национальной АН США.

Изучал кометы, метеоры, планетарные туманности, эволюцию звёзд и Солнечной системы. Открыл шесть новых комет, одна из которых, периодическая комета 1933 IV, названа его именем (36P/Whipple). Выполнил многочисленные исследования верхней атмосферы путём фотографических и радионаблюдений метеоров; в 1962–1973 гг. руководил программой NASA фотографирования метеоров и поиска выпавших на Землю метеоритов. В 1958–1972 гг. был научным консультантом NASA и руководителем многих работ этой организации; службы оптического слежения за искусственными спутниками Земли, проектов долговременных орбитальных астрономических станций и проч. Уиппл одним из первых оценил результаты пионерских радиоастрономических открытий Карла Янского; совместно с Дж. Л. Гринстейном теоретически рассмотрел возможную природу космического радиоизлучения.



Фред Уиппл

Наибольшую известность получили работы Уиппла о природе комет. В 1950-е гг. он предложил модель ядра кометы как смеси льдов воды и других летучих соединений с вкраплёнными в него тугоплавкими частицами метеорного вещества («модель грязного снежного кома»). С приближением кометы к Солнцу летучие вещества испаряются и уносят с собой твёрдые частицы, формируя газовый и пылевой хвосты кометы. Основываясь на этой модели, Уиппл смог объяснить загадочные «негравитационные силы», которые проявляются, с точки зрения небесной механики, в движении ядер комет. «Виновником» этих сил оказался реактивный эффект, вызванный интенсивным испарением газа с поверхности ядра кометы. Вращение ядра вокруг своей оси, а также неровность его поверхности и неоднородность структуры приводят к тому, что газ выбрасывается в виде отдельных струй, оказывая несимметричное давление на ядро и «сталкивая» его с невозму-

щённой орбиты. Например, у короткопериодической кометы Энке (2P/Encke) после каждого оборота период (3,3 года) сокращается на 3 часа. А у кометы Галлея (1P/Halley), напротив, за каждый оборот период (76 лет) возрастает примерно на 3 сут. Каждая из них, проходя мимо Солнца, теряет от 0,25% до 0,5% своей массы, а значит, должна полностью испариться через несколько сотен оборотов. Поэтому комета Энке просуществует всего несколько столетий, а комета Галлея – не более нескольких тысячелетий. Это значительно меньше возраста Солнечной системы, следовательно, резервуар короткопериодических комет постоянно пополняется из внешних областей пространства, предположительно – из облака Оорта и пояса Койпера.

Модель кометного ядра непрерывно развивали многие астрономы и сам Уиппл. Было предложено много её вариантов, например, модель «кучи камней», модель «ледяного клея», фрактальная модель, но изучение с близкого расстояния ядра кометы Галлея в 1986 г. показало, что классическая модель «грязного снежного кома» наилучшим образом согласуется с наблюдениями. Единственное важное её уточнение было предложено в 1972 г. советским астрономом Л. М. Шульманом и позже дополнено работами Уиппла и Б. Донна; оно состоит в том, что поверхность ледяного ядра под действием космических лучей и дегазации от солнечного тепла должна покрыться твёрдой корой (пылевой мантией), которая действительно была обнаружена у ядра кометы Галлея.

Уиппл – автор многих книг, в том числе и переведённых на русский язык (Уиппл Ф. Земля, Луна и планеты, 1948, 1967; Уипл Ф. Л. Семья Солнца, 1984). Он член многих академий и научных обществ; награждён медалями им. Дж. Лоуренса Смита (1949) и им. Донохью Национальной АН США, Золотой медалью Лондонского королевского общества (1983) и многими другими. Его именем названа обсерватория в шт. Аризона, на горе Хопкинс, оборудованная 6,5-метровым телескопом.

«УЛИСС» (англ. Ulysses) – межпланетный зонд, созданный совместно NASA и ESA и предназначенный для исследования полярных областей Солнца, межпланетного вещества, солнечного ветра и, как попутная задача, Юпитера. Вначале этот проект назывался «Международной миссией солнечных полюсов» (International Solar Polar Mission). В его рамках предполагалось запустить два одинаковых зонда к Юпитеру, которые должны были облететь планету с разных сторон и одновременно выйти один к северному, а другой к южному полюсам Солнца. Но из-за недостатка средств был построен только один аппарат «Улисс», который и был запущен 6 октября 1990 г. с борта шаттла «Дискавери» (NASA).

Полная масса аппарата 370 кг (55 кг научных приборов), размеры 3,2×3,3×2,1 м. Научное оборудование зонда обеспечивает измерение характеристик космической пыли, космических лучей, солнечного ветра, характеристик плазмы и магнитного поля. Фото- и телекамер аппарат не имеет. Источником электроэнергии служит радиоизотопный термоэлектрический генератор на плутонии-238. Аппарат проработал более 17 лет, что вчетверо превысило расчётный срок эксплуатации. Официально об окончании экспедиции было объявлено 1 июля 2008 г.; причина – недостаточная выработка энергии, необходимой для поддержания ориентации аппарата на Землю. Однако «Улисс» оставался работоспособен. Окончательное отключение питания бортовой радиоаппаратуры состоялось 30 июня 2009 г.

«Улисс» стал первым зондом, высоко поднявшимся над плоскостью эклиптики, что позволило взглянуть на Солнце со стороны полюсов и построить более точную модель околосолнечного пространства. Непосредственное выведение аппарата на полярную околосолнечную орбиту потребовало бы слишком больших затрат топлива. Поэтому был использован гравитационный манёвр в поле притяжения Юпитера, что позволило получить ряд ценных сведений и о самой планете. 8 февраля 1992 г. «Улисс» прошёл на высоте шести радиусов планеты над Юпитером и за счёт её притяжения вышел из плоскости эклиптики.

Сначала зонд облетел Солнце со стороны южного полюса (с мая по сентябрь 1994), а затем со стороны северного полюса (с мая по сентябрь 1995). Эти исследования проводились в период солнечного минимума. Следующее прохождение полярных областей Солнца пришлось на сентябрь–декабрь 2000 г. (южный полюс) и 2001 г. (северный полюс). Эти исследования пришлись на период солнечного максимума.

В связи с тем, что в феврале 2004 г. миссия была продлена до марта 2008 г. (а в ноябре 2007 г. – до марта 2009 г.), «Улисс» получил возможность совершить ещё один виток вокруг Солнца. Южный полюс он прошёл в ноябре 2006 г. – апреле 2007 г., а с января 2008 г. начал исследование северного полюса. В процессе полёта зонд несколько раз проходил через газовые хвосты комет (C/1996 B2 Хиякутаке, C/1999 T1 Макнота–Хартли, C/2000 S5 и C/2006 P1 Макнота).

УЛУГБЕК (Мирза [позже Султан] Мухаммед ибн Шахрух ибн Тимур Улугбек Гураган) (22.03.1394, Сольтание или Султания, Персия, ныне Иран, – 27.10.1449, Самарканд, Узбекистан) – правитель тюркской державы Тимуридов со столицей в Самарканде (с 1409), сын Шахруха, внук завоевателя Тимура (Тамерлана), выдающийся астроном и математик. Создал (1425) крупную обсерваторию, с невиданной ранее точностью составил первый после Гиппарха каталог 1018 звёзд.

УЛЬТРАФИОЛЕТ, ультрафиолетовое излучение, УФ-излучение – коротковолновый (высокочастотный) участок электромагнитного излучения, примыкающий к видимому диапазону в своей длинноволновой части и к рентгеновскому диапазону в области коротких длин волн. Длины волн ультрафиолетового излучения лежат в пределах от 350 до 1 нм, а соответствующие им частоты – в диапазоне от $8{,}6\cdot10^{14}$ до $3\cdot10^{17}$ Гц. Энергия фотонов ультрафиолетового излучения составляет от 3,5 до 10^3 эВ.

Излучение космических объектов, за исключением наиболее длинноволновой части УФ-диапазона, наблюдается только за пределами атмосферы. УФ-излучение с длиной волны менее 91,2 нм (912 Å) ионизирует межзвёздный водород и приводит к образованию светлых туманностей. Самый мощный поток УФ-лучей приходит на Землю от Солнца. Он рождается в горячих слоях солнечной атмосферы и оказывает сильное влияние на разреженные слои земной атмосферы. Мощными природными источниками УФ-лучей служат горячие звёзды – голубые сверхгиганты. Исследование УФ-излучения даёт важнейшую информацию о горячих телах Вселенной и их влиянии на окружающий газ.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ АСТРОНОМИЯ – исследование космических объектов в диапазоне волн длиной от 10 до 350 нм. Ультрафиолетовый диапазон подразделяют на ближний (200–350 нм) и дальний, или вакуумный (10–200 нм); последний так назван потому, что интенсивно поглощается атмосферой и может исследоваться только в условиях вакуума, с борта космических аппаратов. Наблюдения в ближнем УФ-диапазоне можно осуществлять из верхних слоёв атмосферы.

Оптические стёкла полностью поглощают коротковолновое излучение с $\lambda < 300$ нм. Кварцевые стёкла прозрачны до длин волн ≈ 170 нм. Таким образом, в ближнем УФ-диапазоне возможно создание телескопов-рефракторов, но при $\lambda < 170$ нм могут использоваться только рефлекторы.

Измерение спектральных линий ультрафиолетового диапазона используется для определения химического состава, плотности и температуры межзвёздной среды, а также температуры и состава молодых горячих звёзд и Солнца. Наблюдения в УФ-диапазоне позволяют получить важную информацию об эволюции галак-

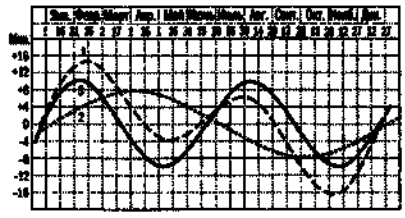
тик. Среди первых космических УФ-телескопов были ОАО-3 «Коперник» (1972), IUE (1978), «Астрон» (1983). В последние десятилетия в космосе непрерывно работают несколько УФ-телескопов различного «калибра»: от телескопа «Хаббл» диаметром 2,4 м до телескопов GALEX (Galaxy Evolution Explorer) диаметром 0,5 м и FUSE (Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer) диаметром 0,4 м. На некоторых спутниках стоят УФ-телескопы ещё меньшего диаметра для исследования Солнца и вспыхивающих источников.

Особенностью космических УФ-телескопов является их длительный срок службы. В отличие от ИК-телескопов, они не нуждаются в глубоком охлаждении с помощью испаряющихся жидкостей (водорода, гелия), поэтому длительность их активного функционирования порой достигает 20 лет.

УМБРИЭЛЬ (U II, Umbriel) — естественный спутник Урана. Открыл его 24 октября 1851 г. Уильям Ласселл. Большая полуось орбиты 266 тыс. км. Орбитальный период 4,144 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0039. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,128°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Диаметр 1169 км. Масса около $1{,}17 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,39 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 23 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 520 м/с. Геометрическое альбедо 26%, альбедо Бонда 10%. Видимый блеск $14{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 20″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 75 К; максимальная 85 К.

УНЗОЛЬД, Альбрехт Отто Иоганнес (Unsöld, Albrecht Otto Johannes) (20.04.1905, Больхайм, Германия, — 23.09.1995) — немецкий астроном. Развил теорию звёздных атмосфер. Объяснил (1930) грануляцию солнечной поверхности как результат конвекции в слое частичной ионизации водорода. Автор фундаментальной монографии «Физика звёздных атмосфер» (1938, 1955, рус. пер. 1949).

УРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ — текущая разность между истинным и средним солнечным временем (т. е. разность прямых восхождений среднего и истинного Солнца). Вклад в эту разность дают два явления: неравномерное движение Земли по эксцентричной орбите (уравнение эксцентриситета, или уравнение центра) и наклон эклиптики к экватору (уравнение от наклона эклиптики), приводящий к тому, что даже при равномерном движении Солнца по эклиптике его прямое восхождение изменялось бы в течение года неравномерно. Амплитуда первого из них составляет ±8 минут, а второго ±10 минут.



Уравнение времени (1) и его составляющие: уравнение от эксцентриситета (2) и уравнение от наклона эклиптики (3)

В сумме это даёт уравнение времени с амплитудой около ±16 минут. Часто таблички с графиком уравнения времени располагают рядом с солнечными часами, что позволяет значительно точнее определять среднее солнечное время по положению тени гномона. См. также *Аналемма, Солнечные часы.*

УРАВНЕНИЕ САХА — уравнение, показывающее зависимость относительного числа атомов в данном состоянии ионизации от температуры. Уравнение Саха имеет вид:

$$\frac{N_{I+1}}{N_I} = \frac{2U_{I+1}}{U_I}\left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\chi_I/kT},$$

где индексы I и $I+1$ обозначают степень ионизации, N — плотность числа атомов, U — сумма по состояниям, m_e — масса электрона ($9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг), k — постоянная Больцмана ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T — температура, h — постоянная Планка ($6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с), χ_I — энергия, необходимая для изменения степени ионизации атома с I до $I+1$.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ — соотношение между давлением P, температурой T и удельным объёмом v (или плотностью ρ) физически однородной среды, находящейся в тепловом (термодинамическом) и механическом равновесии. Простейший вид имеет уравнение состояния идеального газа: $P = R\rho T/\mu$, где R — газовая постоянная, μ — молекулярная масса, т. е. средняя масса, приходящаяся на одну частицу (включая электроны), выраженная в атомных единицах массы (1 а. е. м. равна $^1/_{12}$ массы нуклида углерода ^{12}C, или $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг).

Молекулярная масса зависит от состава газа. Массы наиболее обильных элементов звёздного вещества — водорода ^{1}H и гелия ^{4}He — равны соответственно $A_H = 1{,}00783$ и $A_{He} = 4{,}00260$ а. е. м. При полной ионизации число частиц, получившихся из одного атома с атомным номером Z и массой A, равно $Z+1$ (ядро и Z электронов), откуда $\mu = A/(Z+1)$ для вещества, состоящего целиком из таких атомов. Для всех наиболее распространённых в звёздном веществе тяжёлых ($Z \gg 1$) элементов имеет место примерное равенство $A \approx 2Z$, поэтому при полной ионизации атомов $\mu \approx 2$. А когда вещество состоит из смеси водорода, гелия и тяжёлых элементов, массовые доли которых принято обозначать X, Y, Z (они нормированы так, что $X+Y+Z=1$), справедливо соотношение $\mu = (2X/A_H + 3Y/A_{He} + Z/2)^{-1}$. В астрофизических исследованиях часто используют более простую формулу: $\mu = 4A_H/(5X+3-Z)$, которая обычно служит хорошим приближением. Согласно данным наблюдений, для звёзд, за исключением очень старых, Z лежит в пределах от 0,02 до 0,04. Для наружных слоёв Солнца $X = 0{,}71$, $Y = 0{,}265$, $Z = 0{,}025$ и $\mu = 0{,}617$. Это уравнение применимо как к плазме в недрах звёзд, где кинетическая энергия частиц вследствие высокой температуры значительно превышает энергию взаимодействия, так и к холодной разреженной плазме межзвёздной среды, где частицы находятся на больших расстояниях друг от друга.

Применяя к звёздной плазме уравнение состояния идеального газа, пренебрегают тем самым тремя эффектами: вырождением газа, электростатическим взаимодействием частиц и давлением излучения. Первые два эффекта существенны при высоких плотностях и низких температурах (особенно в белых карликах и нейтронных звёздах), третий — при низких плотностях и высоких температурах (характерных, например, для звёзд спектрального класса О). Поэтому уравнение состояния идеального газа лучше всего описывает состояние вещества нормальных звёзд, находящихся в средней части главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга—Рассела, например состояние вещества Солнца.

Чтобы учесть вклад в уравнение состояния термодинамически равновесного излучения, нужно к давлению вещества прибавить давление излучения, равное $E_r/3$, где $E_r = aT^4$ — плотность энергии излучения, $a = 4\sigma/c = 7{,}564 \cdot 10^{-15}$ эрг/(см$^3 \cdot$К^4), где σ — постоянная Стефана—Больцмана.

Особенно сложным оказывается уравнение состояния сверхплотного и горячего звёздного вещества, возникающего при гравитационном коллапсе. Существенную роль при этом играют такие процессы, как нейтронизация вещества, диссоциация тяжёлых атомных ядер на свободные нуклоны, рождение электрон-позитронных пар, мезонов и гиперонов, появление различных сортов нейтрино. Для наружных слоёв холодных звёзд — красных гигантов и красных карликов — уравнение состояния также имеет сложный вид вследствие существования различных стадий ионизации атомов и возможности образования и диссоциации молекул. В астрофизике под уравнением состояния в широком смысле часто понимают всю совокупность зависимостей основных термодинамических величин (давления, удельной энергии, энтропии и др.) от температуры, плотности и химического состава вещества.

УРАВНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ – система уравнений, решения которых описывают кратчайшие пути (т. е. геодезические) между событиями в искривлённом пространстве-времени.

УРАВНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ – система уравнений в общей теории относительности, определяющая гравитационное поле (или кривизну пространства-времени) по распределению и движению материи. Эту систему называют также уравнениями Эйнштейна.

УРАВНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ – система четырёх уравнений, описывающих источники и поведение электрического и магнитного полей.

УРАН – планета Солнечной системы, седьмая от Солнца, удалённая от него на 2870 млн км = 19,2 а. е. (большая полуось орбиты). Планеты, расположенные ближе к Солнцу: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн – видны на небе Земли невооружённым глазом и принадлежат к числу наиболее ярких объектов. Но Уран практически виден только в телескоп (его звёздная величина около 5,8^m) и выглядит маленьким зеленоватым диском диаметром около 4″. Период обращения Урана вокруг Солнца – 84 года с небольшим. Его масса $8{,}663 \cdot 10^{25}$ кг (14,5 массы Земли); экваториальный радиус 25 559 км (4,01 радиуса Земли); средняя плотность 1,27 г/см^3. Тело планеты обладает заметным сжатием: её полярный радиус на 586 км меньше экваториального. По причине большого размера и массы Уран входит в группу планет-гигантов вместе с Юпитером, Сатурном и Нептуном.

В телескоп детали на диске Урана уверенным образом не различаются, но наблюдаются периодические колебания блеска, вызванные вращением. Ось вращения Урана лежит почти в плоскости его орбиты. Формально наклон оси относительно перпендикуляра к плоскости орбиты составляет 97,8°, что говорит об обратном направлении вращения планеты. Период осевого вращения 17 час 14 мин 24 с.

Спектроскопически в атмосфере Урана обнаружены водород H_2, метан CH_4, и ацетилен C_2H_2. Метан имеет полосы поглощения в красной области спектра, и его значительно больше над верхней границей облаков, чем на Юпитере и Сатурне. Это объясняет зеленоватую окраску планеты. Но основные составляющие атмосферы – это водород (88% объёма) и гелий (12%). Облака Урана состоят, по-видимому, из частиц замерзшего метана. Температура верхнего облачного слоя −14 °C. Под плотной атмосферой предположительно, находится протяжённая ледяная мантия и металло-силикатное ядро. При этом не следует понимать слово «ледяная» в привычном смысле: в основном мантия состоит из воды, аммиака и метана, образующих льды при физических условиях облачного покрова планеты.

Уран окружён тонкими пылевыми кольцами и системой из 27 спутников (данные 2011 г.), самые крупные из которых – Титания и Оберон – вдвое меньше Луны.

В 1986 г. космический аппарат «Вояджер-2» (NASA) пролетел на расстоянии около 120 тыс. км от Урана. Были переданы на Землю изображения самой планеты, её колец и спутников, исследовалась атмосфера планеты (дистанционно) и её магнитное поле. Напряжённость магнитного поля у видимой границы облаков около 0,25 Э. Удивительной является геометрия магнитного поля Урана: эквивалентный диполь удалён на расстояние 6000 км от центра планеты и наклонён на 60° к оси её вращения.

УРАНОГРАФИЯ (от греч. *ouranos* – небо и *grapho* – пишу) – описание звёздного неба (как оно представляется невооружённому глазу) и его разделение на созвездия.

УРКА-ПРОЦЕСС – механизм испускания электронных нейтрино (ν_e) и антинейтрино звёздным веществом при бета-взаимодействии электронов и позитронов с атомными ядрами. В результате урка-процесса тепловая энергия звёздного вещества уносится из звезды в виде нейтрино и антинейтрино, тогда как ядерный состав звёздного вещества остаётся неизменным (атомные ядра играют роль катализаторов). Хотя вероятность рождения нейтрино и антинейтрино мала, вероятность их выхода из звезды на много порядков величины превышает вероятность выхода фотонов (ведь нейтрино почти не поглощается и не рассеивается веществом), это и определяет важную роль потери энергии звездой за счёт различных механизмов образования нейтрино и антинейтрино на поздних стадиях эволюции звёзд.

В основном варианте урка-процесса атомное ядро захватывает электрон с испусканием нейтрино, превращаясь в неустойчивое ядро, которое затем испускает электрон и антинейтрино и вновь возвращается в исходное состояние. Энергия неустойчивого ядра выше, чем энергия системы из устойчивого ядра плюс свободный электрон на величину кинетической энергии электрона, которая берётся из энергии теплового движения вещества звезды. Конечным результатом процесса является превращение кинетической энергии захватываемых электронов в энергию пар нейтрино–антинейтрино, которые свободно уходят из звезды. При более высоких температурах, когда в больших количествах в равновесии присутствуют электрон-позитронные пары, возникает возможность обобщённого урка-процесса с захватом позитронов. Это эквивалентно превращению пары электрон–позитрон в пару нейтрино–антинейтрино, которая практически свободно покидает звезду, унося её энергию в невидимой для обычных телескопов форме. Впрочем, в недрах сжимающейся нейтронной звезды плотность вещества настолько велика, что даже нейтрино не могут легко оттуда выйти.

УСТАНОВКА МОНТИРОВКИ – процедура ориентации осей монтировки телескопа в пространстве, обеспечивающая правильное ведение телескопа за объектом. Небольшие современные телескопы, имеющие альт-азимутальную монтировку, как правило, продаются с соответствующим программным обеспечением, позволяющим выполнить установку монтировки. В этом случае процедура установки сводится к наведению на две звезды с известными координатами и выполнению инструкций производителя.

Экваториальная монтировка должна быть установлена так, чтобы её полярная ось была в точности параллельна оси вращения Земли. Если телескоп имеет окуляр с крестом нитей и координатные круги, то грубая установка монтировки выполняется путём установки координат Полярной звезды по координатным кругам, наведения на Полярную звезду и установки её на перекрестье нитей окуляра с использованием регулировочных винтов по азимуту и высоте и узла изменения наклона монтировки по широте места наблюдения. Даже в случае, когда монтировка не имеет координатных кругов, установка трубы телескопа параллельно полярной оси «на глаз» и выполнение вышеописанной процедуры наведения на Полярную звезду позволяет установить телескоп с точностью 1–2°. Некоторые промышленные телескопы комплектуются специальным искателем полюса, который крепится к монтировке для выполнения описанной процедуры установки на Полярную. Приспособление подобного рода существенно сокращает время установки и является незаменимым для переносных телескопов, установку которых необходимо выполнять каждый раз перед наблюдениями.

УТРЕННЯЯ ЗВЕЗДА – традиционное название Венеры в период, близкий к её наибольшей западной элонгации, когда её блеск близок к максимальному. В этот период Венера видна на востоке в предутренние часы перед восходом Солнца. А в период восточной элонгации Венеру называют «вечерней звездой», причём в некоторые эпохи эти две «звезды» считали разными светилами.

УФОЛОГИЯ – увлечение коллекционированием сообщений о наблюдениях не-

понятных для очевидцев природных явлений, как правило, небесных. Причастные к уфологии люди — уфологи — обычно пытаются истолковать эти явления с позиции визита на Землю инопланетян — внеземных разумных существ, связывая сам наблюдавшийся феномен с космическими кораблями пришельцев или оставшимися от них следами.

Уфология как массовое увлечение возникла в 1950-е гг. во многих странах на волне общественного интереса к НЛО. Термин «уфология» (*ufology или UFOlogy*) впервые появился в английском языке в 1959 г.; он происходит от аббревиатуры UFO (*unidentified flying object*), имеющей русский аналог — «НЛО», неопознанный летающий объект. В основном термины «уфология» и «уфолог» (англ. *ufologists*) используются средствами массовой информации; они не фигурируют в официальных перечнях научных дисциплин.

Невозможно однозначно определить, чем и как занимаются уфологи. Диапазон специалистов — учёных, инженеров, военных, а также любителей науки и техники, — интересующихся необычными явлениями, связанными с НЛО, весьма широк, а характер этого интереса очень неоднороден — от строгого научного исследования до параноидальных идей и откровенного шарлатанства. Как правило, уфологами называют себя люди, чей интерес к предметам и событиям, связанным, как они считают, с НЛО, проявляется с предвзятой точки зрения о состоявшемся визите на Землю представителей иных цивилизаций или иных, «параллельных» миров. Большинство специалистов — геофизиков, астрономов, инженеров авиационной и ракетной техники, изучающих редкие атмосферные и космические явления с научной точки зрения, избегает термина «уфология», имеющего оттенок профанации и некритического отношения к предмету исследования.

Основным занятием уфологов является сбор сообщений очевидцев неопознанных явлений и участников контактов с необычными разумными существами. Эти сообщения обычно поступают из средств массовой информации либо как прямые послания очевидцев в научные институты, в общественные организации уфологов и к активистам этого рода деятельности. Иногда уфологи посещают очевидцев загадочных событий и уточняют обстоятельства происшествия. Некоторые уфологи разрабатывают специальную аппаратуру для мониторинга неба с целью поиска НЛО. Другие занимаются историческими изысканиями, желая обнаружить описание событий, которые можно было бы интерпретировать как визит на Землю инопланетян. В среде уфологов есть люди, называющие себя «контактёрами» и утверждающие, что они физически или психически осуществляли контакт с пришельцами. Есть также люди, описывающие своё посещение «летающих тарелок» (внеземных космических кораблей) и путешествия на них вместе с пришельцами.

Среди самих уфологов существуют различные точки зрения относительно того, откуда и с какими намерениями прибывают на Землю упоминаемые очевидцами разумные существа. Местом их обитания, как правило, называют другие планеты нашей Галактики либо «параллельные миры», «четвёртое измерение», «духовные сферы» и т. п. Относительно их намерений также нет единогласия среди уфологов: целью визитов и контактов с землянами они называют как братское желание прийти нам на помощь, так и вражеские намерения похищать и использовать землян в корыстных целях и жестоких экспериментах.

Существуют общественные организации уфологов — национальные и международные, например, MUFON — Mutual UFO Network (Всеобщая уфологическая сеть), созданная в США в 1969 г. и насчитывавшая в 2011 г. более 3000 членов В некоторых странах открыты музеи НЛО; широко представлена уфология в Интернете. Среди зарубежных уфологов особенно авторитетны Аллен Хайнек, Жак Валле, Джеймс Мак-Дональд, Филип Класс и др. В то же время есть немало учёных, посвятивших статьи и книги естественному толкованию тех явлений, которые некритически мыслящие уфологи представляют как результат визита инопланетян. Приведём высказывания некоторых учёных, отстаивающих разные позиции в этом вопросе (цит. по книге Ф. Ю. Зигеля «Феномен НЛО»): «Мы вовсе не отвергаем безоговорочно межпланетную гипотезу. Но прежде чем принять её, мы хотим рассмотреть другие, более естественные предложения. Несмотря на огромное количество случаев, которые можно сразу же отнести к мистификациям, полёту воздушных шаров, облаков, птиц, самолётов и тому подобных предметов, мы должны сделать вывод, что „летающие тарелки" реальны — реальны в том смысле, что люди действительно что-то видели. Тарелки не являются предметом воображения или галлюцинацией. Однако, говоря о реальности „летающих тарелок", я вовсе не хочу сказать, что это твёрдые тела или вообще нечто материальное. Например, я считаю, что радуга реальна, хотя никто никогда её не касался рукой. Я не видел ничего, что хотя бы отдалённо доказывало популярную гипотезу, будто „летающие тарелки" — это космические корабли. По-моему, первой настоящей „летающей тарелкой" был знаменитый спутник, запущенный советскими учёными 4 октября 1957 года», — писал Дональд Мензел, профессор астрономии Гарвардского университета, противник уфологии.

«Внимательное изучение сотен спорных сообщений об НЛО и интервью с десятками основных свидетелей в особо важных случаях привели меня к заключению, что проблема НЛО в научном отношении исключительно важна. В течение ряда лет ВВС США держали прессу и научную общественность под ошибочным впечатлением, будто проблема НЛО тщательно изучается. Я обнаружил, что это чистейшая фальсификация. Важным наблюдениям приписывались в высшей степени ненаучные объяснения. Между тем не только американские радары прослеживали сверхскоростные объекты, выполняющие не поддающиеся объяснению манёвры, но и радары других стран. Я считаю, что очень серьёзное внимание должно быть уделено гипотезе, считающей НЛО каким-то типом инопланетных зондов. Если природа явления какая-то иная — и это нам необходимо знать. Теперешнее пренебрежение, теперешнее неведение, теперешние насмешки являются прискорбными чертами нашего общего отношения к тому, что может оказаться делом безотлагательной важности для всего человечества», — Джеймс Мак-Дональд, профессор физики Аризонского университета, уфолог.

«Вопрос о том, существуют ли НЛО, не должен быть битвой за веру. Он должен стать предметом спокойного, разумного, научного анализа. Возможно, что мы имеем дело с каким-то естественным, природным явлением, которое ещё не можем объяснить или даже представить. Ведь сто лет назад мы не только ничего не знали о ядерной энергии, но даже не знали, есть ли у атома ядро. Кто может предсказать, какие поразительные факты мы будем знать через сто лет?» — Джозеф Аллен Хайнек, профессор астрофизики, директор Дирбонской обсерватории, главный консультант ВВС США по проблеме НЛО, уфолог.

Считается, что изучение НЛО началось в Советском Союзе раньше, чем в США: в 1946 г. инженер и писатель-фантаст А. П. Казанцев высказал гипотезу о том, что Тунгусский взрыв 1908 г. был вызван аварией инопланетного летательного аппарата. Первые дискуссии вокруг этой идеи начались в 1947 г., в связи с чтением в Московском планетарии лекции-диспута «Загадки Тунгусского метеорита» (авторы — Ф. Ю. Зигель и А. П. Казанцев). Эта дискуссия приняла широкий характер, затронув научные аудитории и печать. Отчасти она способствовала росту интереса к Тунгусскому явлению и организации в 1958 г. экспедиции Академии наук СССР, выяснившей, что взрыв Тунгусского тела произошёл в воздухе, без удара о землю.

Появление в СССР активного интереса собственно к проблеме НЛО. начало сбора (1956) и публикации материалов на эту

тему связывают с именем преподавателя Московского технологического института пищевой промышленности Ю. А. Фомина. В 1959 г. к нему присоединились инженеры Б. В. Макаров и В. М. Гуликов; в 1959–1960 гг. они читали публичные лекции по проблеме НЛО. Однако это встретило неодобрение со стороны властей. Вероятно, такая реакция была вызвана режимом высокой секретности в отношении всего, что связано с авиационной и в особенности ракетной техникой, поскольку именно с началом её эксплуатации стали появляться сообщения об НЛО. В 1961 г. Ю. А. Фомин был исключён из членов Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний (Общество «Знание»), и работа по изучению НЛО в СССР на несколько лет прекратилась.

Однако в начале 1960-х гг. интерес к космонавтике и проблемам поиска внеземных цивилизаций стремительно возрастал. Большую роль в этом сыграла публикация в 1962 г. книги астрофизика И. С. Шкловского «Вселенная, жизнь, разум». Всё чаще в научные и просветительские учреждения приходили сообщения от случайных очевидцев НЛО. Отметим, что в те годы сильно возросла частота запуска и схода с орбиты космических аппаратов. В украинском журнале «Знания та Праця» № 1 за 1967 г. по инициативе студента В. В. Рубцова (г. Харьков) была опубликована статья о многочисленных наблюдениях НЛО над Украиной. 17 мая 1967 г. в Москве, в Центральном доме авиации и космонавтики (ЦДАиК) им. Фрунзе состоялось собрание инициативной группы по изучению НЛО; её руководителем был избран генерал-майор П. А. Столяров, его заместителем – доцент Московского авиационного института Феликс Юрьевич Зигель (1920–1988), с деятельностью которого в немалой степени связан второй период активности уфологии в нашей стране.

18 октября 1967 г. в ЦДАиК состоялось первое заседание отделения по НЛО Всесоюзного комитета космонавтики ДОСААФ, собравшее 350 участников и журналистов. В журнале «Смена» № 7 за 1967 г. была опубликована статья Зигеля о проблеме НЛО, а 10 ноября 1967 г. Столяров и Зигель выступили по Центральному телевидению с обращением к свидетелям НЛО присылать свои сообщения. Письма от очевидцев стали поступать, однако в конце ноября 1967 г. Центральный комитет ДОСААФ принял решение о роспуске отделения по НЛО.

В 1970–1990-е гг. высокую активность в области уфологии проявили группы энтузиастов в Москве, Северодвинске, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Томске и др., которыми руководили В. Г. Ажажа, А. И. Буренин, Р. Г. Варламов, Э. А. Ермилов, А. С. Кузовкин, В. Н. Лунёв, А. Е. Семёнов, Ю. Г. Симаков, Б. А. Шуринов и др. В 2000 г. в России действовали Ассоциация «Экология непознанного», Уфологический союз, Академия информационологической и прикладной уфологии, а также ряд других общественных организаций, объединяющих самодеятельных уфологов или провозглашающих уфологию полем своей деятельности. В настоящее время (2012) наибольшую активность в этой области проявляет общественная организация «Космопоиск», начавшая свою деятельность в 1980 г. и официально зарегистрированная в 2004 г. как «Общероссийское общественное научно-исследовательское объединение». Создателем и руководителем «Космопоиска» является В. А. Чернобров. Хотя в целом исходящая от «Космопоиска» информация страдает невысокой надёжностью, положительной стороной деятельности этой организации являются сбор и систематизация наблюдений редких явлений и привлечение интереса к проблеме.

В конце XX в. уфология вполне оформилась как явление массовой культуры, имеющее научную и общественную грани. В научном смысле она является проявлением любознательности и отчасти сама стимулирует любознательность; привлекает внимание к необъяснённым или в недостаточной степени разъяснённым широкой публике явлениям. Однако стилем своих занятий многие уфологи пропагандируют дилетантский подход к научной работе и открыто выражают неуважение к «официальной» (т. е. профессиональной) науке, заявляя, что государственные организации и «официальные» учёные намеренно скрывают от общественности правду о внеземной природе НЛО и о контактах с пришельцами. Некоторые уфологи тесно сотрудничают с экстрасенсами, парапсихологами, лозоходцами («биолокация» с рамками), ясновидящими и т. п.

Для средств массовой информации сообщения об НЛО с конца 1940-х гг. служат устойчивым источником сенсационных публикаций. Они появляются в самых разных изданиях: от престижных новостных изданий, изредка помещающих эти сообщения для «разрядки» более серьёзной информации, до бульварных изданий, специализирующихся на откровенных розыгрышах и вымышленных сообщениях о «летающих тарелках и контактах с пришельцами». После 1989 г. в России начали активно публиковаться уфологические книги и журналы с коллекциями сообщений очевидцев о наблюдении НЛО и прямых контактах с пришельцами. Большинство телевизионных каналов стали использовать сюжеты об НЛО в выпусках новостей. После 2000 г. средства массовой информации, позиционирующие себя как респектабельные, заметно снизили свой интерес к сообщениям об НЛО и существенно реже стали давать слово уфологам. С другой стороны, некоторые телеканалы, ориентированные на молодёжь и непритязательного зрителя, систематически готовят передачи и демонстрируют фильмы на эту тему. Уфология широко представлена в Интернете. В целом тема летающих тарелок стала одной из важнейших в литературном и кинематографическом направлениях фэнтези; она постоянно присутствует в комиксах, в производстве игрушек, в современном фольклоре.

Знакомство с уфологической литературой и общественными организациями показывает, что уфологами, как правило, называют себя люди, чья профессиональная подготовка лежит в стороне от того круга явлений, которыми они интересуются и которые относят к уфологии. Неоднократно отмечалось, что активность в области уфологии происходит от любознательности, не «отягощённой» глубокими знаниями. Профессиональные учёные редко работают в контакте с уфологами. Но это не означает, что геофизики, астрономы, метеорологи и другие специалисты не придают значения загадочным атмосферным и космическим явлениям. Такие явления известны, некоторые из них весьма чётко классифицированы (например, шаровая молния, кратковременные явления на Луне), и их планомерно изучают без сенсационной шумихи, причём не только профессиональные учёные, но и настоящие любители науки, способные к систематическому кропотливому труду. Часть из них допускают, что некоторые НЛО представляют собой явления, объяснение которых выходит за рамки современных научных знаний. Уфология имеет точки соприкосновения с традиционными научными проблемами поиска жизни во Вселенной и поиска внеземных цивилизаций. Работающие в этих направлениях специалисты в принципе не отрицают возможности посещения Земли пришельцами, но в рамках строгого научного анализа пока не находят этому подтверждения.

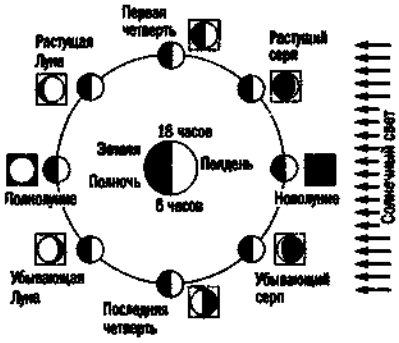
УШИРЕНИЕ ЛИНИЙ – увеличение ширины спектральных линий, обусловленное несколькими различными процессами. Наиболее заметно ширина линий изменяется под влиянием давления: чем выше давление газа, тем больше ширина излучаемых им линий. Эта зависимость помогает отличить по спектру карликовую звезду от звезды-гиганта: в разреженных атмосферах гигантов давление намного ниже, чем в плотных атмосферах карликов, поэтому у гигантов линии значительно уже, чем у карликов того же спектрального класса (т. е. приблизительно той же температуры).

Доплеровское смещение частоты также может приводить к уширению линий.

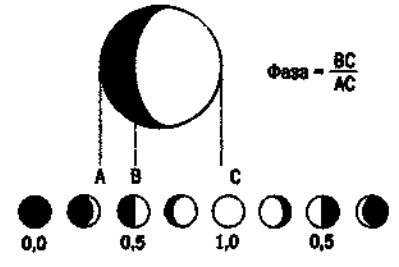
Эффект Доплера проявляется в нескольких вариантах. Например, наблюдается температурное уширение линий, вызванное тепловым движением поглощающих или излучающих атомов. На макроскопическом уровне эффект Доплера проявляется в результате турбулентного движения газовых потоков, расширения или сжатия облака или атмосферы звезды, а также в результате вращения объекта, приводящего к различию лучевых скоростей у разных точек его поверхности. Известны и другие физические процессы, способные приводить к уширению спектральных линий (например, эффект Зеемана при взаимодействии атома с магнитным полем).

Ф

ФАЗА (при описании колебательного процесса) — мера расстояния вдоль волны между двумя максимумами. Часто фазу выражают в градусах или других единицах измерения угла, основываясь на идее происхождения волны из кругового движения. В этом случае максимум имеет фазовый угол 0°. Угол плавно увеличивается вдоль волны, проходя через 180° в минимуме до 360° (или снова 0°) в следующем максимуме. Принято считать, что две волны находятся «в фазе», если разность их фаз в данной точке составляет 0° или число, кратное 360°. Две волны находятся «в противофазе», если разность их фаз в данной точке составляет 180° или число кратное 360° плюс 180°. В первом случае наблюдается конструктивная интерференция, в во втором — деструктивная интерференции волн.



Названия и внешний вид (в рамках) лунных фаз. Показаны положения Луны на орбите, соответствующие каждой фазе



Фаза Луны или планеты — это доля освещённого диска

ФАЗА (при описании внешнего вида Луны или планеты) — определённая стадия в периодическом изменении видимой формы освещённого полушария Луны или планеты. Например, фазы Луны — это новолуние, первая четверть, последняя четверть, полнолуние. Строго говоря, фазы Луны определяются как моменты разностей эклиптических долгот Луны и Солнца: 0°, 90°, 180° и 270°. Величиной фазы называют освещённую долю диаметра, перпендикулярного линии, соединяющей концы серпа, или, что то же самое, отношение площади освещённой части видимого диска ко всей его площади: 1 — полнолуние, 0 — новолуние, 0,5 — первая и последняя четверти, и т. п. (см. также *Фазы Луны*). Фаза затмения — доля диаметра диска Солнца или Луны, закрытая затмевающим объектом, т. е. Луной в случае солнечного затмения или тенью Земли в случае лунного.

ФАЗИРОВАННАЯ РЕШЁТКА — радиотелескоп, состоящий из множества простых фиксированных антенн, расположенных в виде регулярной сетки. Подобная система может быть достаточно чувствительной, поскольку простыми однотипными антеннами легко можно покрыть большую площадь. Наводить на объект такой радиотелескоп можно, смещая его диаграмму направленности по небесной сфере. Это смещение выполняется путём изменения фазовых задержек между последовательными элементами в колоннах и рядах антенной решётки. В 1967 г. в процессе наблюдений с фазированной решёткой площадью 4 акра в Кембриджской обсерватории были открыты радиопульсары.

ФАЗОВАЯ ПЛАСТИНКА — то же, что *Волновая пластинка*.

ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ — элемент СВЧ-тракта, предназначенный для изменения фазы отражённой или проходящей волны. Используются в том числе и как компонент систем апертурного синтеза в радиодиапазоне, обеспечивая компенсацию разности фаз, вызванную суточным движением наблюдаемого объекта,

ФАЗОВЫЙ УГОЛ — угол между лучом света, падающим от Солнца на планету, и лучом, отразившимся от неё в сторону наблюдателя на Земле. Если же смотреть с изучаемой планеты, то это угол между направлениями на Землю и на Солнце.

ФАЗЫ ЛУНЫ — характерный внешний вид лунного диска. Кроме профессионального определения фазы как освещённой доли диска планеты (см. *Фаза*), существуют также народные названия для различных этапов смены лунных фаз. От новолуния к полнолунию сменяются: молодой месяц (лунный серп), полумесяц (первая четверть), растущая Луна. Затем после полнолуния: убывающая Луна, полумесяц (последняя четверть), стареющая Луна, лунный серп. Иногда, за несколько дней до новолуния или после него, вместе с лунным серпом виден и пепельный свет Луны. В этих случаях говорят о «старой Луне в объятьях молодой» либо о «молодой Луне в объятьях старой».

ФАКЕЛЫ — яркие области горячего газа в фотосфере Солнца.

ФАКУЛЫ (*лат. facula*, мн. *faculae* — лучина, факел) — яркие пятна на поверхности; встречаются на Ганимеде, Титане и малых спутниках Юпитера.

ФАЛЕС МИЛЕТСКИЙ (ок. 624–547 гг. до н. э.) — древнегреческий философ, математик, астроном. С его именем связывают первое предсказание полного солнечного затмения.

ФАРАДЕЕВСКОЕ ВРАЩЕНИЕ, или эффект Фарадея, — поворот плоскости поляризации линейно поляризованного электромагнитного излучения при его прохождении через плазму, пронизанную магнитным полем. В астрономических наблюдениях эффект Фарадея обнаруживается только в радиодиапазоне.

ФАРБАУТИ (S XL, Farbauti) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2004 г. Большая полуось орбиты 20 291 тыс. км. Орбитальный период 1079,1 сут. Эксцентриситет орбиты 0,209. Наклонение орбиты к эклиптике 158°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 5 км. Видимый блеск $24{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1°04′41″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ФАРРЫ (*лат. farrum*, мн. *farra*) — кексообразные структуры рельефа или ряд таких структур. Встречаются на Венере.

ФАУЛЕР, Уильям Альфред (Fowler, William Alfred) (9.08.1911, Питсбург, шт. Пенсильвания, США, – 14.03.1995, Пасадена, шт. Калифорния, США) — американский астрофизик. Теоретически исследовал (совместно с Ф. Хойлом и Бербиджами, 1955–1957) ядерные реакции в звёздах, предложил (1960) механизмы вспышек сверхновых звёзд, изучил образование лёгких элементов во Вселенной (совместно с Р. Вагонером и Ф. Хойлом, 1962–1967).

Нобелевская премия по физике (совместно с С. Чандрасекаром, 1983).

ФЕБА (S IX, Phoebe) — естественный спутник Сатурна. Американский астроном Уильям Пикеринг открыл его 17 марта 1899 г. по фотоснимку, полученному по его просьбе на Гарвардской станции в Перу 16 августа 1898 г. Это был первый спутник, открытый при помощи фотографии.

Большая полуось орбиты Фебы составляет 12 955 759 км. Орбитальный период 550,565 сут. Эксцентриситет орбиты 0,1562. Наклонение орбиты к экватору планеты 151,78°; откуда ясно, что спутник обращается по орбите в обратном направлении, противоположном вращению планеты. Период осевого вращения Фебы 0,38674 сут. = 9 час 16 мин 55,2 с. Размеры 218,8×217×203,6 км. Масса $8{,}29 \cdot 10^{19}$ кг. Средняя плотность 1,64 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности около 4 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности около 100 м/с. Альбедо 0,06. Видимый блеск $16{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 40′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности 75 К.

Феба входит в группу иррегулярных (неправильных) спутников Сатурна; имеется в виду характер орбитального движения. Такие спутники, вероятно, не могли формироваться вместе с планетой, а были захвачены позже из числа межпланетных объектов. Учитывая чрезвычайно тёмную поверхность Фебы, её считали захваченным астероидом. Но снимки «Кассини» показали, что под тёмным слоем грунта толщиной от 300 до 500 м лежит светлое вещество — лёд. Поэтому теперь считается более вероятным, что Феба — объект из числа кентавров, льдистых планетоидов пояса Койпера, движущихся между орбитами Юпитера и Нептуна.

В 2009 г. орбитальный инфракрасный телескоп «Спитцер» (NASA) обнаружил самое внешнее гигантское кольцо Сатурна, невидимое в оптическом диапазоне. Его назвали «кольцом Фебы», поскольку с внешней стороны оно ограничено орбитой Фебы: кольцо занимает промежуток от 128 до 207 радиусов Сатурна от центра планеты, тогда как орбита Фебы в среднем удалена на расстояние в 215 радиусов Сатурна. Это кольцо наклонено на 27° к экватору Сатурна и плоскости всех других, внутренних, колец. Толщина кольца в 20 раз больше диаметра Сатурна. Происхождение кольца связывают с выбросами пыли с поверхности Фебы под действием ударов микрометеоритов. Если это так, то вращение кольца тоже должно быть обратным. Тогда частицы кольца должны лететь навстречу ближайшему спутнику — Япету, ударяя в его ведущее полушарие. Возможно, именно это стимулирует процессы, вызывающие «двуликость» Япета (его ведущее полушарие гораздо темнее ведомого).

ФЕМИСТО (J XVIII, Themisto) — естественный спутник Юпитера. Авторы открытия — Чарльз Коуэл (1975), Элизабет Рёмер (1975), Скотт Шеппард, Дэвид Джюит, Янга Фернандес (2000). Большая полуось орбиты 7391,7 тыс. км. Орбитальный период 129,83 сут. Эксцентриситет орбиты 0,20. Средняя орбитальная скорость 4,1 км/с. Наклонение орбиты к эклиптике 45,8°. Масса $6{,}89 \cdot 10^{14}$ кг. Диаметр 8 км. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 0,003 м/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 5 м/с. Альбедо около 4%. Блеск 21^m и максимальное угловое расстояние от планеты 48′57″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ФЕНИКС — южное созвездие, первое изображение которого появилось на картах Иоганна Байера в 1603 г. (хотя предложено оно было голландскими мореплавателями ещё в 1597 г.). Эта «огнеупорная птица» расположилась к югу от Скульптора, между Эриданом и Журавлём. На расстоянии 6,5° к западу от звезды α Phe находится звезда SX Phe — самая известная среди карликовых цефеид, демонстрирующая экстремально быстрые колебания блеска (7,2–7,8^m) с периодом всего 79 мин 10 с.

«ФЕНИКС» (Phoenix) — автоматический космический аппарат NASA (США), предназначенный для стационарного исследования поверхности и атмосферы Марса. Запущен 4 августа 2007 г. Успешно сел на Марс 25 мая 2008 г. в северной полярной области Green Valley, в точке с координатами 68°13′ с. ш., 125°42′ з. д. Работал в период полярного дня, с мая по ноябрь 2008 г. Масса аппарата 350 кг. Имел оригинальный комплекс приборов, включающий в себя стереокамеру, лазерный лидар для зондирования атмосферы, оптический и сканирующий атомно-силовой микроскопы, а также масс-спектрометр. «Феникс» надёжно зафиксировал наличие водяного льда в грунте (откопав его механической рукой), а также косвенные признаки жидкой воды.

Одним из самых больших сюрпризов стало неожиданное открытие двух компонентов марсианского грунта — карбоната кальция (его содержание составляет 5%) и перхлоратов (0,5%). Эти соединения имеют очень большое значение для поиска жизни. Карбонат кальция образуется, когда атмосферная двуокись углерода растворяется в жидкой воде с образованием угольной кислоты. Эта кислота вымывает кальций из грунта, в результате чего образуется карбонат кальция — очень распространённое на Земле вещество, составляющее основу известняка и мела.

Планетологи уже несколько десятилетий занимались поисками карбонатов на Марсе. Множество каньонов, а также похожих на реки структур и древних озёрных котловин, практически не оставляют сомнений в том, что когда-то на Марсе была жидкая вода, откуда, в свою очередь, следует, что атмосфера тогда должна была быть гораздо плотнее, чем сейчас. Содержавшаяся в атмосфере двуокись углерода должна была куда-то деться, и кальциево-карбонатные породы лучше всего подходили для этого. «Феникс» получил первые свидетельства того, что карбонат кальция входит в состав марсианского грунта. После этого отдельные обнажения кальциево-карбонатных пород были обнаружены орбитальными аппаратами, хотя, по-видимому, это не самая распространённая форма карбонатов на Марсе.

Обнаружение перхлоратов даёт основания для новой интерпретации результатов «Викингов» (1976) по поиску жизни на Марсе. Долгие годы считалось, что результаты «Викингов» указывают на отсутствие органики в марсианской почве. Исследователи из Национального автономного университета Мексики и их коллеги воспроизвели эксперименты «Викингов», используя в качестве рабочего материала похожие на марсианский грунт (по данным «Феникса») образцы грунта из чилийской пустыни Атакама и такие же образцы с добавлением небольшого количества перхлоратов. В результате выделился газ, аналогичный тому, который был зарегистрирован «Викингами»: из перхлората высвободился кислород, который соединился с органическими компонентами, и этот процесс сопровождался выделением хлорметана. Отсюда следует, что в грунте с перхлоратом содержание органических веществ могло быть значительным — более одной миллионной — и при этом приборы «Викингов» вполне могли не заметить их. В пользу этого говорит и то, что приборы «Феникса» зафиксировали выделение двуокиси углерода, когда температура в печи, где нагревались образцы грунта, превысила 300 °С. Так и должно быть в случае соединения содержащихся в грунте органических веществ с перхлоратом.

«Феникс» не мог работать в период марсианской полярной ночи, поскольку его единственным источником энергии были панели солнечных батарей. Но и с появлением солнца он не вышел на связь. Как видно на снимках, полученных в июне 2010 г. камерой HiRISE на борту «Орбитального разведчика Марса» (Mars Reconnaissance Orbiter, США), аппарат «Феникс» не пережил марсианскую зиму; одна из его солнечных батарей даже сломалась под тяжестью льда из углекислого газа.

ФЕНРИР (S XLI, Fenrir) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеп-

пард и др. в 2004 г. Большая полуось орбиты 22 454 тыс. км. Орбитальный период 1260,35 сут. Эксцентриситет орбиты 0,136. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 4 км. Альбедо около 4%. Цвет красноватый. Видимый блеск 25^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1°06′24″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ФЕРДИНАНД (U XXIV, Ferdinand) — естественный спутник Урана. Его открыли Мэтью Холман, Б. Глэдман, Дж. Кавелаарс и др. 13 августа 2001 г. Большая полуось орбиты 20 901 тыс. км. Орбитальный период 2887,21 сут. Эксцентриситет орбиты 0,368. Наклонение орбиты к эклиптике 170°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Диаметр около 20 км. Масса около $5{,}4 \cdot 10^{15}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Альбедо около 4%. Видимый блеск 25^m и максимальное угловое расстояние от планеты 36,1′ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 65 К.

ФЕРМА СЕРРЮРЬЕ (Serrurier truss) — стандартный модуль в конструкции открытых «труб» больших телескопов. Состоит из восьми штанг, объединённых попарно в треугольники (см. *Большой телескоп альт-азимутальный*). Штанги оснований треугольников укрепляются на коробчатом среднике трубы, а к вершинам треугольников крепятся нижнее кольцо с оправой главного зеркала и верхнее кольцо, несущее узел вторичного зеркала, иногда с кабиной наблюдателя (в старых телескопах). Простота конструкции открытой «трубы» телескопа, скомпонованной из двух ферм, позволяет легко рассчитывать её деформации при меняющихся нагрузках от собственного веса при изменении ориентации телескопа. Фермы Серрюрье, несущие узлы главного и вторичного зеркал, рассчитываются так, чтобы их смещения относительно средника при прогибах были равны, что позволяет сохранять юстировку телескопа при любой его ориентации. Современные компьютерные системы конструирования позволяют разрабатывать более сложные и совершенные варианты ферменных «труб» телескопов.

ФЕСЕНКОВ, Василий Григорьевич (1(13).1.1889, Новочеркасск, Россия, — 12.3.1972, Москва, СССР) — советский астроном, академик АН СССР (1935). Впервые произвёл (1914) фотометрическое исследование зодиакального света и получил данные о распределении межпланетной пыли. Нашёл общую массу пылевой материи в Галактике, равную 10^8 массам



В. Г. Фесенков

Солнца. Разработал (1935) метод определения поглощения света в тёмных туманностях. Установил (1943) из наблюдений верхний предел плотности лунной атмосферы. Определил теплоёмкость вещества лунной поверхности.

ФИГУРИЗАЦИЯ — завершающий этап изготовления линзы или зеркала, в ходе которого их поверхность приобретает точную расчётную форму. Толщина слоя стекла, снимаемая в процессе фигуризации, часто составляет всего несколько микрометров, но именно они определяют различие между посредственным и совершенным, дифракционно ограниченным, качеством объектива телескопа. Процесс фигуризации заключается в полировке определённых областей (кольцевых зон) оптической поверхности с целью плавного понижения возвышающихся участков и приведения формы поверхности к расчётной. Периодический контроль поверхности позволяет отслеживать ход полировки и управлять процессом фигуризации. Для контроля формы поверхности используются теневой метод Фуко, метод Ронки, тест Гартмана или интерферометрический метод.

ФИКСИРОВАНИЕ — химический процесс, применяемый после проявления фотографической эмульсии для удаления непроявленных кристаллов галоидного серебра. Между проявлением и фиксированием фотоматериал промывается проточной водой и нередко обрабатывается кислым раствором, останавливающим процесс проявления.

ФИЛЬТР ДЛЯ ТУМАННОСТЕЙ И ГАЛАКТИК — то же, что *Небулярный фильтр*.

ФИЛЬТР ЛИО — узкополосный фильтр, принцип работы которого основан на двулучепреломлении кварца. Фильтр Лио складывается из нескольких блоков, каждый из которых состоит из кварцевой пластинки и поляризатора. Комбинация кварцевой пластинки и поляризатора даёт конструктивную интерференцию для проходящего света на одних длинах волн и деструктивную — на других. Длину волны, на которой происходит конструктивная интерференция, можно подстраивать путём изменения толщины кварцевой пластинки. Каждый из блоков, таким образом, пропускает излучение с нужной длиной волны и подавляет часть излучения в соседних участках спектра. Устройство в целом пропускает только узкий диапазон с центром на рабочей длине волны.

ФИЛЬТР ФИОЛЕТОВЫЙ ОТРЕЗАЮЩИЙ — светофильтр, не пропускающий фиолетовую часть спектра. Многие фотографические объективы имеют недостаточно хорошую коррекцию в этой области спектра, что проявляется в лёгкой расфокусировке изображения в сине-фиолетовых лучах. Применение фильтра, отрезающего фиолетовую область спектра, позволяет получать более резкие изображения небесных объектов.

ФИЛЬТР Hα — узкополосный светофильтр, центрированный на спектральную линию Hα (длина волны 656,28 нм), имеющий ширину полосы пропускания около 0,05 нм. Фильтр выделяет линию Hα и позволяет выполнять прямые наблюдения структуры солнечной хромосферы, вспышек и протуберанцев. Основой конструкции столь узкополосных фильтров служит эталон Фабри—Перо.

ФИЛЬТР Hβ — узкополосный светофильтр, центрированный на спектральную линию Hβ (длина волны 486,1 нм). Предназначен для выделения ярких эмиссионных линий в излучении газовых туманностей. См. *Небулярный фильтр*.

ФИЛЬТР O-III — узкополосный светофильтр, центрированный на спектральную линию дважды ионизованного кислорода. Предназначен для выделения ярких эмиссионных деталей в изображении газовых туманностей. См. *Небулярный фильтр*.

ФИОЛЕТОВОЕ СМЕЩЕНИЕ, или **голубое смещение**, или **синее смещение** — уменьшение длины волны принимаемого электромагнитного излучения вследствие приближения источника к наблюдателю.

ФЛАММАРИОН, Никола Камиль (Flammarion, Nicolas Camille) (26.02.1842, Монтиньи-ле-Руа, Франция, — 3.06.1925, Жювизи, Франция) — французский астроном,

выдающийся популяризатор науки. Образование получил самостоятельно. В 1858–1862 гг. работал вычислителем в Парижской обсерватории, в 1862–1876 гг. вычислителем в Бюро долгот в Париже, в 1876–1882 гг. – сотрудник Парижской обсерватории. В 1861 г. вышла в свет книга Фламмариона «Множественность обитаемых миров», которая положила начало большой серии его популярных астрономических работ, сделавших их автора самым известным популяризатором науки своего времени. Наиболее широко были распространены книги «Популярная астрономия» (1880), «Звёзды и достопримечательности неба» (1882). В конце 1882 г. Фламмарион получил в дар от одного из любителей астрономии и большого почитателя книг Фламмариона, господина Мере, усадьбу с большим домом в городке Жювизи (близ Парижа). Там Фламмарион основал обсерваторию и был её директором до конца дней.

Известны научные исследования Фламмариона, посвящённые двойным и кратным звёздам; в частности, он открыл общее собственное движение нескольких широких пар звёзд, доказав физическую связь между ними. Изучал цвета звёзд и отдельных образований на поверхности Луны (изменения цвета в кратере Платон объяснял наличием в нём растительности). В 1876 г. заметил сезонные изменения тёмных областей на Марсе. Многочисленные наблюдения этой планеты, выполненные Фламмарионом в обсерватории Жювизи, описаны им в книге «Планета Марс и условия обитания на ней» (1909); в этой книге собраны все известные наблюдения Марса начиная с 1636 г.

Кроме астрономии, Фламмарион занимался проблемами вулканологии, земной атмосферы, климатологией. В 1867–1880 гг. совершил несколько подъёмов на воздушных шарах с целью изучения атмосферных явлений, в частности атмосферного электричества. В 1882 г. основал научно-популярный журнал «L'Astronomie», который издаётся и в настоящее время; писал для него статьи. В 1887 г. основал Французское астрономическое общество. Имя Фламмариона занесено на карты Луны и Марса.

ФЛЕМИНГ, Вильямина (Fleming, Williamina Paton Stevens) (15.05.1857, Данди, Шотландия, – 21.05.1911, Бостон, США) – американский астроном, много сделавшая для развития спектральной классификации звёзд. Любителям астрономии она известна как первооткрыватель (1888) популярной тёмной туманности Конская голова в Орионе.

Вильямина Флеминг училась в бесплатной городской школе, а с 14 лет и до замужества преподавала там же. В 1877 г. она вышла замуж за Джеймса Флеминга и через год эмигрировала вместе с мужем в Бостон. Спустя ещё год, когда Вильямина была беременна, муж её бросил. Оставшись одна с ребёнком на руках, Вильямина была вынуждена наняться горничной в семью профессора Эдуарда Пикеринга. Так началась история, известная в астрономии как «гарем Пикеринга» (не подумайте ничего дурного!).

Астроном Гарвардской обсерватории Эдуард Пикеринг считал, что первым шагом в науке должен быть сбор наблюдательных данных, поэтому в 1886 г. он добился основания специального фонда, финансировала который вдова Генри Дрэпера, богатого медика и очень известного любителя астрономии, получившего первую фотографию спектра звезды. По замыслу Пикеринга, фонд памяти Генри Дрэпера должен был поддержать долгосрочный проект по получению спектров возможно большего числа звёзд, а затем по классификации этих звёзд в соответствии с их спектрами. Это было довольно сложное предприятие, поскольку фотографические наблюдения в ту пору были весьма трудоёмкими, а принципы спектральной классификации звёзд не были ещё проработаны ни теоретически, ни практически. Для проведения столь сложных работ была собрана группа специалистов, но вскоре Пикеринг разочаровался в работе своих коллег-мужчин. «Даже моя горничная сделала бы эту работу лучше, чем они», – заявил как-то Пикеринг. Его горничной в то время как раз была Вильямина Флеминг. Она и стала одной из первых женщин в «гареме Пикеринга», как иногда в шутку называют эту дамскую группу, нанятую Пикерингом для работы с гарвардскими фотопластинками.

Флеминг начала работать в Гарвардской обсерватории в 1881 г. Она должна была выполнять секретарскую работу и проводить некоторые математические вычисления, но вскоре Вильямина доказала, что способна заниматься и наукой. Она разработала систему классификации звёзд по виду их спектра, полученного при прохождении света звезды через призму. Она использовала этот метод, названный позднее её именем, для создания каталога более чем 10 тыс. звёзд, который она составляла в течение девяти лет. Эта работа была опубликована в 1890 г. в виде книги, названной «Каталог звёздных спектров Генри Дрэпера».

Постепенно обязанности Вильямины Флеминг расширялись, и она была назначена руководителем группы из дюжины молодых женщин, нанятых для проведения вычислений (сейчас такую работу делают компьютеры). Кроме того, она редактировала все обсерваторские публикации. Её работа была столь безупречна, что в 1898 г. её назначили хранителем архива фотопластинок. Для астрономов собрание фотографий звёздного неба бесценно. Впервые на столь высокую должность назначили женщину.

В 1906 г. Вильямина Флеминг стала первой американкой, избранной в лондонское Королевское астрономическое общество. В 1907 г. она опубликовала исследование открытых ею на фотопластинках 222 переменных звёзд, а в 1910 г. – работу, в которой говорилось об открытии «белых карликов», маленьких, но очень горячих и плотных звёзд, имеющих белый цвет. Теперь мы знаем, что белые карлики – это звёзды на самой поздней стадии своей эволюции. Последняя, очень важная работа Флеминг «Звёзды с пекулярными спектрами» была опубликована в 1912 г.

ФЛЕМСТИД, Джон (Flamsteed, John) (19.08.1646, Денби, Англия, – 31.12.1719, Гринвич) – английский астроном. Из-за слабого здоровья оставил школу в 16 лет и начал заниматься астрономией. Наблюдая светила с маленьким телескопом, он убедился, что существующие астрономические таблицы несовершенны. Вычисления моментов затмений и лунных покрытий принесли Флемстиду в 1670 г. известность в научном мире. В том же году он начал работать в Кембриджском университете, где в 1674 г. получил степень магистра. Тогда ещё не существовало точных методов определения долготы на море, и комиссия, в которую входил Флемстид, сообщила, что требуется обсерватория для проведения наблюдений и вычисления астрономических навигационных таблиц. В 1675 г. король Карл II организовал Гринвичскую обсерваторию, а Флемстид стал первым Королевским астрономом. Он выполнил чрезвычайно важные работы: составил наиболее точный каталог звёзд; начал систематические наблюдения планет, Луны и Солнца; пересмотрел теорию их движений и вычислил их будущие эфемериды. Несмотря на слабое здоровье и отсутствие денег, он помогал при конструировании и сборке новых инструментов, аккуратно определял и учитывал их погрешности. С высокой точностью определил наклон эклиптики, положение точек равноденствия и прямые восхождения звёзд. Улучшил теорию движений Луны, Юпитера и Сатурна. Трёхтомная работа Флемстида «Британская история неба», законченная его помощниками Дж. Кроствейтом и А. Шарпом (1725), содержит наблюдения Флемстида и каталог около 3000 звёзд.

ФЛИКЕР-ШУМ (англ. *flicker* – мерцание) – медленные флуктуации электрических токов и напряжений в электровакуумных и полупроводниковых приборах, обусловленные испарением атомов вещества катода, диффузией их из глубинных слоев к поверхности, бомбардировкой катода положительными ионами, приводящей к

ионному внедрению и образованию слоёв, примесных атомов на поверхности катода; структурными изменениями катода; генерация и рекомбинация носителей заряда в транзисторах и т. п. Обычно фликкер-шум упоминается в связи с постоянным током. Амплитуда фликкер-шума уменьшается с увеличением частоты изменения сигнала приблизительно как $1/\nu$. По этой причине его иногда называют «розовым шумом», в отличие, например, от белого шума (амплитуда которого не зависит от частоты) и прочих «цветных» шумов. Понятие фликкерного шума используется не только в электронике, но и в других областях физики, имеющих дело со случайными процессами.

ФЛИНТ – тяжёлый сорт оптического стекла, содержащий в большом количестве окись свинца; отличается большим показателем преломления (около 1,6), но меньшим коэффициентом дисперсии (30–35), чем у стекла сорта крон.

ФЛОККУЛ, или факельная площадка, – яркая область в хромосфере, окружающая солнечное пятно.

ФЛУКТУАЦИИ ЯРКОСТИ ЗВЁЗД – то же, что *Мерцание*.

ФРАУНГОФЕРА ЛИНИИ – тёмные линии поглощения, наблюдаемые на фоне непрерывного спектра Солнца и звёзд.

ФОБОС (I, Phobos) – естественный спутник Марса. Автор открытия – Асаф Холл (1877). Большая полуось орбиты 9,38 тыс. км. Орбитальный период 0,318910 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0151. Наклонение орбиты к плоскости Лапласа 1,08°. Наклон плоскости Лапласа к экватору планеты 0,05° (эпоха 1950.0). Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Размер 26,8×22,4×18,4 км. Масса $1{,}07\times10^{16}$ кг. Средняя плотность 1,88 г/см^3. Блеск $11{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 25″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ФОГЕЛЬ, Герман Карл (Vogel, Hermann Carl) (3.04.1841, Лейпциг, Саксония, – 13.08.1907, Потсдам, Германия) – немецкий астроном, основатель Потсдамской астрофизической обсерватории (Германия), с 1882 – её директор. Опубликовал (1882) первый спектроскопический каталог звёзд до $7{,}5^m$, усовершенствовал классификацию спектров А. Секки. Совместно с немецким астрономом Ю. Шейнером начал (1888) точные измерения лучевых скоростей звёзд и открыл (1889) спектральную двойственность некоторых из них.

ФОКАЛЬНАЯ ПЛОСКОСТЬ – плоскость, перпендикулярная оптической оси, на которой лежат наиболее резко сфокусированные точки изображения. В некоторых инструментах, например в камере Шмидта, фокальная поверхность искривлена и не является плоскостью в её геометрическом смысле. Эта аберрация называется кривизной поля.

ФОКУС (лат. *focus* – очаг, огонь) – точка, в которой сходятся лучи, собираемые оптической системой (действительное изображение), или из которой лучи расходятся (мнимое изображение). В геометрии это характерная точка внутри эллипса, гиперболы или параболы. Название связано с зеркальным свойством указанных кривых. Если параболу считать зеркалом, то лучи от источника (огня) в её фокусе после отражения станут параллельными оси. По закону оптической обратимости лучи, параллельные оси, после отражения соберутся в фокусе. Лучи от источника в фокусе эллипса после отражения собираются во втором его фокусе. Лучи от источника в фокусе гиперболы после отражения расходятся так, что их продолжения назад собираются во втором фокусе.

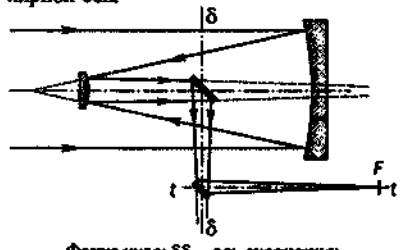
ФОКУС, ГЛАВНЫЙ – место в передней части телескопа-рефлектора, на его оптической оси, где формируется изображение неба после отражения света от главного зеркала. У крупных телескопов вблизи главного фокуса размещают приёмники излучения и сменные вторичные зеркала (для работы в фокусах Кассегрена и Несмита). До появления автоматических систем гидирования и электронных приёмников света в главном фокусе наиболее крупных телескопов размещали кабину для наблюдателя, который управлял телескопом во время экспозиций и менял фотопластинки в промежутках между экспозициями.

ФОКУС КАССЕГРЕНА – место на оптической оси, где формируется изображение неба в телескопе-рефлекторе системы Кассегрена. Фокус расположен вблизи центрального отверстия в параболическом главном зеркале, сквозь которое проходят лучи, отражённые вторичным выпуклым гиперболическим зеркалом. Обычно в кассегреновском фокусе размещают фотометры или спектрографы умеренной массы. О самом Кассегрене, предложившем эту конструкцию телескопа около 1672 г., почти ничего не известно: он жил во Франции и, по одной версии, был профессором физики в Коллеж-де-Шартр, а по другой – скульптором и литейщиком Людовика XIV.



Фокус Кассегрена

ФОКУС КУДЕ – неподвижный фокус у телескопа-рефлектора особой конструкции (см. *Куде, оптическая система*). У телескопов на экваториальной монтировке это обычно достигается введением дополнительного плоского зеркала в оптическую схему Несмита. При этом фокус куде располагается в нижней части полярной оси.



Фокус куде: δδ – ось склонения; *tt* – полярная (часовая) ось

ФОКУС НЕСМИТА – место сбоку от трубы телескопа-рефлектора системы Кассегрена, на продолжении полой оси склонения, где формируется изображение неба после отражения света от третьего диагонального плоского зеркала, расположенного на оптической оси телескопа. Такая оптическая схема особенно удобна для телескопов на альт-азимутальной монтировке: фокусы Несмита располагаются на концах оси высот, которые движутся только по азимуту, поэтому на специальных площадках там можно разместить массивную, громоздкую и чувствительную светоприёмную аппаратуру. Эту схему предложил в середине XIX в. шотландский инженер Джеймс Несмит (J. Nasmyth, 1808–1890), конструктор парового молота и других станков для обработки металла, организатор и владелец машиностроительного предприятия в Манчестере, любитель астрономии, совместно с Дж. Карпентером написавший книгу о Луне и создавший гипсовую модель Луны. К недостаткам фокуса Несмита можно отнести сравнительно небольшое поле зрения, которое вращается при сопровождении объекта. Для исключения вращения поля зрения в фокусе Несмита применяют компенсатор вращения.



Фокус Несмита

ФОКУС НЬЮТОНА – место в передней части телескопа-рефлектора, сбоку от его трубы, где формируется изображение неба после отражения собранного главным зеркалом света от вторичного диагональ-

ного плоского зеркала, расположенного на оптической оси телескопа. Ньютоновский фокус теперь используется исключительно в любительских конструкция телескопов.

ФОКУСИРОВКА — процесс настройки оптической системы для получения наиболее резкого изображения. Фокусировка визуального телескопа выполняется перемещением окуляра вдоль оптической оси. При получении изображений фокусировка выполняется путём перемещения светоприёмника относительно фокальной плоскости или путём использования вспомогательной оптической системы. В телескопах системы Кассегрена и им подобных фокусировку можно выполнять перемещением вторичного зеркала вдоль оптической оси. Этот метод фокусировки следует использовать с осторожностью, поскольку смещение вторичного зеркала из его расчётного положения приводит к появлению аберраций в изображении.

ФОКУСИРОВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО — механическое устройство, расположенное вблизи фокальной плоскости телескопа, на его окулярном узле, и служащее для плавного перемещения окуляров, фотокамер и другого дополнительного оборудования вдоль оптической оси телескопа с целью фокусировки. В качестве фокусировочного устройства может выступать простая фокусировочная трубка, вручную перемещаемая вперёд-назад, или более сложная конструкция, обеспечивающая плавное и точное перемещение. Среди подобных конструкций популярны резьбовые фокусировочные устройства, в которых используется резьбовая пара большого диаметра; перемещение осуществляется путём ввинчивания или вывинчивания окулярной трубки в резьбе, имеющейся на соответствующей части трубы телескопа.

Более совершенный вариант фокусировочного устройства — кремальера — состоит из зубчатой рейки, прикреплённой к окулярной трубке, и зубчатого колёсика, находящегося в зацеплении с рейкой. Колёсико насажено на ось с парой ручек на концах, вращая которые (лучше двумя руками), можно плавно перемещать окулярную трубку. В упрощённых вариантах кремальеры вместо пары «зубчатое колесико — рейка» используется цилиндр, прижатый к продольной плоскости на окулярной трубке: перемещение фокусировочной трубки при вращении цилиндра происходит за счёт трения. Оба упомянутых варианта фокусировочных устройств можно механизировать, применяя небольшие электродвигатели.

Точные фокусировочные устройства, имеющие малый люфт в подвижной части, особенно удобны при работе с ПЗС-камерами небольшого размера, поскольку не дают поперечного сдвига изображения при изменении направления фокусировки. Очень полезно иметь шкалу или электронную систему считывания положения подвижной части фокусировочного устройства. При наличии фокусировочной шкалы можно зафиксировать и использовать при последующих наблюдениях отсчёты сфокусированного положения для каждого из сменных устройств телескопа — окуляров, фотокамеры и т. п. Поскольку размеры компонентов фокусировочного устройства могут изменяться при изменении температуры, некоторые производители выпускают фокусировочные устройства с системой термокомпенсации.

ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ — расстояние между линзой или зеркалом и изображением источника, расположенного на бесконечности (т. е. дающего пучок параллельных лучей). Для собирающих линз и вогнутых зеркал изображение будет действительным; рассеивающие линзы и выпуклые зеркала дают мнимое изображение.

ФОН НЕБА — диффузное свечение небосвода. Днём оно вызвано рассеянием солнечного света в атмосфере Земли, ночью — излучением атомов и молекул атмосферы; светом далёких звёзд, туманностей и галактик; солнечным светом, рассеянным межпланетной пылью (зодиакальный свет), а также искусственными источниками света (ночное освещение городов и т. п.). Поверхностная яркость естественного фона неба в местах с хорошим астроклиматом в фильтре *B* может составлять 23^m с квадратной секунды дуги, однако в большинстве случаев яркость фона неба в несколько раз выше. Яркость фона зависит как от направления (зенитное расстояние, полоса Млечного Пути, зодиак, окрестности ярких звёзд и т. п.), так и от времени суток, фазы Луны и фазы цикла солнечной активности (свечение атмосферы заметно усиливается при повышении активности Солнца).

Именно статистические флуктуации фона неба является важным ограничивающим фактором при регистрации предельно слабых объектов. При наблюдении точечных источников — звёзд — практически не удаётся надёжно фиксировать объекты слабее 28^m с поверхности Земли и 30^m из космоса. При наблюдении протяжённых источников — галактик, туманностей — обычно предельная яркость составляет $27^m/\square''$ в фильтре *B*, что приблизительно соответствует $1 L_B^\odot/\text{пк}^2$. В исключительных случаях, при наблюдении из космоса или с фильтрами, отсекающими фон неба, удаётся зарегистрировать внешние области галактик, имеющие поверхностную яркость около $30^m/\square''$.

ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ — временное (от нескольких часов до одной-двух недель) уменьшение потока галактических космических лучей в течение нескольких суток после магнитной бури на Земле, связанное с движением разрыва солнечного ветра и области усиленного межпланетного магнитного поля. Объясняется вытеснением низкоэнергетических частиц космических лучей из околосолнечного пространства потоком частиц, порождённых вспышкой на Солнце и вызвавших магнитную бурю. Эффект открыт американским физиком С. Форбушем (S. Forbush, 1937).

ФОРБУШ-ЭФФЕКТ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ (эффект Форбуша) — совокупность событий в космических лучах, включающая Форбуш-понижение, возрастание потока перед Форбуш-понижением, увеличение анизотропии и флуктуаций космических лучей.

ФОРМАТ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ — способ кодирования данных в изображении, сохраняемом в электронном виде. Создано много разновидностей таких форматов. В астрономии широко используется формат FITS (Flexible Image Transport System, Гибкая система передачи изображений). Файл изображения в формате FITS имеет текстовую часть — заголовок размером, кратным 2880 байтов. В заголовке записаны размеры изображения, формат числа, представляющего интенсивность в пикселе, и прочие детали, касающиеся данного изображения: время создания, тип приёмника, модель телескопа и пр. Средняя часть файла — это собственно числовые данные интенсивностей пикселей изображения в формате, определённом в заголовке. Окончание файла заполняется нулями и дополняет его полный размер до числа, кратного 2880. Среди других часто используемых форматов популярны GIF (используется сжатие изображения, не более 256 цветов, распространённый формат в Интернете), JPEG (применяется высокая степень сжатия изображения с частичной потерей исходного качества, даёт малый размер конечного файла) и TIFF (применяются сжатые и несжатые типы файлов, 64 млн цветов, широко используется в полиграфии).

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК — последовательность событий, в результате которых каждая галактика становится обособленной от других и обретает индивидуальность — характерные массу, размер, структуру. Формирование большинства галактик произошло на стадии ранней Вселенной, после эры рекомбинации, закончившейся примерно через 300 тыс. лет после Большого взрыва. Небольшие пространственные флуктуации температуры реликтового излучения ($\Delta T/T \sim 10^{-5}$) сви-

детельствуют о существовании в раннюю космологическую эпоху небольших флуктуаций плотности вещества, что является необходимой предпосылкой зарождения галактики. Если бы на ранней стадии расширения Вселенной однородное вещество не смогло распасться на гравитационно связанные облака, то позднее, когда космос стал более разреженным, такого шанса у вещества уже не было бы.

Детали формирования галактик неизвестны, но теорий много. Уже ясно, что тёмная материя играет решающую роль в появлении гравитационных центров, вокруг которых обычное вещество конденсируется в галактики, но детали этого процесса зависят от температуры тёмной материи, а она ещё не известна. Холодная тёмная материя облегчает формирование галактик, в то время как при высокой температуре тёмной материи формирование обособленных структур из-за быстрого движения частиц затруднено.

Основная идея теорий формирования галактик состоит в том, что первые облака, обособившиеся во время расширения Вселенной, были облаками тёмной материи с некоторым количеством нейтрального водорода и гелия. Когда в дальнейшем под действием собственной гравитации эти облака сжимались, тёмная материи и обычное вещество должны были разделиться, так как обычное вещество может терять энергию (в основном на излучение) и поэтому способно сжиматься значительно сильнее, чем тёмная материя, которая, по-видимому, сжимается адиабатически. Происходит это так. В процессе гравитационного коллапса атомы водорода сближаются и начинают чаще сталкиваться. Газ разогревается и начинает сбрасывать тепло в виде инфракрасного излучения, позволяя коллапсу продолжаться. Тёмная материя ведёт себя иначе: при сжатии она тоже разогревается, но не способна охлаждаться путём излучения. Поэтому давление в ней быстро нарастает, и сжатие останавливается. Тёмная материя должна остаться в протяжённом гало галактики, как раз там, где она и обнаружена. Из-за потери энергии в среде водорода и гелия увеличивается плотность вещества в центральной части протогалактики, и образуются газовые облака. При столкновении двух облаков газ сжимается в ударном фронте, и это запускает процесс звёздообразования. Как только появляется излучение первой звезды, протогалактика становится первобытной галактикой.

Согласно одной из теорий, только что рождённые галактики были небольшими, возможно, не больше шаровых скоплений, и располагались вдоль филаментов (линейных уплотнений), пронизывавших молодую Вселенную, как паутина. Двигаясь по случайным направлениям, эти молодые звёздные системы могли сближаться и объединяться. Многократный повтор этого процесса приводил к образованию галактик всё большего размера. Спустя миллиарды лет вместо филаментов (цепочек) галактик появились скопления галактик, соединённых перемычками — остатками исходных филаментов. Эта теория филаментного формирования галактик получила в 2001 г. поддержку, благодаря наблюдениям Очень большого телескопа (VLT), выявившим ряд плотных водородных образований в ранней Вселенной, которые светятся под действием излучения горячих молодых звёзд, находящихся внутри них. Вероятно, эти образования являются филаментами, заполненными формирующимися галактиками.

ФОРМУЛА ПОГСОНА — связь между оптической освещённостью от двух источников (E_1, E_2) и разностью их видимых звёздных величин (m_1, m_2):

$$m_1 - m_2 = -2{,}5 \lg(E_1/E_2).$$

Эту формулу как основу для шкалы звёздных величин предложил в 1856 г. английский астроном Норман Погсон (Pogson N. R., 1829–1891), приведя к формальному виду список звёздных величин из каталога Гиппарха (II в. до н. э.).

ФОРНЬОТ (S XLII, Fornjot) — естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2004 г. Большая полуось орбиты 23 609 тыс. км. Орбитальный период 1354 сут. Эксцентриситет орбиты 0,186. Наклонение орбиты к эклиптике 168°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск 24,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1°17′48″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ФОТОВИЗУАЛЬНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — видимая звёздная величина объекта, измеренная по его изображению на фотографической эмульсии, спектральная чувствительность которой повторяет кривую спектральной чувствительности глаза (например, ортохроматическая фотоэмульсия).

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — видимая звёздная величина объекта, измеренная по его изображению на несенсибилизированной фотографической эмульсии.

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗЕНИТНАЯ ТРУБА — неподвижный телескоп-рефрактор, направленный вертикально вверх и предназначенный для определения географической широты места наблюдения и точного времени путём регистрации прохождения звёзд строго вблизи зенита. Особенностью этого телескопа является ртутный горизонт — сосуд с ртутью, помещённый в нижней части трубы на расстоянии от объектива несколько больше половины его фокусного расстояния. Лучи звёзд, находящихся близко к зениту, пройдя объектив и отразившись от поверхности ртути, идут вверх и образуют изображения звёзд немного ниже объектива. В этом месте, перпендикулярно к оптической оси, помещается кассета с фотопластинкой, которая плавно передвигается часовым механизмом перпендикулярно к плоскости небесного меридиана.

Наблюдения на фотографической зенитной трубе состоят в том, что незадолго до кульминации избранной звезды открывают фотопластинку и, то двигая её часовым механизмом со скоростью изображения звезды, то останавливая на некоторое время, получают несколько изображений звезды до меридиана. Около момента кульминации объектив вместе с пластинкой поворачивают вокруг вертикальной оси точно на 180° и получают несколько изображений звезды после прохождения меридиана. Из измерений расстояний между рядами изображений и между изображениями звезды в рядах по отметкам времени, которые автоматически впечатываются на эту же пластинку, вычисляют время кульминации звезды и её зенитное расстояние в этот момент. По этим данным, зная склонение и прямое восхождение звезды, определяют географическую широту места наблюдения и точное время.

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНКА — тонкий слой фотографической эмульсии, нанесённый на тонкую стеклянную пластинку. Для астрономических работ жёсткие фотопластинки предпочтительнее фотографических плёнок на целлулоидной основе. Это особенно важно для точных астрометрических измерений, поскольку стеклянные пластинки менее подвержены деформациям и лучше хранятся. В то же время фотопластинки менее распространены, нежели фотоплёнки, и их, как правило, следует специально заказывать у производителей.

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ПЛЁНКА (фотоплёнка) — гибкий светочувствительный материал, который получают, нанося тонкий слой фотографической эмульсии на прозрачную целлулоидную основу. Фотоплёнка бывает листовой (в виде прямоугольных пластин) и рулонной (лента, накрученная на катушку).

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ — то же, что *Оптическая плотность*.

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ — основной панорамный детектор в астрономии, применявшийся для получения изображений со второй половины XIX до конца XX в. Хотя к началу XXI в. фотоэмуль-

сия во многих приложениях вытеснена приборами с зарядовой связью (ПЗС), её всё ещё используют, часто благодаря дешевизне и простоте применения. Фотоэмульсия состоит из микроскопических (1 мкм) кристаллов бромистого серебра с небольшой примесью йодистого серебра (в виде твёрдого раствора), взвешенных в желатиновой основе. Фотон, поглощённый кристаллом, освобождает электрон, превращающий ион серебра в атом. Для получения отдельного стабильного кристалла необходимо образование от 10 до 20 атомов серебра, подобная группа атомов формирует отдельный центр чувствительности (зерно) в скрытом изображении. После экспонирования фотоэмульсию нужно проявить. Проявление — это химический процесс восстановления бромистого серебра в металлическое серебро, причём катализатором процесса служат атомы самого серебра. Таким образом, кристаллы, имеющие центры чувствительности, проявляются быстрее (полностью превращаясь в серебро), нежели неэкспонированные кристаллы бромистого серебра. После проявления фотоэмульсию фиксируют при помощи другого химического процесса, во время которого происходит растворение и удаление из эмульсии непроявленного бромистого серебра. Полученное фотографическое изображение воспроизводит объект съёмки, причём большая плотность проявленных зёрен серебра соответствует большей яркости объекта, поэтому, поскольку металлическое серебро поглощает свет, фотографическое изображение оказывается негативным. Для получения нормального (позитивного) изображения необходимо перефотографировать негатив (этот процесс называют фотопечатью), однако для большинства астрономических применений используются непосредственно негативы.

Фотографическая эмульсия имеет низкую квантовую эффективность (0,1–1%), что частично объясняется значительным количеством фотонов, которые должны поглотиться в отдельном кристалле, прежде чем образуется устойчивый центр чувствительности. Скорость образования центров чувствительности в некоторой степени зависит от размеров кристаллов бромистого серебра; более чувствительные эмульсии имеют больший размер кристаллов. В то же время при большем размере кристаллов разрешающая способность эмульсии снижается, поэтому необходим разумный компромисс между скоростью образования зёрен (чувствительностью) и разрешением. При длинных экспозициях чувствительность фотоэмульсии существенно снижается (явление невзаимозаместимости), поскольку происходит нарушение обратно пропорциональной зависимости между потоком света и временем, необходимым для его регистрации. Выпускается ряд специальных астрономических фотоэмульсий, для которых эффект невзаимозаместимости снижен (но не исключён полностью).

Простейшим видом фотографической эмульсии является несенсибилизированная фотоэмульсия, спектральная чувствительность которой лежит в пределах от 350 до 450 нм. Диапазон спектральной чувствительности фотоэмульсии расширяют в сторону длинных волн путём добавления красителей. Коротковолновая граница чувствительности фотоэмульсии определяется поглощающими свойствами желатиновой основы, поэтому её можно варьировать, используя альтернативные вещества основы или обходясь без них. Такими способами спектральный диапазон, в котором применима фотография, может быть расширен до интервала от 300 нм до 1,1 мкм (см. *Панхроматическая эмульсия, Ортохроматическая эмульсия, Изохроматическая эмульсия*). Изображение, регистрируемое на фотоэмульсии, является чёрно-белым (иногда его называют монохроматическим). Комбинация нескольких слоёв из эмульсий с различной спектральной чувствительностью даёт цветную фотоплёнку.

ФОТОГРАФИЯ — 1. Моментальное изображение объекта, зафиксированное в оптических лучах. 2. Процесс получения изображений с использованием фотографической эмульсии. Фотографическая пластинка или плёнка обычно удерживаются в соответствующей камере, однако при астрономических съёмках объективом и камерой служит сам телескоп, и всё, что необходимо в этом случае, — держатель для плёнки или пластинки, установленный в фокальной плоскости телескопа, и съёмная крышка для открывания и закрывания объектива телескопа при выполнении экспозиции.

ФОТОДИОД — детектор излучения оптического диапазона, в котором используется переход между p- и n-легированными областями в кремнии. Фотоны, поглощённые в области перехода, возбуждают и переводят электроны в зону проводимости, что приводит к появлению тока в p-n-переходе. Величина фототока пропорциональна освещённости, следовательно, измеряя его, можно измерять и интенсивность падающего излучения. Размер детектирующей области можно увеличить путём добавления слоя кремния (изолятора) между двумя p- и n-легированными слоями; такой детектор известен как p-i-n фотодиод. Если к фотодиоду приложить напряжение порядка 200 В, первичные пары электрон–дырка будут ускоряться и рождать новые пары, в результате чего одно событие поглощения фотона приведёт к появлению многих сотен пар электрон–дырка. Подобный детектор называется лавинным фотодиодом.

ФОТОИОНИЗАЦИЯ — процесс образования электронно-ионных пар в результате воздействия фотонов на атомы или молекулы.

ФОТОКАМЕРА — устройство, регистрирующее оптическое изображение объектов на фотографической плёнке или фотопластинках. Замена химических детекторов света (фотоэмульсии) на электронные (ПЗС-матрицы) не привело к изменению термина: цифровые устройства, регистрирующие оптическое изображение, по-прежнему называют фотокамерами, а в быту нередко — фотоаппаратами.

ФОТОКАТОД — детектирующий элемент электронно-вакуумных светоприёмников: фотоумножителей, усилителей яркости и т. п. Фотокатод представляет собой тонкий слой фотоэмиттера, например антимонида цезия, нанесённый на стеклянную подложку. При попадании на фотокатод фотонов он испускает электроны.

ФОТОМЕТР — прибор для измерения интенсивности электромагнитного излучения небесных объектов. Детектором у фотометров оптического диапазона обычно служит фотоумножитель, нуждающийся в источнике высокого напряжения. Для использования с небольшими телескопами выпускают фотометры на основе фотодиодов. Обычно фотометр имеет измерительную диафрагму, выделяющую изображение объекта и ограничивающую влияние фона, оптический подсмотр для центрирования объекта в диафрагме, а также несколько сменных светофильтров. Как правило, набор этих фильтров позволяет получить измерения в одной из стандартных фотометрических систем. Важным элементом фотометра с фотоумножителем является линза Фабри, использование которой снижает ошибки измерений, которые могли бы возникнуть из-за неоднородности чувствительности по площади фотокатода. Фотография и современные ПЗС-детекторы также позволяют получать количественную информацию об интенсивности излучения астрономических объектов, причём ПЗС в силу ряда преимуществ практически вытеснили фотографию при проведении фотометрических измерений.

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА — набор спектральных диапазонов, удобный для изучения звёзд или, например, галактик. Ширина и положение диапазонов на спектральной шкале выбираются так, чтобы сопоставление потоков излучения звезды в этих диапазонах позволило оценить распределение энергии в спек-

тре звезды и таким образом определить её физические свойства, а также свойства межзвёздной среды. Прежде всего это температура поверхности и класс светимости звезды, её химический состав, а также степень межзвёздного поглощения света, а для галактик и квазаров — их красное смещение и степень активности. Во многих случаях измерение блеска звезды или галактики в нескольких диапазонах спектра даёт достаточную информацию для предварительной классификации спектра и позволяет проводить массовые измерения для статистического изучения больших популяций объектов. Разумеется, спектральные измерения более точны, но и значительно более трудоёмки, а для объектов низкого блеска подчас просто невозможны.

Фотометрическая система реализуется путём подбора светофильтров и фотоэмульсий (или иных приёмников излучения). Система закрепляется в виде каталогов звёзд-стандартов. В соответствии с характерной полушириной полосы пропускания фильтров ($\Delta\lambda$) фотометрические системы разделяют на широкополосные ($\Delta\lambda > 40$ нм), среднеполосные ($\Delta\lambda = 10$–40 нм) и узкополосные ($\Delta\lambda < 10$ нм). К первым относят чрезвычайно популярную трёхцветную систему *UBV* с диапазонами шириной около 100 нм: ультрафиолетовый *U* (эффективная длина волны 350 нм), синий *B* (435 нм) и визуальный *V* (555 нм). Добавляя красные (*R*) и инфракрасные (*I*) величины, получают 5-цветную широкополосную систему *UBVRI*. Дополнительные ИК-величины (*J, H, K, L, M, N, Q*) дают 12-цветную систему. В астрономической практике спектральные диапазоны часто называют «фильтрами». Для большинства фильтров имеется абсолютная калибровка, позволяющая по звёздным величинам объекта найти плотность потока.

Широкополосные фотометрические системы

Величина	λ_0, мкм	$\Delta\lambda$, мкм	Плотность потока для звезды 0^m	
			10^{-14} Вт/(см^2 мкм)	10^{-26} Вт/(м^2 Гц)
U	0,35	0,04	435	18,8
B	0,44	0,10	720	44,4
V	0,56	0,08	392	38,1
R	0,70	0,21	176	30,1
I	0,88	0,22	83	24,3
J	1,25	0,3	34	17,7
H	1,62	0,2	–	–
K	2,2	0,6	3,9	6,3
L	3,5	0,9	0,81	3,1
M	5,0	1,1	0,22	1,8
N	10,4	6,0	0,012	0,43
Q	20,0	5,5	–	–

Средне- и узкополосные системы менее популярны, поскольку их воспроизводимость хуже. Одной из первых среднеполосных систем была 4-цветная система *uvby*, введённая Стрёмгреном и Перри в 1962 г. на обсерваториях Маунт Паломар и Китт Пик (США).

Среднеполосная фотометрическая система Стрёмгрена

Величина	Название фильтра	λ_0, нм	$\Delta\lambda$, нм
u	ultraviolet	350	30
v	violet	411	19
b	blue	467	18
y	yellow	547	23

Наиболее полно разработанной среднеполосной системой считают Вильнюсскую 7-цветную, применяемую для двумерной спектральной классификации звёзд. См.: Страйжис В. Л. Фотометрические системы // Методы исследования переменных звёзд. М.: Наука, 1971. С. 225–278; Страйжис В. Л. Многоцветная фотометрия звёзд. Вильнюс, 1977.

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА *UVBY* — то же, что *Фотометрическая система Стрёмгрена.*

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС ОЛЬБЕРСА — один из классических космологических парадоксов, сформулированный в 1823 г. немецким астрономом и врачом Генрихом Вильгельмом Ольберсом (1758–1840). Кратко этот парадокс представляется в виде вопроса: «Почему ночью небо тёмное?» Проблема состоит в том, что если в бесконечном пространстве Вселенной равномерно рассеяны излучающие звёзды, то в любом направлении на луче нашего зрения обязательно должна оказаться поверхность какой-либо звезды, а значит, всё небо днём и ночью должно ослепительно сиять, подобно поверхности Солнца. В действительности же ночное небо тёмное. Часто эту проблему называют также парадоксом Шезо–Ольберса, поскольку швейцарский астроном Жан Шезо (Jean-Philippe-Loys de Cheseaux, 1718–1751) высказал аналогичную идею ещё в 1744 г. Однако можно вспомнить, что эту же проблему примерно в те же годы обсуждал Эдмунд Галлей (1656–1742), а ещё раньше — Иоганн Кеплер (1571–1630), который в 1610 г. приводил факт темноты ночного неба как аргумент против безграничной Вселенной, заполненной бесконечным количеством звёзд. Впрочем, ещё в 1576 г. вопросом, почему ночное небо тёмное, задавался английский математик Томас Диггес (Thomas Digges, 1546–1595).

Для объяснения фотометрического парадокса Ольберс предположил, что в межзвёздном пространстве имеется рассеянное вещество, которое поглощает свет далёких звёзд. Хотя спустя столетие межзвёздное поглощение света действительно было обнаружено, оно не смогло разрешить фотометрический парадокс: в безграничной и вечной Вселенной, однородно заполненной звёздами, сами пылинки нагрелись бы до температуры звёздной поверхности и светились бы как звёзды.

Позже немецкий астроном Хуго Зелигер (Hugo von Seeliger, 1849–1924) сформулировал другой космологический парадокс — гравитационный. Он заключается в том, что, согласно ньютоновой теории тяготения в бесконечной Вселенной, однородно заполненной веществом, сила тяготения не имеет определённой конечной величины.

В рамках классической физики оба парадокса нашли разрешение в модели иерархического строения Вселенной, разработанной Карлом Вильгельмом Шарлье (1862–1934), профессором астрономии и директором обсерватории Лундского университета (Швеция). В 1908 г. он опубликовал новую теорию строения Вселенной; в окончательном виде она была изложена Шарлье в 1922 г. Согласно ей, Вселенная представляет собой бесконечную совокупность входящих друг в друга систем всё возрастающего порядка сложности: отдельные звёзды образуют галактику первого порядка, совокупность галактик первого порядка образует галактику второго порядка (Метагалактику), совокупность галактик второго порядка образует галактику третьего порядка, и т. д. до бесконечности. На основании такого представления о строении Вселенной Шарлье пришёл к выводу о том, что в бесконечной Вселенной иерархической фотометрический и гравитационный парадоксы устраняются, если расстояния между равноправными системами достаточно велики по сравнению с их размерами, что приводит к непрерывному уменьшению средней плотности космической материи по мере перехода к системам более высокого порядка.

Однако идея Шарлье не подтвердилась: изучив распределение далёких галактик, Эдвин Хаббл (1889–1953) и другие астрономы доказали, что в больших масштабах Вселенная однородна и изотропна. С другой стороны, открытое Хабблом расширение Вселенной показало, что чем дальше от нас галактики и их звёзды, тем быстрее они удаляются от нас. Тогда некоторые исследователи решили, что один лишь эффект красного смещения может объяснить темноту ночного неба, поскольку свет, испущенный далёкими звёздами, достигая Земли, оказывается за пределами оптического диапазона спектра. Однако другие исследователи сходились во мнении, что более важным является ограничение возраста Вселенной: за время, прошедшее с начала расширения нашего мира (около 14 млрд лет), до нас дошёл свет лишь от ограниченного числа галактик (поряд-

ка 10 млрд); этого слишком мало, чтобы сделать ночное небо светлым. Окончательно фотометрический и гравитационный парадоксы были разрешены лишь в релятивистской теории эволюционирующей Вселенной, разработанной на основе общей теории относительности А. Эйнштейна (1879–1955).

ФОТОМЕТРИЯ – раздел физической оптики, в котором рассматриваются энергетические характеристики оптического или инфракрасного излучения, испускаемого различными источниками (в том числе и небесными объектами), особенности распространения этого излучения в различных средах, а также методы измерения его интенсивности. Длина волны и ширина полосы пропускания при измерениях обычно задаются и ограничиваются при помощи фильтров (см. *Фотометрическая система*), хотя в инфракрасном диапазоне в ряде случаев имеются естественные фильтры в виде окон прозрачности атмосферы. Точная фотометрия при выполнении наблюдений требует превосходных атмосферных условий, поэтому для фотометрических работ предпочтительны высокогорные обсерватории.

ФОТОН – элементарная частица, квант электромагнитного излучения. Масса покоя фотона $m_\gamma = 0$; его скорость равна скорости света c. (Самое жёсткое наблюдательное ограничение сверху на m_γ вытекает из наличия крупномасштабного магнитного поля диска Галактики: $m_\gamma < 10^{-60}$ г.) Спин фотона равен 1 в единицах $\hbar$, поэтому фотон относится к бозонам – частицам с целочисленным спином. Вследствие нулевой массы покоя фотон может находиться только в двух спиновых состояниях: со спином, параллельным и антипараллельным направлению его движения (спиральность ±1). Фотон участвует в электромагнитном и гравитационном взаимодействиях. Он служит переносчиком электромагнитного взаимодействия заряженных частиц. Рассматривают также и виртуальные фотоны, обмен которыми, в отличие от реальных фотонов, может осуществлять кулоновское и статические магнитные взаимодействия. Представление о поле электромагнитного излучения как о совокупности электромагнитных квантов ввёл в 1905 г. А. Эйнштейн. Каждой частоте ν электромагнитного излучения отвечают определённая энергия фотона $E = h\nu$ и абсолютная величина импульса фотона $p = h\nu/c$.

В астрономии термин «фотон» обычно употребляется в отношении кванта оптического (т. е. видимого + инфракрасного) диапазона спектра. В радиодиапазоне квантовая природа излучения проявляется слабо, а для жёсткого диапазона обычно используют термины «рентгеновский квант» и «гамма-квант».

ФОТОННАЯ СФЕРА – сфера, образованная квантами света (фотонами), движущимися по круговым орбитам вокруг шварцшильдовской чёрной дыры. Радиус фотонной сферы равен $1{,}5\, r_g$, где r_g – гравитационный радиус чёрной дыры.

ФОТОННЫЙ ШУМ – квантовый шум в оптическом диапазоне частоты.

ФОТОРЕЗИСТОР – полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего электрического сопротивления при облучении светом. Обычно применяется как детектор в инфракрасном диапазоне. Реакцией фоторезистора на излучение является увеличение проводимости из-за перехода электронов из валентной зоны в зону проводимости. Изменение сопротивления регистрируется путём измерения небольшого тока смещения фоторезистора. Для изготовления фоторезисторов используют полупроводниковые материалы с шириной запрещённой зоны, оптимальной для решаемой задачи. Так, для регистрации видимого света используются фоторезисторы из селенида и сульфида кадмия. Для регистрации инфракрасного излучения используются антимонид индия (InSb), германий (Ge), чистый или легированный примесями других химических элементов (Au, Cu или Zn), и др. Полупроводник наносят тонким слоем на стеклянную или кварцевую подложку или вырезают в виде тонкой пластинки из монокристалла. Слой или пластинку полупроводника снабжают двумя электродами и помещают в защитный корпус. В процессе наблюдений фоторезистор обычно охлаждают до низких температур.

ФОТОСФЕРА (греч. «сфера света») – непрозрачный нижний слой атмосферы Солнца, который мы видим в оптический телескоп и воспринимаем как поверхность Солнца. Фактически это самый глубокий слой атмосферы Солнца, доступный наблюдению. Толщина фотосферы 200–300 км, температура в ней уменьшается с высотой от 8–10 тыс. К до 4300 К. От других слоёв Солнца фотосфера отличается минимальной температурой и низкой степенью ионизации газа: большинство атомов водорода в ней нейтральны, а металлы (кальций, натрий, магний, железо и др.) однократно ионизованны.

ФОТОУМНОЖИТЕЛЬ – детектор электромагнитного излучения, применяемый в оптическом и ультрафиолетовом диапазонах спектра. Фотоумножители имеют высокое внутреннее усиление и широко применяются в фотометрах и системах счёта фотонов. Фотоумножитель имеет вакуумированный стеклянный цилиндрический корпус, снабжённый входным окном, прозрачным для излучения измеряемого участка спектра. За входным окном расположен фотокатод – тонкий слой вещества с фотоэмиссионными свойствами, например антимонида цезия, к которому приложен большой отрицательный потенциал (от –1000 до –2000 В). На другом конце корпуса фотоумножителя находится анод, а всё пространство между фотокатодом и анодом занято системой промежуточных электродов – динодов. Напряжение, приложенное к динодам, последовательно понижается относительно фотокатода, причём разность потенциалов между соседними динодами составляет 100–200 В. Диноды также имеют покрытие из фотоэмиттера, обычно антимонида цезия. При поглощении фотона материалом фотокатода испускается фотоэлектрон, который благодаря наличию разности потенциалов устремляется к первому диноду. Ускоряясь в электростатическом поле, фотоэлектрон ударяется в первый динод и выбивает вторичные электроны: один первичный фотоэлектрон способен породить от 5 до 20 вторичных. Вторичные электроны летят с ускорением ко второму диноду; при соударении каждый из них снова производит по 5–20 электронов. Процесс умножения повторяется вдоль всей динодной системы фотоумножителя, давая на аноде импульс из 10^6 и более электронов на один зарегистрированный фотон.

Фотоумножитель имеет высокую квантовую эффективность (до 20%) и значительное внутреннее усиление. Варьируя фотоэмиттирующее вещество фотокатода, можно создавать приборы, регистрирующие излучение в интервале длин волн от 1,1 мкм до 150 нм. Вместе с тем фотоумножители имеют и некоторые недостатки, что вынуждает в целом ряде случаев заменять их ПЭС-приёмниками. К недостаткам фотоумножителей относят необходимость использования высокого напряжения, низкую механическую прочность, зависимость квантового выхода от координат на фотокатоде, а также наличие некоторой нелинейности выходного сигнала.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА – видимая звёздная величина объекта, измеренная при помощи фотоэлектрического детектора, как правило, фотоумножителя (ФЭУ).

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ – то же, что *Фотодиод*.

ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ, ФЭУ – детектор оптического (от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного) излучения. Применяется в фотометрах, основанных на счёте фотонов. Обычно фотоумножитель представляет собой вакуумированный стеклянный цилиндр с плоским входным окном, за которым расположен фотокатод – тонкий

слой фотоэмиттера, к которому приложено высокое отрицательное напряжение (−1000...−2000 В). На другом конце корпуса находится анод, а между ним и фотокатодом расположены 15–20 промежуточных электродов – динодов, к которым приложено последовательно понижающееся напряжение с разностью потенциалов между соседними динодами около 100 В. При поглощении фотона катодом испускается электрон, который под действием разности потенциалов, увеличивая свою скорость, устремляется к первому диноду. Ударяясь в него, он выбивает от 5 до 20 вторичных электронов, которые летят с ускорением ко второму диноду, и т. д. (Динод назван так потому, что играет двойную роль: как анод для падающих электронов и как катод при испускании вторичных электронов.) В итоге процесс размножения электронов даёт на аноде ФЭУ импульс из миллиона и даже более электронов на один зарегистрированный фотон. Этот импульс регистрируется счётчиком как сигнал о приходе фотона.

ФОТОЭЛЕМЕНТ – то же, что *Фотодиод*.

ФОТОЭМИССИЯ, или внешний фотоэффект – явление эмиссии (испускания, вылета) электронов с поверхности вещества при облучении этой поверхности фотонами с достаточной энергией, т. е. с длиной волны менее некоторого предела. Явление внешнего фотоэффекта используется во многих типах детекторов, включая электронно-оптический преобразователь и фотоумножитель.

ФОТОЭФФЕКТ – освобождение электронов вещества при поглощении этим веществом электромагнитного излучения (фотонов). Различают внешний фотоэффект, при котором освободившиеся электроны вылетают за пределы облучаемого вещества (фотоэлектронная эмиссия), и внутренний фотоэффект, при котором электроны остаются в веществе, но становятся свободными носителями заряда (фотопроводимость и другие фотоэлектрические явления).

Внешний фотоэффект был объяснён А. Эйнштейном (1905) на основе представлений о квантовой природе света. Свободный электрон не может поглотить фотон; фотоэффект возможен лишь при наличии связи электрона с атомом, молекулой или конденсированной (твёрдой или жидкой) средой. Эта связь характеризуется в атоме энергией ионизации, а в конденсированной среде, например в кристалле, – работой выхода.

При поглощении отдельного фотона его энергия расходуется на работу выхода электрона из вещества и на сообщение ему некоторой кинетической энергии. Поэтому существует наименьшая (пороговая) частота электромагнитного излучения $\nu_п$, способного вызвать фотоэффект, при которой энергия фотона $\varepsilon = h\nu_п$ достаточна только для совершения работы выхода электрона.

Фотоны монохроматического излучения сообщают выбиваемым электронам приблизительно одинаковую энергию, поэтому от интенсивности потока фотонов зависит не скорость выбитых электронов, а их число. Количественной характеристикой фотоэлектронной эмиссии служит квантовый выход Y – число вылетевших электронов (фотоэлектронов), приходящихся на 1 фотон излучения, падающего на поверхность тела (вблизи порога фотоэффекта для большинства металлов $Y \approx 10^{-4}$ электронов на 1 фотон). Максимальная начальная скорость $v_{э,макс}$ фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, она определяется частотой света. Если между облучаемым веществом и каким-либо проводником (анодом) создать электрическое поле, ускоряющее фотоэлектроны, то возникает упорядоченное движение этих электронов – фотоэлектрический ток (фототок).

Ускоряемые электрическим полем электроны приобретают дополнительную энергию. Такие электроны могут ионизировать газ или выбивать вторичные электроны из вещества, усиливая тем самым фототок. Эти принципы усиления фототока лежат в основе работы фотоумножителей, электронно-оптических преобразователей и других фотоэлектрических приёмников излучения, применяемых в астрономии для регистрации слабых световых потоков. Спектральная чувствительность приборов, в которых используется внешний фотоэффект, зависит прежде всего от характеристик фотокатода – нанесённого на специальную подложку слоя металла или полупроводника, из которого излучение выбивает электроны.

При внутреннем фотоэффекте, характерном для полупроводников, поглощение фотонов приводит к перераспределению электронов по энергетическим состояниям: электроны заполненной (валентной) энергетической зоны переходят в зону проводимости и становятся носителями тока. В результате либо уменьшается электрическое сопротивление вещества (на этом принципе работает фотосопротивление), либо на границе полупроводника с другим полупроводником или проводником возникает электродвижущая сила. На явлении внутреннего фотоэффекта основано действие полупроводниковых фильтров, используемых в инфракрасной астрономии. Эти фильтры пропускают излучение с частотой $\nu < \nu_п$, энергия фотонов которого недостаточна для того, чтобы вызывать фотоэффект.

ФРАНК-КАМЕНЕЦКИЙ, Давид Альбертович (3.08.1910, Вильно, ныне Вильнюс, Литва, – 2.06.1970, Москва) – российский физик и астрофизик. Разработал (1951–1955) теорию центральных звёздных автоколебаний, решил (1956) задачу об усилении ударной волны во внешних слоях звезды. Автор монографии «Физические процесс внутри звёзд» (1959).

ФРАНЦИСКО (U XXII, Francisco) – естественный спутник Урана. Его открыли Мэтью Холман, Б. Глэдман, Дж. Кавелаарс и др. в 2003 г. Большая полуось орбиты 4276 тыс. км. Орбитальный период 266,56 сут. Эксцентриситет орбиты 0,1459. Наклонение орбиты к эклиптике 145°, т. е. орбитальное движение обратное, против направления орбитального обращения планеты. Размер около 22 км. Масса около $7 \cdot 10^{15}$ кг при средней плотности около 1,3 г/см^3. Видимый блеск 25^m и максимальное угловое расстояние от планеты 6′ 12″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ФРАУНГОФЕРОВЫ ЛИНИИ – тёмные линии поглощения, наблюдаемые на фоне непрерывного спектра Солнца и звёзд. Названы в честь немецкого оптика Й. Фраунгофера, детально исследовавшего эти линии в спектре Солнца в 1814 г. Фраунгоферовы линии – важный источник информации о химическом составе атмосфер Солнца и звёзд, а также о физических условиях в них. См. *Линии Фраунгофера*.

ФРИДМАН, Александр Александрович (16.06.1888, Санкт-Петербург, Россия,– 16.09.1925, Ленинград, СССР) – русский и советский математик и геофизик, создатель теории нестационарной Вселенной. В юности увлекался астрономией. В 1906 г. опубликовал свою первую математическую работу в одном из ведущих научных журналов Германии – «Mathematische Annalen». В 1906 г. поступил на математическое отделение физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета, который окончил в 1910 г. Был оставлен на кафедре чистой и прикладной математики для подготовки к профессорскому званию (т. е. стал аспирантом). Руководил практическими занятиями в Институте инженеров путей сообщения, читал лекции в Горном институте. В 1913 г. поступил в Аэрологическую обсерваторию в Павловске под Петербургом и занялся динамической метеорологией (теперь эту область науки называют геофизической гидродинамикой). Весной 1914 г. был направлен в командировку в Лейпциг, где в это время жил известный норвежский метеоролог Вильгельм Бьёркнес (1862–1951), создатель теории атмосферных фронтов. Летом того же года Фридман летал на дирижаблях, принимая участие в подготовке к наблюдению солнечного затмения в августе 1914 г.

С началом Первой мировой войны добровольно вступил в русскую армию, в авиационный отряд. Читал лекции, в 1914–1917 гг. проводил работы по организации аэронавигационной и аэрологической службы на Северном и других фронтах. Участвовал в качестве наблюдателя в боевых вылетах. Не имея специального военного образования, получил за заслуги звание лётчика-наблюдателя (с золотым орлом на погонах) и боевые ордена.

В 1918–1920 гг. был профессором Пермского университета. С 1920 г. работал в Главной физической обсерватории (с 1924 г. — Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова), одновременно с 1920 г. преподавал в различных учебных заведениях Петрограда. С 1923 г. — главный редактор «Журнала геофизики и метеорологии». Незадолго до смерти (Фридман умер от брюшного тифа) был назначен директором Главной геофизической обсерватории. Его основные научные работы посвящены проблемам динамической метеорологии (теории атмосферных вихрей и порывистости ветра, теории разрывов непрерывности в атмосфере, атмосферной турбулентности), гидродинамике сжимаемой жидкости, физике атмосферы и релятивистской космологии. В июле 1925 г. с научными целями совершил полёт на аэростате вместе с пилотом П. Ф. Федосеенко, достигнув рекордной по тому времени высоты 7400 м.

Фридман одним из первых освоил аппарат теории гравитации Эйнштейна и начал читать в университете курс тензорного исчисления как вводную часть к курсу общей теории относительности. В 1923 г. вышла в свет его книга «Мир как пространство и время» (переиздана в 1965, 2001, 2007, 2009 гг.), познакомившая широкую публику с новой физикой.

Фридман сделал один из самых значительных научных прогнозов — предсказал расширение Вселенной. Полученные им в 1922–1924 гг. первые нестатические решения уравнений Эйнштейна при исследовании релятивистских моделей Вселенной положили начало развитию теории нестационарной Вселенной. Он исследовал нестационарные однородные изотропные модели с пространством положительной кривизны, заполненным пылевидной материей (с нулевым давлением). Нестационарность рассмотренных моделей описывается зависимостью радиуса кривизны и плотности от времени, причём плотность изменяется обратно пропорционально кубу радиуса кривизны. Фридман выяснил типы поведения таких моделей, допускаемые уравнениями тяготения, причём модель стационарной Вселенной Эйнштейна оказалась частным случаем. Опроверг мнение о том, что общая теория относительности требует принятия конечности пространства. Результаты Фридмана продемонстрировали, что уравнения Эйнштейна не приводят к единственной модели Вселенной, какова бы ни была космологическая постоянная. Из модели однородной изотропной Вселенной следует, что при её расширении должно наблюдаться красное смещение, пропорциональное расстоянию. В 1929 г. Эдвин Хаббл подтвердил это на основании астрономических наблюдений: линии в спектрах галактик оказались смещены к красному концу спектра пропорционально расстоянию до галактики.

Посмертно награждён премией им. В. И. Ленина (1931).

ФРИДМАН Алексей Максимович (17.02.1940, Москва, СССР, — 29.10.2010, Иерусалим, Израиль) — российский астрофизик и физик, академик РАН (2000). Окончил Новосибирский университет (1963), работал в Институте ядерной физики (1963–1971), в Институте солнечно-земной физики (1971–1979) СО АН СССР, с 1979 г. — в Институте астрономии РАН, зав. отделом. Преподавал в Новосибирском университете (1964–1971), в 1971–1979 гг. — профессор Иркутского университета, в 1980–1986 г. — профессор Московского физико-технического института; с 1987 г. — профессор МГУ им. М. В. Ломоносова. Лауреат Государственных премий СССР и России. Открыл (1975–1995) новые типы неустойчивостей гравитирующей среды. Построил (1971–1985) теорию планетных колец и предсказал открытые впоследствии малые спутники Урана. Создал (1972–1996) гидродинамическую теорию спиральной структуры галактик. Соавтор монографий «Равновесие и устойчивость гравитирующих систем» (М.: Наука, 1976), «Физика гравитирующих систем», т. 1 и 2 (Нью-Йорк: Шпрингер, 1984), «Физика планетных колец» (М.: Наука, 1994), «Физика галактических дисков» (М.: Физматлит, 2011).

ФРИДМАН, Херберт (Friedman, Herbert) (21.06.1916, Бруклин, Нью-Йорк, США, — 9.09.2000, Арлингтон, шт. Виргиния, США) — американский астроном, один из основоположников внеатмосферной астрономии. Впервые измерил излучение звёзд в далёкой ультрафиолетовой области. Провёл многочисленные исследования на ракетах и спутниках космического рентгеновского и гамма-излучения.

ФУКО, Жан Бернар Леон (Foucault, Jean Bernard Léon) (18.09.1819, Париж, Франция, — 11.02.1868, Париж, Франция) — французский физик, астроном. Вместе с Х. Физо (1819–1896) получил (1845) первую фотографию Солнца. С помощью свободно подвешенного «маятника Фуко» доказал (1851) вращение Земли. Предложил метод контроля астрономической оптики и изготовления стеклянных зеркал для крупных телескопов. Изобрёл (1850) способ измерения скорости света с помощью вращающегося зеркала.

ФУЛЛЕРЕНЫ — молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода (другие формы — алмаз, графит, карбин и графен) и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода, — микроконструкции, образующие сферическую структуру с полостью внутри. Названы в честь американского архитектора Р. Б. Фуллера (1895–1983), предложившего строить ажурные куполообразные конструкции из сочетаний пяти- и шестиугольников. Минимальное количество атомов углерода в молекуле фуллерена — 60, однако их может быть и больше: 70, 76, 78, 82, 84, 90, 94, 96 и т. д. Чем из большего количества атомов углерода построен фуллерен, тем больше объём полости внутри него. При формировании фуллерена из атомов углерода в его полости, как в закрытом сосуде, могут оказаться заключены другие атомы или молекулы.

Фуллерены были обнаружены в составе метеоритов, а внутри них были найдены молекулы, попавшие туда во время их формирования много сотен миллионов, а может быть, и миллиардов лет назад. Таким образом, появилась возможность изучать «законсервированные» пробы вещества, из которого состояла Солнечная система в то время, когда формировались те или иные фуллерены.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ АСТРОМЕТРИЯ — область астрономии, занятая построением фундаментальной системы небесных координат на основе установления точнейших экваториальных координат и собственных движений ярких, так называемых фундаментальных, звёзд, а также пространственные инерционные системы координат. Эти системы применяются в звёздной астрономии, небесной механике и геодезии.

ФУНКЦИЯ РАССЕЯНИЯ ТОЧКИ — результат наблюдения инструментом точечного источника или его эквивалента (например, монохроматической эмиссионной линии при использовании спектроскопа). Функцию рассеяния точки (ФРТ; англ. point spread function, PSF) называют также аппаратной функцией или инструментальным профилем. Из-за дифракции, рассеяния света, аберраций и т. п. изображение точечного источника не является математической точкой. Функция рассеяния точки обычно имеет узкий центральный пик, содержащий от 50 до 80% энергии, и обширные внешние крылья, часто с наложенными дифракционными кольцами, заключающие оставшуюся долю энергии. Функция рассеяния точки определяет разрешение и частотно-

контрастную характеристику инструмента. ФРТ используется при обработке изображений, в частности, при восстановлении изображений методом максимума энтропии и обработке изображений с помощью алгоритма CLEAN.

ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ – относительное число звёзд или других астрономических объектов разной светимости в единице объёма космического пространства. Функция светимости характеризует состав звёздных систем и отражает их строение и эволюцию. Различают функции светимости галактик, звёздных скоплений, а также различных типов звёзд.

ФУОРЫ (переменные звёзды типа FU Ориона, FU Orionis, FU Ori) – эруптивные формирующиеся звёзды, на диаграмме Герцшпрунга–Рассела движущиеся к главной последовательности, поэтому их называют «звёздами до главной последовательности». По-видимому, они являются одним из состояний звёзд типа Т Тельца (T Tau). Прототип этой группы, сама звезда FU Ориона, имеет спектральный класс G3Iav. В настоящее время эта звезда находится на вершине трека Хаяши. В 1937 г. её блеск неожиданно возрос в течение года с $16{,}5^m$ до $9{,}6^m$ и остался на этом уровне; вокруг звезды стала видна отражательная туманность, размер которой продолжает увеличиваться. Количество лития в звезде в 80 раз больше, чем на Солнце.

Долгое время эта звезда считалась уникальной, но в 1970 г. была открыта подобная звезда V1057 Cyg, затем V1515 Cyg и ещё несколько звёзд этого типа. Одной из последних обнаруженных звёзд этого типа стала погруженная в облако протозвезда V1647 Ori, продемонстрировавшая вспышку в январе 2004 г.

Блеск фуоров возрастает примерно на 6^m в течение нескольких месяцев. За это время происходит выброс вещества, а затем блеск звезды остаётся постоянным или медленно ослабевает на $1–2^m$ в течение нескольких лет. Все фуоры связаны с отражательными туманностями.

Современные модели формирования звёзд связывают вспышку фуора с аккрецией газа из околозвёздного диска на молодую маломассивную звезду типа Т Тельца. Темп аккреции $\sim 10^{-4}\ M_\odot$/год; время нарастания светимости – порядка года, но может быть и значительно дольше; продолжительность активной фазы – десятки лет. В среднем молодая звезда на этом этапе эволюции может продемонстрировать 10–20 подобных вспышек.

ФУРЬЕ-СПЕКТРОГРАФ – прибор для получения спектров, известный также как спектрограф Майкельсона, основой которого служит интерферометр Майкельсона–Морли. В фурье-спектрографе свет от источника, собранный телескопом, при помощи светоделителя, расщепляется на два ортогональных пучка. С помощью плоских зеркал каждый из пучков возвращается назад, к светоделителю, пройдя который пучки вновь объединяются. Наличие разности оптических путей у двух пучков приводит к появлению на выходе интерференционной картины. Суммарный выходной поток измеряется одноканальным детектором. При медленном перемещении одного из плоских зеркал вдоль оси пучка происходит изменение разности хода, следовательно, меняется характер интерференционной картины. Переменный сигнал интегрирующего детектора при изменении разности хода представляет собой фрагмент преобразования Фурье от спектра входного излучения. Вычисляя обратное преобразование Фурье от зарегистрированного сигнала, можно получить искомый спектр источника.

X

ХАББЛ Эдвин Пауэлл (Hubble, E. P.) (20.11.1889, Маршфилд, шт. Миссури, США, – 28.09.1953, Сан-Марино, Калифорния, США) – американский астроном. Получил образование в Чикагском университете, где Дж. Э. Хейл привил ему любовь к астрономии, и в Оксфордском университете (Англия). Затем работал в обсерваториях Маунт Вилсон и Маунт Паломар. В основном изучал внегалактические туманности. В 1923 г. нашёл переменные звёзды-цефеиды в Туманности Андромеды, что позволило ему определить расстояние до неё. В результате было доказано, что спиральные туманности являются галактиками, т. е. независимыми звёздными системами, лежащими за пределом нашей Галактики. Хаббл предложил систему классификации галактик, изучал их распределение и лучевые (радиальные) скорости. Он обнаружил, что большинство галактик удаляется от нас и что существует линейная зависимость между радиальной скоростью галактики и расстоянием до неё. Он показал также, что галактики распределены в пространстве достаточно однородно. Его работы стали наблюдательным фундаментом современной космологии. Открытия Хаббла получили широкую известность благодаря его книгам «Мир туманностей» (1936) и «Наблюдательный подход к космологии» (1937). Его заслуги отмечены медалью К. Брюс (1938), медалью Бенджамина Франклина (1939), Золотой медалью Королевского астрономического общества (1940), орденом «Легион Почёта» за выдающийся вклад в исследования баллистики (1946).



Эдвин Хаббл

ХАЛДЕНЕ (J XXI, Chaldene) – естественный спутник Юпитера. Авторы открытия – Скотт Шеппард и др. (2000). Большая полуось орбиты 23 179 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 723,8 сут. Эксцентриситет орбиты 0,252. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск $22{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $2°\,40'\,20''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ХАЛС, Рассел Алан (Hulse, Russell Alan) (р. 28.11.1950, Нью-Йорк, США) – американский радиоастроном. Нобелевская премия 1993 г. совместно с Дж. Х. Тейлором за открытие радиопульсара PSR B1913+16, входящего в тесную двойную систему с другой нейтронной звездой (так называемый «двойной пульсар Халса–Тейлора»). Наблюдение за тем, как систематически сокращается орбитальный период этой системы, позволило доказать существование гравитационных волн, которые уносят энергию гравитационного взаимодействия нейтронных звёзд. Высокую точность наблюдений обеспечило наличие пульсара.

ХАМЕЛЕОН – маленькое южное созвездие, неинтересное для любительских наблюдений. Но профессиональные астрономы изучают в нём мощный комплекс молекулярных облаков и связанные с ним области звёздообразования. В 1999 г. вокруг звезды η Cha обнаружено близкое рассеянное скопление Mamajek 1 возрастом 8 млн лет, удалённое от нас на 316 св. лет.

ХАОСЫ (греч. *chaos*, мн. *chaoses*) – характерные районы разрушенного рельефа. Встречаются на Марсе и Европе.

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ КРИВАЯ – график, показывающий зависимость оптиче-

ской плотности изображения на фотографической эмульсии от логарифма экспозиции (т. е. от произведения освещённости на время). Характеристическая кривая используется для определения относительных интенсивностей объектов по измеренным оптическим плотностям их фотографических изображений.

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ – сумма импульсов скорости ($v_1+v_2+...$), приложенных в разных точках траектории для изменения орбиты космического аппарата.

ХАРАКТЕРНОЕ ВРЕМЯ – интервал времени, за который какая-либо характеристика процесса изменяется на величину, близкую к её текущему значению. Например, характерное время затухания квазипериодического сигнала – это интервал времени, за который его амплитуда уменьшается в e раз (e = 2,71828...).

ХАРОН (Pluto I, Charon) – один из естественных спутников планеты-карлика Плутон. Открыл его Джеймс Кристи 22 июня 1978 г. на Наблюдательной станции Морской обсерватории США во Флагстаффе. Большая полуось орбиты: 17 536 км до барицентра системы Плутон–Харон и 19 571 км до центра Плутона. Орбитальный период 6,387230 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0022. Наклонение орбиты к эклиптике 112,78°, к экватору Плутона 0,001°, к плоскости орбиты Плутона 119,59°. Таким образом, орбитальное движение Харона происходит в сторону вращения Плутона, но в обратном направлении относительно движения планет Солнечной системы. Суточное вращение Плутона и Харона синхронизовано с их орбитальным движением (т. е. они оба постоянно повернуты друг к другу одними и теми же полушариями).

Средний диаметр Харона 1207 км (0,52 диаметра Плутона). Масса $1,5 \cdot 10^{21}$ кг (около 12% от массы Плутона). Средняя плотность около 1,7 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 28 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 580 м/с. Альбедо около 38%. Видимый блеск 16,8^m и максимальное угловое расстояние от планеты 0,9″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Угловой диаметр 0,055″.

Поскольку барицентр системы Плутон–Харон лежит вне тела Плутона, эту систему можно было бы считать двойной карликовой планетой. Но МАС всё же называет Харон спутником Плутона. По своим физическим характеристикам Харон относится к так называемым планетам-спутникам.

ХАТИ (S XLIII, Hati) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2004 г. Большая полуось орбиты 20 303 тыс. км. Орбитальный период 1080,1 сут. Эксцентриситет орбиты 0,29. Наклонение орбиты к эклиптике 163°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск 24,4^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1°08′07″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ХЕЙ, Джеймс Стэнли (Hey, James Stanley) (3.05.1909, Нельсон, граф. Ланкашир, Англия, – 27.02.2000) – английский радиоинженер и радиоастроном. Открыл (1942) радиоизлучение активных областей на Солнце, показал (1946) возможность радиолокации метеоров. Открыл (совместно с С. Парсонсом и Дж. Филлипсом, 1946) первый дискретный космический радиоисточник. Автор книги «Радиовселенная» (1975, рус. пер. 1978).

ХЕЙЛ, Джордж Эллери (Hale, George Ellery) (29.06.1868, Чикаго, – 21.02.1938, Пасадена, Калифорния) – американский астроном. Широко известен своими спектральными исследованиями Солнца и звёзд, открытием магнитного поля солнечных пятен и созданием крупнейших телескопов своего времени. В 1890 г. окончил Массачусетский технологический институт, посвятив последний год обучения исследовательской работе в обсерватории Гарвардского колледжа. В 1893–1894 гг. продолжил исследования в Берлинском университете. В 1888–1891 гг. организовал Кенвудскую обсерваторию в Чикаго. Тогда же изобрёл спектрогелиограф – прибор для фотографирования Солнца в узком спектральном диапазоне. В 1892 г. стал доцентом, а затем профессором астрофизики Чикагского университета. В 1895 г. Хейл организовал Йеркскую обсерваторию этого университета в Уильямс-Бей (шт. Висконсин) и стал её директором. Занимал этот пост до 1904 г., организовав постройку 40-дюймового рефрактора, до сих пор крупнейшего в мире.

В 1904 г. организовал и до 1923 г. был директором обсерватории Маунт Вилсон (Калифорния) Института Карнеги в Вашингтоне. Его усилиями там были сооружены 60- и 100-дюймовый звёздные телескопы-рефлекторы, в те годы крупнейшие в мире. По его инициативе и при поддержке Фонда Рокфеллера был построен 200-дюймовый рефлектор Паломарской обсерватории Калифорнийского технологического института. Ныне этот телескоп назвали именем Хейла. Он участвовал в организации Библиотеки и Галереи искусств Генри Хантингтона в Сан-Марино (Калифорния) и был их попечителем.

Хейл удостоен многих премий, медалей и почётных званий академий наук США, Британии, Франции, Бельгии, Голландии и Италии за работы по астрономии и оптике, а также за организаторскую деятельность. Он был одним из редакторов «Bulletin Astronomique» (1892–1895), позже вошедшего в состав «Astronomy and Astrophysics»; был основателем и редактором «Astrophysical Journal» (1895–1935). Его перу принадлежат книги «Изучение звёздной эволюции» (1908), «Десять лет работы горной обсерватории» (1915), «Новые небеса» (1922), «Глубины Вселенной» (The Depths of the Universe, 1924), «За пределом Млечного Пути» (1926) и «Сигналы от звёзд» (1931).

ХЕРБИГ, Джордж Хауэрд (Herbig, George Howard) (р. 2.01.1920, Гонолулу, Гавайи) – американский астроном. Одновременно с Г. Аро открыл (1951) компактные эмиссионные туманности вблизи формирующихся звёзд (объекты Хербига–Аро). Изучил молодые звёзды с эмиссионными линиями (Ae и Be звёзды Хербига).

ХЁГИНС, сэр Уильям (Huggins, Sir William) (7.02.1824, Лондон – 12.05.1910, Лондон) – английский астроном, один из первых использовавший спектроскоп для изучения звёзд. Образование получил под руководством частных преподавателей. В 1842–1854 гг. вёл торговые дела семьи. В 1854 г. переехал в Талс-Хилл (близ Лондона), где в 1856 г. на личные средства оборудовал собственную обсерваторию, в которой работал до конца жизни. Сначала вёл наблюдения на 20-сантиметровом рефракторе, а после 1870 г. – на 38-сантиметровом рефракторе, подаренном ему Королевским обществом Великобритании. Начал с наблюдения планет (1858–1860), но затем, оценив значение открытого Г. Р. Кирхгофом и Р. В. Бунзеном в 1859 г. метода спектрального анализа, перешёл к изучению спектров небесных тел. Он сам сконструировал спектроскоп и начал наблюдения звёздных спектров параллельно с обширными лабораторными исследованиями. В 1863 г. показал, что спектры Солнца и звёзд имеют много общего и что их наблюдаемое излучение испускается горячим веществом и проходит через вышележащие слои более холодных поглощающих газов. В 1864 г. впервые наблюдал спектры светящихся туманностей, состоящие из отдельных эмиссионных линий, и тем самым доказал, что эти туманности являются газовыми. В 1866 г. впервые выполнил спектроскопические наблюдения новой звезды (Новая Северной Короны 1866) и обнаружил наличие вокруг неё газовой оболочки, светящейся в линиях водорода. Наблюдал спектры трёх комет и показал, что они содержат полосы, принадлежащие углероду и его соединениям. Одним из первых использовал принцип Доплера–Физо для определения лучевых скоростей звёзд по сдвигу линий поглощения в их спектрах. В 1868 г. измерил лучевую скорость Сириуса. Начиная с 1875 г. выполнял многочислен-

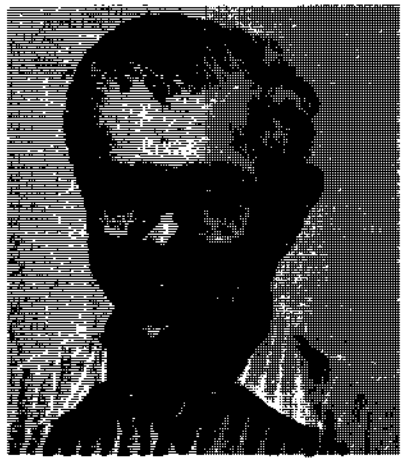
ные фотографические спектральные наблюдения звёзд, планет и Луны; усовершенствовал методику астрофотографии. Хёггинс и Генри Дрэпер (1837–1882), работая независимо, 24 июня 1881 г. впервые сфотографировали спектр кометы (Комета 1881 III).

В спектральных наблюдениях постоянной помощницей Хёггинса была его жена Маргарет. Совместно они подготовили и издали в 1899 г. «Атлас типичных звёздных спектров», в котором приведены спектры звёзд разных типов и дана их интерпретация. В частности, показано, что вид спектра зависит от температуры фотосферы звезды и от её массы. Хёггинс удостоился высоких почестей: в 1876–1878 гг. он — президент Лондонского королевского астрономического общества, с 1901 г. — иностранный член-корреспондент Санкт-Петербургской АН. Пионерские работы Хёггинса по астрофизике принесли ему много научных наград: Парижская АН удостоила его нескольких своих премий; он получил также Королевскую медаль Лондонского королевского общества (1866), две медали Лондонского королевского астрономического общества (1867, 1885), медали им Б. Румфорда (1880) и им. Копли (1898) Лондонского королевского общества. В 1897 г. был возведён в рыцарское звание. Его имя занесено на карты Луны и Марса.

ХИРАЯМА Кийоцугу (13.10.1874–8.04.1943) — японский астроном. Выделил (1915–1919) пять семейств астероидов, сходных по орбитальным характеристикам: семейства Фемиды, Эоса, Корониды, Марии и Флоры. Предположил, что каждое из них образовалось при распаде одного крупного тела.

ХОД ЧАСОВ — изменение поправки часов за определённый промежуток времени, например, за сутки. При отрицательном ходе часы уходят вперед, при положительном — всё более отстают.

ХОЙЛ, Фред (Sir Fred Hoyle) (24.06.1915, дер. Гилстед, близ Бингли в черте г. Брадфорд, графство Зап. Йоркшир, Англия, — 20.08.2001, Борнмут, Англия) — английский астрофизик. Родился в семье торговца шерстью. В 10 лет заинтересовался звёздами и стал изучать небо. Окончив начальную школу в Бингли, он продолжил обучение в колледже Эммануэля в Кембридже, отдавая предпочтение точным наукам. Физике он учился у великого Поля Дирака, предсказавшего антивещество. В 1939 г. Хойл окончил университет с отличием по математике, получив премию Мэйхью как один из лучших выпускников, и был принят на работу в колледж Св. Джона Кембриджского университета. В 1958 г. он стал Плюмиановским профессором астрофизики



Фред Хойл

и преподавал в Кембриджском университете до 1973 г. С 1969 г. он профессор астрономии Королевского института Великобритании, с 1972 г. — почётный профессор Манчестерского университета и с 1975 г. — почётный профессор Кардиффского университета.

В годы Второй мировой войны Хойл работал в Сигнальном корпусе Адмиралтейства, где занимался вопросами радиолокации. В тот период он познакомился с математиком Германом Бонди и астрономом Томасом Голдом, которых гитлеровская оккупация заставила эмигрировать из Австрии в Англию. Это сотрудничество оказалось плодотворным. В 1944 г. вышла из печати работа Бонди и Хойла о падении межзвёздного вещества на поверхность звёзд, заложившая фундамент теории аккреции; а в 1948 г. Бонди, Голд и Хойл опубликовали знаменитую теорию стационарной Вселенной, дискуссии вокруг которой не утихают до сих пор. Выдвинул теорию стационарной расширяющейся Вселенной (вместе с Х. Бонди и Т. Голдом, 1948). Создал теорию звёздного нуклеосинтеза (вместе с Вербиджами и У. Фаулером, 1946–1957). Развивал теорию панспермии (вместе с Ч. Викрамасингом). Автор многих нетривиальных идей в астрономии, научно-популярных и научно-фантастических произведений. В частности, автор термина «Большой взрыв» и научно-фантастических романов «Чёрное облако» и (совместно с Дж. Эллиотом) «Андромеда». Большой интерес вызвал перевод на русский язык научно-популярной книги Хойла «Галактики, ядра и квазары» (М.: Мир, 1968).

ХОКИНГ (Хоукинг), Стивен Уильям (Hawking, Stephen William) (р. 8.01.1942, Оксфорд, Англия) — английский физик-теоретик и космолог. Доказал (1974), что чёрные дыры могут «испаряться», т. е. терять энергию и вещество (эффект Хокинга). Доказал несколько основных теорем о сингулярностях в космологии (вместе с Р. Пенроузом, 1970). Предложил (1971) новый механизм образования чёрных дыр. Занимается наукой, превозмогая чрезвычайно тяжёлое заболевание, полностью парализовавшее его с молодых лет.

ХОЛЛ, Асаф (Hall, Asaph) (15.10.1829 г., Гошен, шт. Коннектикут — 22.11.1907 г., Аннаполис, шт. Мэриленд) — американский астроном. В Гарвардском университете продемонстрировал исключительные способности в теоретической астрономии. В 1862 г. президент Линкольн назначил Холла астрономом Морской обсерватории в Вашингтоне, где он оставался до 1891 г., проводя наблюдения астероидов и комет. Руководил также несколькими экспедициями на солнечные затмения, измерил период вращения Сатурна и изучил движение его спутника Гипериона. В 1877 г. в результате систематических поисков открыл спутники Марса — Фобос и Деймос. в 1897–1901 гг. профессор математики в Гарвардском университете.

ХОНДРИТЫ — распространённый тип каменных метеоритов, характеризующийся наличием хондр. Хондриты составляют около 85% всех метеоритов, в противоположность ахондритам. При употреблении этого названия теперь подразумевается и определённый химический состав, за исключением наиболее летучих элементов, аналогичный составу Солнца.

ХОНДРЫ — небольшие сфероидальные частицы размером примерно от 1 до 10 мм (иногда больше), во множестве встречающиеся в метеоритах-хондритах. Вероятно, образовались в результате быстрого охлаждения силикатных минералов (обычно оливина и/или пироксена).

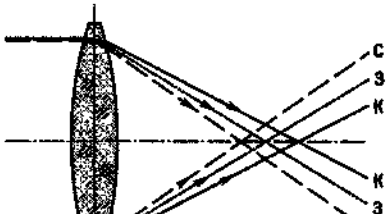
ХОРНЕР, Себастьян фон (Sebastian Rudolf von Hoerner) (15.04.1919, Гёрлиц, Германия, — 7.01.2003, Эслинген, земля Баден-Вюртемберг, Германия) — немецкий физик и астроном. В 1949 г. окончил Гёттингенский университет по курсу теоретической физики. В 1951 г. там же защитил диссертацию под руководством К. Ф. фон Вейцзеккера. В 1949–1957 гг. работал в Институте физики Общества М. Планка (Гёттинген), в 1957–1962 гг. — в Институте вычислительной астрономии (Хайдельберг), в 1962–1982 гг. — в Национальной радиоастрономической обсерватории Грин-Бэнк (шт. Зап. Виргиния, США). Как приглашённый профессор работал в университетах Базеля (Швейцария, 1962), Лос-Анджелеса (США, 1969), Мехико (Мексика, 1971), Корнельском университете (США, 1974) и в Институте Макса Планка (Бонн, 1972, 1975, 1984).

Фон Хорнер развивал новые методы в звёздной динамике; в 1955 г. первый построил кинематическую диаграмму для шаровых звёздных скоплений и с её по-

мощью показал, что шаровые скопления движутся в Галактике по сильно вытянутым орбитам. Одним из первых фон Хорнер применил компьютер для численного изучения динамики звёздных систем, получив при этом фундаментальные результаты. Автор проектов нескольких крупнейших радиотелескопов мира, первым выдвинувший принцип «мягкого» зеркала, сохраняющего при деформациях параболическую форму, несмотря на изменение её фокусного расстояния. Участвовал в разработке инфракрасных и оптических, а также космических телескопов. Изучал проблемы демографии и колонизации космоса, возможности межзвёздных перелетов, восприятия человеком звуков и теоретические вопросы музыки. Автор более 200 научных работ и проектов; соавтор книги «Происхождение звёзд» (1960, совместно с Дж. Бербиджем и др.), обзора «Вселенная» (совместно с К. Шейфером) в Справочнике Мейерса (1960–1967). Член многих международных научных обществ и союзов. Награждён премией Немецкого общества естествоиспытателей (1960) и премией им. А. Гумбольдта (1984).

ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ – размытие и окрашенность краев изображений объектов в линзовых телескопах и камерах, возникающее из-за разной степени преломления в линзах лучей различного цвета: коэффициент преломления для голубых лучей больше, чем для красных (дисперсия света). Излучение обычных источников света обладает сложным спектральным составом, что приводит к возникновению хроматической аберрации, которой в особенности страдают однолинзовые объективы.

Различают два типа хроматической аберрации: продольную и поперечную. Продольная хроматическая аберрация (так называемый хроматизм положения фокуса) состоит в том, что для лучей разного цвета фокальные плоскости располагаются на разном расстоянии от линзы, т. е. пересекают оптическую ось в разных местах, поэтому изображение светлой точки выглядит на экране концентрическим набором цветных кружков (при любом положении экрана в точку фокусируется не более одного цвета). Поперечная хроматическая аберрация (так называемый «хроматизм увеличения») состоит в том, что даже если фокальные плоскости для лучей разного цвета совпадают, для них могут различаться фокусные расстояния (а значит, и масштаб изображения и степень дисторсии) оптической системы. Из-за хроматизма увеличения предметы конечного размера дают изображения с цветной каймой.



Хроматическая аберрация. Красные (К), зелёные (З) и синие (С) лучи фокусируются на разном расстоянии от линзы

В отличие от геометрических аберраций, хроматические аберрации возникают и в параксиальной области. Подавить хроматическую аберрацию частично удаётся, комбинируя в объективе несколько линз из разных сортов стекла (крон, флинт), имеющих различные коэффициенты преломления. Такие многолинзовые объективы – ахроматы и, в особенности, апохроматы – почти свободны от хроматической аберрации. Зеркальная оптика полностью ахроматична.

ХРОМОСФЕРА (греч. *chromatos* – цвет + лат. *sphere* – сфера = сфера цвета) – слой солнечной атмосферы, простирающийся над фотосферой примерно на 10 тыс. км. В отличие от фотосферы, в которой с увеличением высоты наблюдается падение температуры, в хромосфере с высотой температура растёт примерно от 4500 К до десятков тысяч кельвинов; растёт также и степень ионизации газа.

Название «хромосфера» связано с тем, что при полном солнечном затмении она выглядит как тонкий окрашенный (розоватый) ободок вокруг Солнца. До высоты 1500 км лежит сравнительно плотная нижняя хромосфера, а выше простираются средний слой (1500–4000 км) и верхний слои, отличающиеся очень неоднородной структурой, наличием множества мелких волокон и струй (см. *Спикулы*), достигающих высоты 10–13 тыс. км в окружении более разреженного коронального газа.

ХРОНОЛОГИЯ – 1) последовательность исторических событий во времени; 2) наука об измерении времени. Астрономическая хронология изучает закономерности повторяющихся небесных явлений и устанавливает точное астрономическое время. Историческая хронология – вспомогательная историческая дисциплина, изучает системы летосчисления и календари различных народов и государств, помогает устанавливать даты исторических событий и время создания исторических источников.

ХЬЮИШ, Энтони (Hewish, Antony) (р. 11.05.1924, Фои, граф. Корнуолл, Англия) – английский радиоастроном. Открыл (1964) мерцание радиоисточников малого углового размера на неоднородностях космической плазмы. Нобелевская премия по физике (совместно с М. Райлом, 1967) за открытие радиопульсаров (совершённое Джоселин Белл).

ХЮЛСТ, Хендрик Кристоффель ван де (Hendrik Christoffel «Henk» van de Hulst) (19.11.1918, Утрехт, Нидерланды, – 31.07.2000, Лейден, Нидерланды) – нидерландский астроном. Предсказал (1944) возможность наблюдения линии 21 см межзвёздного водорода, открытой в 1951 г. По этим данным выявил (вместе с Я. Оортом) спиральную структуру Галактики. Автор монографии «Рассеяние света малыми частицами» (1957, рус. пер. 1961).

Ц

ЦВЕТ ЗВЕЗДЫ – визуальная характеристика излучения звезды в оптическом диапазоне, зависящая от эффективной температуры $T_э$ её поверхности. С ростом $T_э$ цвет звёзд меняется (подобно цвету раскалённого тела) от красного к голубому.

Цвет звёзд главной последовательности и приблизительное значение $T_э$

Спектральный класс	Цвет	$T_э$, К
O	голубой	40000–28000
B	голубовато-белый	28000–10000
A	белый	10000–7000
F	желтовато-белый	7000–6000
G	жёлтый	6000–5000
K	оранжевый	5000–3500
M	красный	3500–2400

По физиологическим причинам человеческий глаз различает цвета только ярких звёзд, слабые (тусклые) звёзды выглядят белыми. Количественной мерой цвета звезды служит показатель цвета.

ЦВЕТНАЯ ФОТОПЛЁНКА – фотографическая плёнка, непосредственно регистрирующая цветное изображение. Цветная фотоэмульсия имеет три различных слоя, каждый из которых чувствителен в своём участке спектра видимого света. Хотя цветную фотоплёнку можно использовать для астрономической фотографии, цветовой баланс получаемых изображений при длинных экспозициях будет искажаться из-за различий в проявлении эффекта невзаимозаместимости в каждом из слоёв. По этой причине цветные изображения астрономических объектов предпочтительнее получать, используя три отдельных экспозиции через три различных цветных светофильтра на чёрно-белой фотоплёнке, с последующим совмещением полученных изображений для получения цветного изображения.

ЦВИККИ, Фриц (Zwicky, Fritz) (14.02.1898, Варна, Болгария, – 8.02.1974, Пасадена, шт.

Калифорния, США) — швейцарский астроном и физик. В 1920 г. окончил Швейцарский федеральный технологический институт в Цюрихе, в 1922 г. защитил диссертацию по физике и до 1925 г. работал в том же институте. С 1925 по 1972 гг. работал в Калифорнийском технологическом институте (США) и на связанных с ним обсерваториях Маунт Вилсон и Маунт Паломар. В начале 1930-х гг. занимался физикой твёрдого тела, ионизованного газа и термодинамикой, затем перешёл к изучению новых и сверхновых звёзд и космических лучей. В 1934 г. совместно с В. Бааде выдвинул гипотезу, что вспышки сверхновых представляют совершенно особый тип звёздных взрывов, гораздо более редкий и полностью отличный от новых звёзд. Цвикки и Бааде первыми высказали предположение, что в результате взрыва сверхновой образуется сверхплотная вырожденная звезда, состоящая из нейтронов. С явлением сверхновой Цвикки связывал также происхождение космических лучей. В 1936 г. он организовал службу сверхновых звёзд для их систематического поиска в соседних галактиках. С 1937 по 1941 гг. сам открыл 18 сверхновых, тогда как за всю предыдущую историю астрономии их было замечено около 12. С небольшим перерывом служба сверхновых ведётся до настоящего времени в нескольких обсерваториях мира.

Цвикки открыл также множество белых карликов.

Цвикки внёс большой вклад во внегалактическую астрономию. Он разработал и успешно применил к изучению галактик метод «аналитической фотографии», заключающийся в наложении негативного и позитивного отпечатков одной и той же области неба, снятых в разных лучах. Он открыл и описал десятки тысяч галактик и их скоплений, создал фундаментальный шеститомный каталог галактик. Выполнил многочисленные исследования их пространственного распределения. Исходя из особенностей этого распределения, пришёл к выводу о существовании межгалактического поглощающего вещества облачной структуры, а также общего межгалактического поля тёмной материи. Первым высказал мысль о существовании вещества за пределами видимых оптических границ галактик, что находит подтверждение в новейших наблюдениях. Совместно с С. Смитом впервые применил теорему вириала к скоплениям галактик и показал, что динамическая энергия скоплений слишком велика, если не допустить существования в них скрытой массы. Эта идея Цвикки приобретает принципиальное значение в современной космологии. Осуществил поиски галактик небольших размеров, приведшие к открытию очень компактных галактик высокой светимости (так называемые галактики-пигмеи).

В 1943–1961 гг. Цвикки был также главным научным консультантом фирмы «Аэроджет дженерал корпорейшн» (Азуза, шт. Калифорния). Ему принадлежат 50 патентов, в основном в области ракетной техники; он изобрёл ряд реактивных и гидротурбореактивных двигателей. Принимал участие в разработке ракетных ускорителей для взлёта тяжёлых самолётов. В октябре 1946 г. под руководством Цвикки с помощью ракеты «Фау-2» был осуществлён запуск «искусственных метеоров» — первый эксперимент по созданию искусственных астрономических объектов. Является автором своеобразного морфологического метода исследований в астрономической и ракетной технике, изложенного им в книгах «Морфологическая астрономия» (1957) и «Морфология реактивного движения» (1962). Основатель и президент (с 1961) Общества морфологических исследований. В 1972 г. награждён Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества.

ЦЕЙС — предприятие Carl Zeiss в г. Йена (Германия), выпускающее телескопы, микроскопы, бинокли и другое оптическое оборудование, а также проекционные аппараты для планетариев. Основателем предприятия в 1846 г. был Карл Цейс (Carl Friedrich Zeiss, 1816–1888), всемирно известный немецкий инженер и производитель оптики.

ЦЕЛОСТАТ (лат. *caelum* — небо + греч. *statos* — стоящий) — вспомогательная система из двух плоских зеркал перед объективом неподвижного солнечного телескопа (вертикального или горизонтального), позволяющая следить за небесными объектами. Плоскость одного из зеркал параллельна оси мира и вращается вокруг этой оси с периодом 48 час, направляя луч светила на второе, неподвижное зеркало, которое отражает его в объектив телескопа. Положение второго зеркала меняют в соответствии со склонением наблюдаемого светила. Использовать целостат значительно проще, чем поворачивать такой громоздкий инструмент, как солнечный телескоп. Важно, что целостат посылает свет от любого участка неба в фиксированном направлении без вращения выходного изображения.

Возможна и конструкция целостата с единственным плоским зеркалом; такое устройство называют сидеростатом. В этом случае плоское зеркало устанавливают на экваториальной монтировке; оно питает неподвижный телескоп, оптическая ось которого ориентирована параллельно оси вращения Земли. Недостатком сидеростата является вращение изображения объекта при его сопровождении. Изредка целостат и сидеростат применяются в звёздных телескопах.

ЦЕЛЬСИЙ, Андерс (Celsius, Anders) (27.11.1701, Упсала, Швеция, — 25.04.1744, Упсала) — шведский астроном, известный изобретением стоградусной температурной шкалы. Родился в прославленной семье учёных, окончил университет в Упсале и с 1730 г. до конца жизни работал там профессором. При его участии была организована Упсальская обсерватория, директором которой он стал. В 1742 г. опубликовал описание стоградусной шкалы термометра, в которой точка кипения воды была принята за 0, а точка таяния льда за 100. Позже другой выдающийся шведский учёный, биолог Карл Линней «перевернул» эту шкалу, приняв за 0 точку таяния льда. Этой шкалой мы пользуемся до сих пор, называя её шкалой Цельсия (°C). В 1948 г. она была принята как международная.

ЦЕНТР АСТРОНОМИИ ВЫСОКОГО УГЛОВОГО РАЗРЕШЕНИЯ (Center for High Angular Resolution Astronomy) — оптическая и инфракрасная обсерватория на г. Вилсон, шт. Калифорния, США. Основной инструмент Центра — система оптического апертурного синтеза из шести 1-метровых телескопов, позволяющая достичь углового разрешения 0,0002″.

ЦЕНТР АСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ — БАЗА ДАННЫХ, аккумулирующая разнообразную астрономическую информацию, созданная и поддерживаемая NASA в Центре космических полётов им. Годдарда. База доступна через http://adc.gsfc.nasa.gov.

ЦЕНТР АСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ В СТРАСБУРГЕ (фр. Centre de données astronomiques de Strasbourg, англ. Strasbourg Astronomical Data Center, CDS) — главный центр астрономических данных, базирующийся на обсерватории г. Страсбура, Франция (бывш. г. Страсбург, Германия). Данные Центра доступны по адресу http://cds.u-strasbg.fr. База данных об астрономических объектах за пределом Солнечной системы (SIMBAD) доступна по http://simbad.u-strasbg.fr.

ЦЕНТР МАЛЫХ ПЛАНЕТ — организация Международного астрономического союза, расквартированная в Смитсонианской астрофизической обсерватории, которая принимает сообщения об открытиях комет, астероидов и т. п. Для официального признания факта открытия астрономическим сообществом сообщение об открытии следует оправить в Центр малых планет. Если вы полагаете, что открыли что-нибудь на небе (вначале тщательно проверьте это!), то можно связаться с Центром малых планет через http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mcp.html или через поисковые системы Интернета по ключевому сочетанию MPC (Minor Planet Center).

ЦЕНТРАЛЬНОЕ БЮРО АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕЛЕГРАММ (Central Bureau for Astronomical Telegrams, CBAT) – Организация Международного астрономического союза, принимающая и проверяющая сообщения об открытии астрономических объектов: комет, астероидов, новых и сверхновых звёзд, и проч. Право на открытие признается астрономической общественностью лишь в случае своевременной посылки сообщения в CBAT. Адрес в Интернете – http://www.cbat.eps.harvard.edu/index.html.

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ МЕРИДИАН – воображаемая линия на диске планеты, спутника планеты или Солнца, которая соединяет северный и южный полюсы и разделяет объект на восточную и западную видимые половины диска.

ЦЕРАСКИЙ, Витольд Карлович (9.05.1849, Слуцк, Россия, – 29.05.1925, близ г. Подольска Московской области) – русский астроном. В 1871 г. окончил Московский университет и до 1916 г. работал в обсерватории этого университета (с 1890 г. директор), с 1882 г. также преподавал в университете (с 1889 г. профессор). С 1914 г. член-корреспондент Петербургской АН.

Цераский – один из пионеров применения фотографии в астрономии. Основал московскую школу астрофотометрии. В 1887 г. построил фотометр (на основе фотометра Целльнера), с которым измерил яркость звёзд в околополярной области и в нескольких звёздных скоплениях. В 1903 г. оригинальным способом очень точно определил видимую звёздную величину Солнца. Осуществил важные эксперименты по определению температуры Солнца, оценил её нижний предел. Организовал в Московской обсерватории систематические поиски и изучение переменных звёзд фотографическим путём, начатые в 1895 г. на сконструированном им короткофокусном широкоугольном астрографе. К настоящему времени Московская «стеклянная библиотека» одна из самых богатых в мире.

В 1885 г. открыл ночные светящиеся облака («серебристые облака»), наблюдал их на протяжении 1885–1892 гг. и нашёл их среднюю высоту. Предложил аналитический метод определения координат метеорного радианта и метод определения угловой скорости метеоров. Занимался усовершенствованием астрономических приборов: изобрёл окуляр, удобный для детального изучения солнечных пятен; сконструировал кассету для получения на гелиографе снимков в определённом масштабе, разработал специальный гелиометр для измерения величины сжатия Солнца. В 1891–1903 гг. осуществил перестройку Московской обсерватории, оснастил её современным оборудованием.

ЦЕРВИТ (Cer-Vit) – стеклокерамический материал с очень низким коэффициентом температурного расширения, широко используемый для изготовления больших астрономических зеркал. Материалы с аналогичными свойствами – ситалл, церодур (zerodur), ULE (Ultra-Low Expansion).

ЦЕРОДУР, или зеродур, – стеклокерамический материал Zerodur с низким коэффициентом температурного расширения, широко применяемый для изготовления зеркал крупных телескопов. Материалы с аналогичными свойствами известны и под другими названиями – цервит, ULE, ситалл.

ЦЕСЕВИЧ Владимир Платонович (11.10.1907, Киев, Украина, – 28.10.1983, Одесса, СССР) – советский астроном. Известный исследователь переменных звёзд и организатор их изучения. Автор книг «Переменные звёзды» (1949), «Звёзды типа RR Лиры» (1966), «Что и как наблюдать на небе» (несколько изданий, 1950–1984).

ЦЕФЕИДЫ – переменные звёзды, жёлтые гиганты или сверхгиганты, периодически изменяющие свою светимость и, соответственно, наблюдаемую яркость. Прототип этого класса переменных – звезда δ Цефея (δ Cep). Причиной переменности служат периодические колебания радиуса и температуры фотосферы, т. е. пульсации звезды, возникающие из-за нарушения баланса между силами гравитации, стремящимися сжать звезду, и силами давления горячего газа и излучения, стремящимися звезду расширить. Период пульсаций прямо связан со светимостью цефеид: чем длиннее период, тем больше истинная светимость звезды. Чёткая зависимость период–светимость делает цефеиды важнейшими индикаторами космических расстояний. Измерив период колебаний блеска цефеиды, определив по известной зависимости истинную светимость и сравнив её с видимым блеском звезды, можно определить расстояние до неё. Важно, что из-за своей высокой яркости цефеиды видны и в других галактиках; это позволяет выстраивать с их помощью шкалу расстояний далеко за пределы нашей Галактики.

Один из современных вариантов зависимости период–светимость (точнее, период–абсолютная звёздная величина) для классических цефеид выглядит так:

$$M_V = -1{,}01 - 2{,}79 \lg P,$$

где M_V – средняя за период пульсаций абсолютная величина звезды в фильтре V, а P – период, выраженный в сутках.

Все цефеиды занимают на диаграмме Герцшпрунга–Рассела почти вертикальную область, называемую «полосой нестабильности». Кривые блеска цефеид имеют характерную форму акульего плавника с быстрым усилением блеска до максимума, недолгим максимальным блеском и продолжительным уменьшением блеска до минимума. Известно более 1000 цефеид, в число которых входит и Полярная звезда (точнее – входила: в середине 1990-х гг. её пульсации практически прекратились).

Цефеиды делят на две категории: тип I и тип II. И хотя оба типа показывают чёткую зависимость период–светимость, она у них разная. Цефеиды типа I известны также как звёзды типа δ Цефея, или классические цефеиды. Эти массивные звёзды (от 5 до 10 масс Солнца) относятся к населению I типа, имеют высокую светимость и правильный характер пульсаций с периодами от 1 до 135 сут. Пульсации сопровождаются изменениями блеска с амплитудами от $0{,}1^m$ до 2^m и изменениями спектрального класса от F в максимуме до G или K в минимуме. Начинают свою жизнь эти объекты как B-звёзды с горением водорода, но после того, как они покидают главную последовательность, их внешние слои становятся неустойчивыми, и в них развивается радиальная пульсация. Появление пульсаций возможно только в узком диапазоне температуры поверхности звезды, слабо зависящем от её светимости (это и есть полоса нестабильности). За время своей эволюции после главной последовательности звезда несколько раз может пройти через эту область, и каждый раз у неё возникают радиальные пульсации: один раз во время горения водорода в оболочке, ещё два раза во время горения гелия в ядре и ещё дважды во время горения гелия в оболочке.

Цефеиды I типа наблюдаются в спиральных рукавах галактик. Их светимости более чем в 4 раза превышают светимости цефеид II типа, или звёзд типа W Девы (W Vir). Звёзды этого типа являются пульсирующими переменными населения II с периодами от 1 до 35 сут. Между периодами и светимостью этих звёзд также существует прямая зависимость. Обычно звёзды типа W Девы на $1{,}5^m$ тусклее своих родственников типа I, а их массы меньше массы Солнца. Это говорит о том, что эволюционные статусы цефеид типа I и типа II различаются. У звёзд типа W Девы очень характерная кривая блеска с амплитудами от $0{,}3^m$ до $1{,}2^m$. На нисходящей ветви кривой блеска у них появляется горб. Эта группа делится на две подгруппы: долгопериодические звёзды типа W Девы (пример – сама W Девы) с периодом более 8 суток и короткопериодические звёзды типа W Девы (пример – BL Her) с периодом менее 8 сут. Звёзды типа W Девы наблюдают в шаровых скоплениях, галактических гало и эллиптических галактиках.

ЦЕФЕЙ – северное созвездие. Мифический эфиопский царь Цефей (Кефей) был

супругом Кассиопеи и отцом Андромеды. Созвездие расположено между Кассиопеей и Малой Медведицей; ярких звёзд в нём нет. В целом созвездие не очень выразительное, но пять его ярчайших звёзд, расположенных между Кассиопеей и Головой Дракона, можно легко найти. В сторону Цефея из-за прецессии перемещается северный полюс мира. Звезда Альраи (γ Cep) окажется «полярной» с 3100 г. по 5100 г., Альфирк (β Cep) будет ближе к полюсу с 5100 по 6500 г., а с 6500 до 8300 г. роль Полярной перейдёт к звезде Альдерамин (α Cep), почти такой же яркой, как нынешняя Полярная.

Яркий компонент симпатичной визуальной двойной звезды δ Cep служит прототипом пульсирующих переменных звёзд-цефеид, изменяя свой блеск от $3{,}7^m$ до $4{,}5^m$ с периодом 5,37 сут. Звезду μ Cep в древности называли Эракис, а Вильям Гершель назвал её Гранатовой Звездой, поскольку это самая красная среди звёзд северного полушария, доступных невооружённому глазу. Звезда VV Цефея — затменная двойная с периодом 20,34 года; её главный компонент — красный гигант, диаметр которого в 1200 раз превышает диаметр Солнца. Возможно, это самая большая среди известных нам звёзд. А звёздное скопление NGC 188 — одно из самых старых (5 млрд лет) среди рассеянных скоплений Галактики.

ЦИКЛ, КАЛЕНДАРНЫЙ — промежуток времени, в котором укладывается целое или почти целое число нескольких природных временных периодов.

Метонов цикл показывает соотношение синодического (лунного) месяца и тропического (солнечного) года; поэтому он стал основой для греческого, еврейского и некоторых других календарей. Этот цикл из 19 лет по 12 месяцев содержит 7 добавочных месяцев. Назван он по имени греческого астронома Метона, который открыл его в 432 г. до н. э. не подозревая, что в Китае о нём знали с 2260 г. до н. э. Метон определил, что период в 19 солнечных лет содержит 235 синодических месяцев (лунаций). Он считал длину года равной 365,25 сут, поэтому 19 лет у него составляли 6939 сут и 18 час, а 235 лунаций равнялись 6939 сут 16 час и 31 мин. В этот цикл он должен был вставлять 7 добавочных месяцев, поскольку 19 лет по 12 мес. дают в сумме 228 мес. Некоторые авторы считают, что Метон вставлял добавочные месяцы в 3, 6, 8, 11, 14 и 19-й годы цикла. В соответствии с этой схемой все годы, помимо указанных, содержат по 12 мес, состоящих попеременно из 29 или 30 сут, а упомянутые выше 7 лет содержат 13 мес такой же продолжительности, с дополнительным месяцем из 30 сут в 6 из этих лет и 29 сут в 7-м году.

Считают, что первый Метонов цикл начался в июле 432 г. до н. э. Фазы Луны повторяются в те же дни каждого последующего цикла с точностью до нескольких часов. Таким образом, если даты новолуний определены в течение одного цикла, то они легко определяются для последующих циклов. Годы в циклах Метона носили номера от 1 до 19, указывающие место года в конкретном цикле. Положение каждого года в цикле указывал его номер, который назывался «золотым числом», поскольку в эпоху классицизма фазы Луны были начертаны золотом на общественных памятниках. Сейчас золотое число может служить только для указания места года в цикле, что помогает определять дату Пасхи.

Цикл Каллиппа. Другой греческий астроном — Каллипп — в 330 г. до н. э. развил идею Метона, введя 76-летний цикл (=19×4). Циклы Каллиппа содержат постоянное число високосных лет, тогда как в цикле Метона их число переменно.

Солнечный цикл. Этот цикл состоит из 28 лет и помогает установить связь между днём недели и порядковым днём месяца. Если бы не было високосных лет, то соответствие дней недели и чисел месяца регулярно повторялось бы с 7-летним циклом, поскольку в неделе 7 дней, и год может начинаться с любого из них; а ещё и потому, что обычный год на 1 сутки длиннее 52 полных недель. Но введение раз в 4 года високосных лет делает цикл повторения всех возможных календарей в прежнем порядке 28-летним (в юлианском календаре).

Цикл Дионисия (пасхальный). Этот цикл из 532 лет имеет компоненты лунного 19-летнего и солнечного 28-летнего циклов. Считается, что он был введён в 532 г. н. э. Дионисием Малым. Согласно его расчётам, как раз в том году начинался лунный цикл, первый в новом пасхальном цикле, что и указывало дату рождения Христа в 1 г. н. э. (эта дата часто является предметом спора; некоторые авторы называют датой рождения Христа 4 г. до н. э.). Цикл Дионисия содержит полную последовательность пасхальных дат.

ЦИРКУЛЬ — маленькое южное созвездие, на границе которого лежит α Кентавра. А великолепная визуальная двойная α Cir ($3{,}2^m+8{,}6^m$, разделение 16″) демонстрирует быстрые малые колебания блеска и редкие химические элементы в атмосфере — хром, стронций и европий.

ЦИФРОВАЯ КАМЕРА — фотографическая камера, в которой в качестве приёмника света используется ПЗС-матрица.

Ч

ЧАНДЛЕР, Сет Карло (Chandler, Seth Carlo) (16.09.1846, Бостон, шт. Массачусетс, США, — 31.12.1913) — американский астроном. Открыл колебание оси вращения Земли с периодом 428 сут (период Чандлера). Чандлеровское движение полюсов Земли является её свободной нутацией, предсказанной ещё Эйлером.

ЧАНДРАСЕКАР, Субраманьян (Chandrasekhar, Subrahmanyan) (19.10.1910, Лохор, Индия, — 21.08.1995, Чикаго, США) — американский астроном индийского происхождения. Разработал теорию белых карликов и нашёл их максимальную массу (предел Чандрасекара), нашёл максимальную массу изотермического ядра звезды (предел Шёнберга—Чандрасекара), получил фундаментальные результаты в теории переноса излучения, в звёздной динамике, в магнитной гидродинамике, в теории фигур равновесия и в теории чёрных дыр. Автор классических монографий по всем этим проблемам. Нобелевская премия по физике (совместно с У. Фаулером, 1983).



Субраманьян Чандрасекар

ЧАС — кроме обычного употребления в качестве единицы времени, в астрономии «час» (1^h) используют для измерения углов из расчёта $24^h=360°$, поэтому $1^h=15°$. Соответствие основано на видимом движении небесных светил, совершающих полный оборот в течение звёздных суток.

ЧАСОВОЙ КРУГ, или **круг склонений**, — большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира (северный и южный) и данное светило. В экваториальной системе небесных координат часовой круг аналогичен земному географическому меридиану.

ЧАСОВОЙ УГОЛ — одна из экваториальных координат в астрономии, угловое расстояние, измеренное вдоль небесного экватора на запад от небесного меридиана

(той его части, которую светила пересекают в момент верхней кульминации) до часового круга, проходящего через избранную точку на небесной сфере. Часовой угол можно определить и как двугранный угол между плоскостями небесного меридиана и круга склонений светила. Часовые углы отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы, т. е. к западу, от верхней точки небесного экватора в пределах от 0 до 360° (в градусной мере) или от 0 до 24^h (в часовой мере). Иногда часовые углы отсчитываются от 0 до 180° (от 0 до $+12^h$) к западу (западные часовые углы) и от 0 до −180° (от 0 до -12^h) к востоку (восточные часовые углы). Часовой угол звезды равен звёздному времени минус прямое восхождение этой звезды. Часовой угол выражается в часовой мере из расчёта 24 час = 360°. Соответственно: 1 час = 15°, 1 мин = 15′, 1 с = 15″.

ЧАСТНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ — то же, что *Специальная теория относительности*. Ковариантная формулировка механики и электродинамики в плоском пространстве-времени.

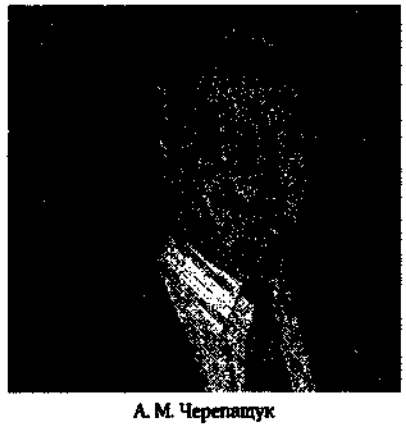
ЧАСТОТА НАЙКВИСТА — максимальная частота, которая может быть передана без искажений при оцифровке сигнала. Частота Найквиста равна половине частоты выборки сигнала. Более высокие частоты передаются с искажениями, что может привести к появлению ложных низкочастотных составляющих в оцифрованном сигнале.

ЧАСЫ — южное созвездие в виде узкой длинной полосы к югу от Эридана, лишённой ярких звёзд. Вызывает интерес звезда 4 величины R Hor: это мирида с периодом около 408 сут, которая в минимуме беска ослабевает до 14 величины (т. е. поток света от неё уменьшается в 10 000 раз!).

ЧАША — неприметное созвездие к западу от Ворона. Связанная с названием легенда не сохранилась.

ЧЕРЕНКОВСКИЙ ДЕТЕКТОР — прибор для регистрации высокоэнергичных заряженных частиц по их черенковскому излучению. Это излучение наблюдается, когда заряженная частица проходит через оптически прозрачную среду со скоростью, превышающей локальную фазовую скорость света. Как известно, показатель преломления вещества равен отношению скорости света в вакууме (300 тыс. км/с) к скорости света в этом веществе. Например, в стекле свет распространяется со скоростью около 200 тыс. км/с. Поэтому частица, движущаяся в стекле со скоростью, скажем, 250 тыс. км/с, становится источником черенковского излучения. Электромагнитное черенковское излучение быстро движущейся частицы возникает подобно тому, как создается акустическая волна телом, движущимся в газовой среде со сверхзвуковой скоростью. Детекторы черенковского излучения используют для регистрации частиц первичных космических лучей по их эмиссии в верхней атмосфере, для детектирования электронов высоких энергий, рождаемых нейтрино в водных ёмкостях установок типа Камиоканде, и в других приборах.

ЧЕРЕПАЩУК Анатолий Михайлович (р. 7.07.1940, Сызрань, СССР) — российский астроном, доктор физико-математических наук (1976), профессор МГУ (1985), академик РАН (2006), директор Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (МГУ) с 1986 г. Окончил Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова в 1964 г. Определил (1970) радиусы и температуры звёзд типа Вольфа–Райе в двойных системах; определил (1973) массу оптического компонента в релятивистской двойной системе Лебедь X-1. Обнаружил (1980) оптические затмения в релятивистской звёздной системе SS 433, чем доказал её двойственность. Основные труды: Гончарский А. В., Черепащук А. М., Ягола А. Г. Некорректные задачи астрофизики (1985); Гончарский А. В., Романов С. Ю., Черепащук А. М. Конечнопараметрические обратные задачи астрофизики (1991).



А. М. Черепащук

ЧЁРНО-БЕЛОЕ ЗРЕНИЕ — сумеречное, или ночное, зрение, работающее в условиях недостаточного освещения, когда цвета объектов исчезают и глаз видит только оттенки серого. Причиной чёрно-белого, «палочкового» зрения является то, что все палочки сетчатки глаза, обеспечивающие зрение при низкой освещённости, чувствительны в одной широкой полосе длин волн.

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ — области пространства-времени, в которых гравитационное притяжение настолько велико, что ни вещество, ни свет, ни другие носители информации не могут эти области покинуть. Для находящихся внутри такой области тел вторая космическая скорость (скорость убегания) должна была бы превышать скорость света, что невозможно, поскольку ни вещество, ни излучение не могут двигаться быстрее света. Поэтому из чёрной дыры ничто не может вылететь. Границу такой области называют «горизонтом событий», или просто «горизонтом» чёрной дыры. Чёрные дыры теоретически описываются в рамках общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна. Считается, что они могут возникать в ходе сильного сжатия вещества, например при коллапсе массивной звезды в конце её эволюции.

Поскольку никакой носитель информации не способен выйти из-под горизонта событий, внутренняя часть чёрной дыры причинно не связана с остальной Вселенной; происходящие внутри чёрной дыры физические процессы не могут влиять на процессы вне её. В то же время вещество и излучение, падающие снаружи на чёрную дыру, свободно проникают внутрь через горизонт событий, в принципе не замечая его (хотя макроскопические тела чувствуют вблизи горизонта значительную приливную силу, вытягивающую тело в радиальном направлении и сжимающую в перпендикулярных к нему направлениях; при этом тело приобретает форму «макаронины», вытянутой к центру чёрной дыры). Можно сказать, что чёрная дыра всё поглощает и ничего не выпускает. По этой причине и родился термин «чёрная дыра», предложенный в 1967 г. американским физиком, профессором Принстонского университета Джоном Арчибальдом Уилером (J. A. Wheeler, 1911–2008).

Теоретическичёрнаядыраможетиметь любую массу. Для того чтобы поле тяготения смогло «запереть» излучение, создающая это поле масса (M) должна сжаться до объёма с радиусом меньше «гравитационного радиуса» (r_g), который называют также «шварцшильдовским радиусом» (см. ниже). Математическое выражение для этой величины выглядит чрезвычайно просто: $r_g = 2GM/c^2$, где гравитационная постоянная $G = 6{,}674 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг·с^2) и скорость света $c = 299\,792\,458$ м/с. Значение гравитационного радиуса чрезвычайно мало по сравнению с привычным размером физических тел. Например, для Солнца, имеющего массу ($M_\odot$) около $2 \cdot 10^{30}$ кг и радиус около 700 тыс. км, получаем $r_g = 3$ км. А для Земли ($M_\oplus = 6 \cdot 10^{24}$ кг) значение $r_g \approx 1$ см. По этой причине создать и исследовать чёрную дыру в лаборатории практически невозможно: чтобы тело любой разумной массы — даже в миллионы тонн! — стало чёрной дырой, его необходимо сжать до размера меньше, чем у протона или нейтрона. Поэтому свойства чёрных дыр пока изучаются теоретически.

Однако расчёты показывают, что тела астрономического масштаба, например массивные звёзды, после истощения в них термоядерного топлива могут под действием собственного тяготения сжиматься до размера своего гравитационного радиуса. Поиск таких объектов ведётся уже более 50 лет, и сейчас можно с большой уверенностью указать несколько весьма вероятных кандидатов в чёрные дыры с массами от единиц до миллиардов масс Солнца. Однако их изучение затруднено огромными расстояниями от Земли. И хотя сам факт существования чёрных дыр уже трудно подвергать сомнению, практическое изучение их свойств ещё впереди.

Развитие идеи о чёрных дырах

Известный английский геофизик и астроном Джон Мичелл (J. Michell, 1724–1793) первым предположил, что в природе могут существовать столь массивные звёзды, что даже луч света будет не способен покинуть их поверхность. Используя законы Ньютона, Мичелл рассчитал, что если бы звезда с массой Солнца имела радиус не более 3 км, то даже частицы света (которые, вслед за Ньютоном, он считал корпускулами) не могли бы улететь далеко от такой звезды. Поэтому такая звезда казалась бы издалека абсолютно тёмной. Эту идею Мичелл представил на заседании Лондонского Королевского общества 27 ноября 1783 г. Так родилась концепция «ньютоновской» чёрной дыры.

Такую же идею высказал в своей книге «Система мира» (1796) французский математик и астроном Пьер Симон Лаплас (1749–1827). Простой расчёт позволил написать ему следующие знаменитые слова: «Светящаяся звезда с плотностью, равной плотности Земли, и диаметром в 250 раз больше диаметра Солнца не даёт ни одному световому лучу достичь нас из-за своего тяготения; поэтому возможно, что самые яркие небесные тела во Вселенной оказываются по этой причине невидимыми». Однако масса такой звезды должна была бы в десятки миллионов раз превосходить солнечную. А поскольку дальнейшие астрономические измерения показали, что массы реальных звёзд не очень сильно отличаются от солнечной, идея Мичелла и Лапласа о чёрных дырах оказалась забыта.

Во второй раз учёные «столкнулись» с чёрными дырами уже в начале XX в., когда Альберт Эйнштейн создал релятивистскую теорию гравитации — общую теорию относительности (ОТО), а немецкий астроном Карл Шварцшильд (1873–1916) в декабре 1915 г. нашёл первое точное решение уравнений ОТО, описывающее невращающуюся чёрную дыру. Оказалось, что пустое пространство вокруг массивной точки обладает особенностью на расстоянии r_g от неё; именно поэтому величину r_g часто называют шварцшильдовским радиусом, а соответствующую поверхность (горизонт событий) — шварцшильдовской поверхностью. В следующие полвека усилиями теоретиков были выяснены многие удивительные особенности решения Шварцшильда, но как реальный объект исследования чёрные дыры ещё не рассматривались. Правда, в 1930-е гг., после создания квантовой механики и открытия нейтрона, физики исследовали возможность формирования компактных объектов — белых карликов и нейтронных звёзд — как продуктов эволюции нормальных звёзд. Оценки показали, что после истощения в недрах звезды ядерного топлива её ядро может сжаться и превратиться в маленький и очень плотный белый карлик или же в ещё более плотную и совсем крохотную нейтронную звезду, размер которой лишь в несколько раз превосходит значение r_g.

В 1934 г. работавшие в США европейские астрономы Фриц Цвикки (1898–1974) и Вальтер Бааде (1893–1960) выдвинули гипотезу, что вспышки сверхновых представляют совершенно особый тип звёздных взрывов, вызванных катастрофическим сжатием ядра звезды. Так впервые родилась идея о возможности наблюдать коллапс звезды. Бааде и Цвикки высказали предположение, что в результате взрыва сверхновой образуется сверхплотная вырожденная звезда, состоящая из нейтронов. Расчёты показали, что такие объекты действительно могут рождаться и быть устойчивыми, но лишь при умеренной начальной массе звезды. Но если масса звезды превышает три массы Солнца, то уже ничто не сможет остановить её катастрофического коллапса. В 1939 г. американские физики Роберт Оппенгеймер и Хартланд Снайдер обосновали вывод, что ядро массивной звезды должно безостановочно коллапсировать в предельно малый объект, свойства пространства вокруг которого (если он не вращается) описываются решением Шварцшильда. Иными словами, ядро массивной звезды в конце её эволюции должно стремительно сжиматься и уходить под горизонт событий, становясь чёрной дырой. Но поскольку такие объекты (в те годы их называли «коллапсарами» или «застывшими звёздами») не излучают электромагнитных волн, астрономы понимали, что обнаружить в космосе эти маленькие тёмные тела будет невероятно трудно. Поэтому они долго не приступали к их поиску.

Но теоретические исследования чёрных дыр не прекращались. У невращающейся чёрной дыры радиус горизонта событий (r_h) совпадает с гравитационным радиусом ($r_h = r_g$). Поверхность такого радиуса, отделяющую доступную область пространства-времени от области, недоступной для далёкого наблюдателя, как раз и называют сферой Шварцшильда. А в 1963 г. новозеландский математик Рой Патрик Керр (Roy Patrick Kerr, p. 1934) нашёл решение ОТО для вращающейся чёрной дыры. В нем $r_h < r_g$ и горизонт событий окружён эллипсоидальной эргосферой, внутри которой все тела и кванты излучения непрерывно двигаются в экваториальной плоскости под действием вихревого гравитационного поля чёрной дыры. В принципе вещество и излучение могут покинуть эргосферу.

Формирование чёрных дыр

Самый очевидный путь образования чёрной дыры — коллапс ядра массивной звезды. Пока в недрах звезды не истощился запас ядерного топлива, её равновесие поддерживается за счёт термоядерных реакций (превращение водорода в гелий, затем в углерод и т. д. вплоть до железа у наиболее массивных звёзд). Выделяющееся при этом тепло компенсирует потерю энергии, уходящей от звезды с её излучением и звёздным ветром. Термоядерные реакции поддерживают высокое давление в недрах звезды, препятствуя её сжатию под действием собственной гравитации. Однако со временем ядерное топливо истощается, и звезда начинает сжиматься.

Наиболее быстро сжимается ядро звезды. При этом оно сильно разогревается (его гравитационная энергия переходит в тепло) и нагревает окружающую его оболочку. В итоге звезда теряет свои наружные слои в виде медленно расширяющейся планетарной туманности или катастрофически сброшенной оболочки сверхновой. А судьба сжимающегося ядра зависит от его массы. Расчёты показывают, что если масса ядра звезды не превосходит трёх масс Солнца, то она выигрывает «битву с гравитацией»: его сжатие будет остановлено давлением вырожденного вещества, и звезда превратится в белый карлик или нейтронную звезду. Но если масса ядра звезды более трёх солнечных, то уже ничто не сможет остановить его катастрофического коллапса, и оно быстро уйдёт под горизонт событий, став чёрной дырой. Как следует из приведённой выше формулы для r_g, чёрная дыра с массой 3 $M_\odot$ имеет гравитационный радиус $r_g = 8{,}8$ км.

Астрономические наблюдения хорошо согласуются с этими расчётами: все компоненты двойных звёздных систем, проявляющие свойства чёрных дыр (а их известны уже десятки), имеют массы от 4 до 16 $M_\odot$. Теория звёздной эволюции указывает, что за 13 млрд лет существования нашей Галактики, содержащей порядка 100 млрд звёзд, в результате коллапса наиболее массивных из них должно было образоваться несколько десятков миллионов чёрных дыр. К тому же чёрные дыры очень большой массы — от миллионов до миллиардов масс Солнца — могут находиться в ядрах крупных галактик, в том числе и нашей. На это указы-

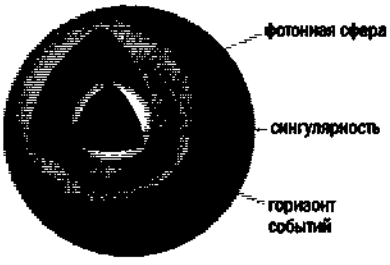


Схема невращающейся чёрной дыры. Сингулярность, куда сжалась исходная материя, окружена сферическим горизонтом событий, радиус которого равен гравитационному радиусу r_g. Вблизи горизонта событий находится фотонная сфера — область пространства, где захваченные фотоны двигаются вокруг чёрной дыры по замкнутым траекториям

вают астрономические наблюдения, хотя пути формирования этих гигантских чёрных дыр пока не вполне ясны.

Если в нашу эпоху высокая плотность вещества, необходимая для рождения чёрной дыры, может возникнуть лишь в сжимающихся ядрах массивных звёзд, то в далёком прошлом, сразу после Большого взрыва, с которого около 14 млрд лет назад началось расширение Вселенной, высокая плотность материи была повсюду. Поэтому небольшие флуктуации плотности в ту эпоху могли приводить к рождению чёрных дыр любой массы, в том числе и малой. Но самые маленькие из них в силу квантовых эффектов должны были испариться, потеряв свою массу в виде излучения и потоков частиц (так называемый эффект Хокинга, см. ниже). Но «первичные чёрные дыры» с массой более 10^{12} кг могли сохраниться до наших дней. Самые мелкие из них, массой 10^{12} кг (как у небольшого астероида), должны иметь размер порядка 10^{-15} м (как у протона или нейтрона).

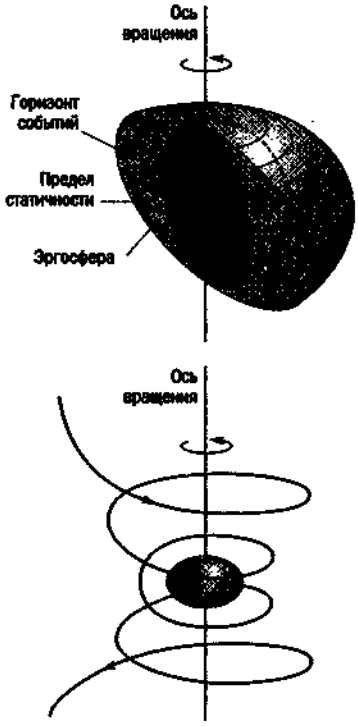


Схема вращающейся чёрной дыры в разрезе. Вверху: горизонт событий окружен эргосферой, в которой частицы вещества и фотоны непрерывно движутся, подхваченные вихревым гравитационным полем чёрной дыры. Внизу: луч света, проходящий вблизи вращающейся чёрной дыры, завихряет своё движение

Наконец, существует гипотетическая возможность рождения микроскопических чёрных дыр при взаимных соударениях быстрых элементарных частиц. Таков один из прогнозов теории струн — одной из конкурирующих сейчас физических теорий строения материи. Теория струн предсказывает, что пространство имеет более трёх измерений. Гравитация, в отличие от прочих сил, должна распространяться по всем этим измерениям и поэтому существенно усиливаться на коротких расстояниях. При мощном столкновении двух частиц, например протонов, они могут сжаться достаточно сильно, чтобы родилась микроскопическая чёрная дыра. После этого она почти мгновенно разрушится («испарится»), но наблюдение за этим процессом представляет для физики большой интерес, поскольку, испаряясь, дыра будет испускать все существующие в природе виды частиц. Если гипотеза теории струн верна, то рождение таких чёрных дыр может происходить при столкновениях энергичных частиц космических лучей с атомами земной атмосферы, а также в наиболее мощных ускорителях элементарных частиц, таких как Большой адронный коллайдер.

Свойства чёрных дыр

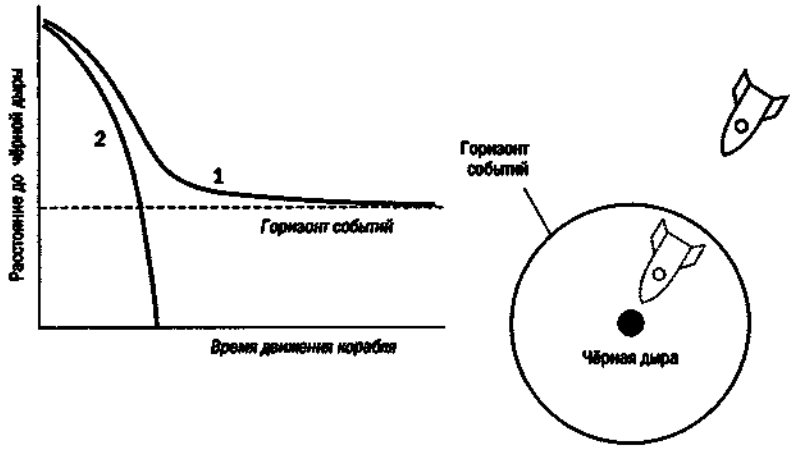
Вблизи чёрной дыры напряжённость гравитационного поля так велика, что физические процессы там можно описывать только с помощью релятивистской теории тяготения. Согласно ОТО, пространство и время искривляются гравитационным полем массивных тел, причём наибольшее искривление происходит вблизи чёрных дыр. Когда физики говорят об интервалах времени и пространства, они имеют в виду числа, считанные с каких-либо физических часов и линеек. Например, роль часов может играть молекула с определённой частотой колебаний, количество которых между двумя событиями можно называть «интервалом времени».

Важно, что гравитация действует на все физические системы одинаково: все часы показывают, что время замедляется, а все линейки — что пространство растягивается вблизи чёрной дыры. Это означает, что чёрная дыра искривляет вокруг себя геометрию пространства и времени. Вдали от чёрной дыры это искривление мало, а вблизи так велико, что лучи света могут двигаться вокруг неё по окружности. Вдали от чёрной дыры её поле тяготения в точности описывается теорией Ньютона для тела такой же массы, но вблизи гравитация становится значительно сильнее, чем предсказывает ньютонова теория.

Если бы мы могли наблюдать в телескоп за звездой в момент её превращения в чёрную дыру, то сначала увидели бы, как звезда всё быстрее и быстрее сжимается, но по мере приближения её поверхности к гравитационному радиусу сжатие замедляется, пока не останавливается совсем. При этом приходящий от звезды свет будет слабеть и краснеть, пока окончательно не потухнет. Это происходит потому, что в борьбе с силой тяжести фотоны теряют энергию, и им требуется всё больше времени, чтобы дойти до нас. Когда поверхность звезды достигнет гравитационного радиуса, покинувшему её свету потребуется бесконечное время, чтобы достичь любого наблюдателя, даже расположенного сравнительно близко к звезде (и при этом фотоны полностью потеряют свою энергию). Следовательно, мы никогда не дождёмся этого момента и тем более не увидим того, что происходит со звездой под горизонтом событий. Но теоретически этот процесс исследовать можно.

Расчёт идеализированного сферического коллапса показывает, что за короткое время вещество под горизонтом событий сжимается в точку, где достигаются бесконечно большие значения плотности и тяготения. Такую точку называют «сингулярностью». Более того, математический анализ показывает, что если возник горизонт событий, то даже несферический коллапс приводит к сингулярности. Однако всё это верно лишь в том случае, если общая теория относительности применима вплоть до очень малых пространственных масштабов, в чём пока нет уверенности. В микромире действуют квантовые законы, а квантовая теория гравитации ещё не создана. Ясно, что квантовые эффекты не могут остановить сжатие звезды в чёрную дыру, а вот предотвратить появление сингулярности они могли бы.

Изучая фундаментальные свойства материи и пространства-времени, физики считают исследование чёрных дыр одним из важнейших направлений, поскольку вблизи них проявляются скрытые свойства гравитации. Для поведения вещества и излучения в слабых гравитационных полях различные теории тяготения дают почти неразличимые прогнозы, однако в сильных полях, характерных для чёрных дыр, предсказания различных теорий существенно расходятся, что даёт ключ к выявлению лучшей среди них. В рамках наиболее популярной сейчас теории гравитации — ОТО Эйн-



Зависимость времени движения космического корабля к чёрной дыре от расстояния до её центра с точки зрения земного наблюдателя (1) и движущегося космонавта (2)

штейна — свойства чёрных дыр изучены весьма подробно. Вот некоторые важнейшие из них.

1. Вблизи чёрной дыры время течёт медленнее, чем вдали от неё. Если удалённый наблюдатель бросит в сторону чёрной дыры зажжённый фонарь, то увидит, как фонарь будет падать всё быстрее, но затем, приближаясь к поверхности Шварцшильда, начнёт замедляться, а его свет будет тускнеть и краснеть (поскольку замедлится темп колебания всех его атомов и молекул). С точки зрения далекого наблюдателя, фонарь практически остановится и станет невидим, так и не сумёв пересечь поверхность чёрной дыры. Но если бы наблюдатель сам прыгнул туда вместе с фонарём, то он за короткое время пересёк бы поверхность Шварцшильда и упал к центру чёрной дыры, будучи при этом, к сожалению, разорван её мощными приливными гравитационными силами, возникающими из-за разницы притяжения на разных расстояниях от центра.

2. Каким бы сложным ни было исходное тело, после его сжатия в чёрную дыру внешний наблюдатель может определить только три его параметра: полную массу, момент импульса (связанный с вращением) и электрический заряд. Все остальные особенности тела — форма, распределение плотности, химический состав и др., — в ходе коллапса «стираются». Тот факт, что для стороннего наблюдателя структура чёрной дыры выглядит чрезвычайно простой, Джон Уилер выразил шутливым утверждением: «Чёрная дыра не имеет волос».

В процессе коллапса звезды в чёрную дыру за малую долю секунды (по часам удалённого наблюдателя) все её внешние особенности, связанные с исходной неоднородностью, излучаются в виде гравитационных и электромагнитных волн. Образовавшаяся стационарная чёрная дыра «забывает» всю информацию об исходной звезде, кроме трёх величин: полной массы, момента импульса (связанного с вращением) и электрического заряда. Изучая чёрную дыру, уже невозможно узнать, состояла ли исходная звезда из вещества или антивещества, была ли она вытянутой или сплюснутой, и т. п. В реальных астрофизических условиях заряженная чёрная дыра будет притягивать к себе из межзвёздной среды частицы противоположного знака, и её заряд быстро станет нулевым. Оставшийся стационарный объект либо будет невращающейся «шварцшильдовой чёрной дырой», которая характеризуется только массой, либо вращающейся «керровской чёрной дырой», которая характеризуется массой и моментом импульса.

3. Если исходное тело вращалось, то вокруг чёрной дыры сохраняется «вихревое» гравитационное поле, увлекающее все соседние тела во вращательное движение вокруг неё. Поле тяготения вращающейся чёрной дыры называют полем Керра, поскольку именно он нашёл решение соответствующих уравнений. Этот эффект характерен не только для чёрной дыры, но для любого вращающегося тела — даже для Земли. По этой причине размещённый на искусственном спутнике Земли свободно вращающийся гироскоп испытывает медленную прецессию относительно далёких звёзд. Вблизи Земли этот эффект едва заметен и с трудом поддаётся измерению, но вблизи чёрной дыры он выражен гораздо сильнее: по скорости прецессии гироскопа можно измерить момент импульса чёрной дыры, хотя сама она не видна.

Чем ближе мы подходим к горизонту чёрной дыры, тем сильнее становится эффект увлечения «вихревым полем». Прежде чем достигнуть горизонта, мы окажемся на поверхности, где увлечение становится настолько сильным, что ни один наблюдатель не может оставаться неподвижным (т. е. быть «статическим») относительно далёких звёзд. На этой поверхности (называемой пределом статичности) и внутри неё все объекты должны двигаться по орбите вокруг чёрной дыры в том же направлении, в котором вращается сама дыра. Независимо от того, какую мощность развивают его реактивные двигатели, наблюдатель внутри предела статичности никогда не сможет остановить своё вращательное движение относительно далёких звёзд.

Предел статичности всюду лежит вне горизонта и соприкасается с ним лишь в двух точках, там, где они оба пересекаются с осью вращения чёрной дыры. Область пространства-времени, расположенная между горизонтом и пределом статичности, называется эргосферой. Объект, попавший в эргосферу, ещё может вырваться наружу. Поэтому, хотя чёрная дыра «всё съедает и ничего не отпускает», тем не менее возможен обмен энергией между ней и внешним пространством. Например, пролетающие через эргосферу частицы или кванты могут уносить энергию её вращения. Эту возможность отбирать энергию у чёрной дыры впервые в 1969 г. предположил английский математик сэр Роджер Пенроуз (Sir Roger Penrose, p. 1931), поэтому её называют «процессом Пенроуза».

4. Всё вещество внутри горизонта событий чёрной дыры непременно падает к её центру и образует сингулярность с бесконечно большой плотностью. Английский физик Стивен Хокинг (Stephen William Hawking, p. 1942) определяет сингулярность как «место, где разрушается классическая концепция пространства и времени, так же как и все известные законы физики, поскольку все они формулируются на основе классического пространства-времени».

5. Кроме этого, С. Хокинг открыл возможность очень медленного самопроизвольного квантового «испарения» чёрных дыр. В 1974 г. он доказал, что чёрные дыры (не только вращающиеся, но любые) могут испускать вещество и излучение, однако заметно это будет лишь в том случае, если масса самой дыры относительно невелика. Мощное гравитационное поле вблизи чёрной дыры должно рождать пары частица—античастица; одна из частиц каждой пары поглощается дырой, а вторая испускается наружу. Например, чёрная дыра с массой 10^{12} кг должна вести себя как тело с температурой 10^{11} К, излучающее очень жёсткие гамма-кванты и частицы. Идея об «испарении» чёрных дыр полностью противоречит классическому представлению о них как о телах, не способных излучать.

Поиски чёрных дыр

Расчёты в рамках ОТО указывают лишь на возможность существования чёрных дыр, но отнюдь не доказывают их наличия в реальном мире; открытие чёрной

дыры стало бы важным шагом в развитии физики. Поиск изолированных чёрных дыр в космосе невероятно труден: требуется заметить маленький тёмный объект на фоне космической черноты. Но есть надежда обнаружить чёрную дыру по её взаимодействию с окружающими астрономическими телами, по её характерному влиянию на них.

Учитывая важнейшие свойства чёрных дыр – массивность, компактность и невидимость, – астрономы постепенно выработали стратегию их поиска. Проще всего обнаружить чёрную дыру по её гравитационному взаимодействию с окружающим веществом, например с близкими звёздами. Попытки обнаружить невидимые массивные спутники в двойных звёздах не увенчались успехом. Но после запуска на орбиту рентгеновских телескопов выяснилось, что чёрные дыры весьма активно проявляют себя в тесных двойных системах, где они отбирают вещество у соседней звезды и поглощают его, нагревая при этом до температуры в миллионы градусов и делая на короткое время источником рентгеновского излучения.

Поскольку в двойной системе чёрная дыра в паре с нормальной звездой обращается вокруг общего центра массы, удаётся, используя эффект Доплера, измерить скорость звезды и определить массу её невидимого компаньона. Астрономы выявили уже несколько десятков двойных систем, где масса невидимого компаньона превосходит $3M_\odot$ и где заметны характерные проявления активности вещества, движущегося вокруг компактного объекта, например очень быстрые колебания яркости потоков горячего газа, стремительно вращающегося вокруг невидимого тела.

Особенно перспективной считают рентгеновскую двойную звезду V404 Лебедя, масса невидимого компонента которой оценивается не менее чем в 6 масс Солнца ($M_\odot$). Другие кандидаты в чёрные дыры находятся в двойных системах Лебедь X-1, LMC X-3, V616 Единорога, QZ Лисички, а также в рентгеновских новых Змееносец 1977, Муха 1981 и Скорпион 1994. Почти все они расположены в пределах нашей Галактики, а система LMC X-3 – в близкой к нам галактике Большое Магелланово Облако.

Другим направлением поиска чёрных дыр служит изучение ядер галактик. В них скапливаются и уплотняются огромные массы вещества, сталкиваются и сливаются звёзды, поэтому там могут формироваться сверхмассивные чёрные дыры, превосходящие по массе Солнце в миллионы и даже миллиарды раз. Они притягивают к себе окружающие звёзды, создавая в центре галактики пик яркости. Они разрушают близко подлетающие к ним звёзды, вещество которых образует вокруг чёрной дыры аккреционный диск и частично выбрасывается вдоль оси диска в виде быстрых струй и потоков частиц. Это не умозрительная теория, а процессы, реально наблюдаемые в ядрах некоторых галактик и указывающие на присутствие в них чёрных дыр с массами от 10^8 до $10^{10}M_\odot$. В последнее время получены весьма убедительные доказательства того, что и в центре нашей Галактики есть чёрная дыра с массой около 4 млн $M_\odot$. В научной и популярной литературе используется приблизительно такая классификация чёрных дыр по массе:

Класс	Масса	Размер
Сверхмассивная чёрная дыра	~10^5–$10^{10}M_\odot$	~0,001–100 а. е.
Чёрная дыра промежуточной массы	~$10^3M_\odot$	~10^3 км
Чёрная дыра звёздной массы	~$10M_\odot$	~30 км
Микроскопическая чёрная дыра	< $M_{Луны}$	< 0,1 мм

С высокой степенью вероятности можно утверждать, что чёрные дыры звёздной массы и сверхмассивные чёрные дыры обнаружены в космическом пространстве в составе двойных звёзд и в ядрах галактик. Есть также указания, что чёрные дыры промежуточной массы могут находиться в ядрах некоторых шаровых звёздных скоплений. О существовании микроскопических чёрных дыр ничего не известно.

Вполне вероятно, что самые мощные процессы энерговыделения во Вселенной происходят с участием чёрных дыр. Именно их считают источником активности в ядрах квазаров – молодых массивных галактик. Именно их рождение, как полагают многие астрофизики, знаменуется самыми мощными взрывами во Вселенной, проявляющимися как гамма-всплески.

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ РАЙСНЕРА—НОРДСТРЕМА – чёрные дыры, обладающие массой и электрическим зарядом, т. е. невращающиеся заряженные чёрные дыры.

ЧЁРНЫЙ КАРЛИК – конечная точка эволюции вырожденных звёзд (например, белых карликов) после их охлаждения до такой степени, когда они уже практически перестают излучать. Чёрный карлик состоит из холодного вырожденного вещества, давление которого противодействует его гравитационному сжатию. Расчёты показывают, что для полного охлаждения белого карлика до состояния чёрного карлика формально необходим триллион лет, следовательно, пройдёт ещё много времени, прежде чем во Вселенной появятся такие объекты. Впрочем, за несколько миллиардов лет белый карлик остывает настолько, что его уже почти невозможно заметить.

Многие авторы называют чёрными карликами не только остывшие белые карлики, но и остывшие нейтронные звёзды. Между ними действительно много общего. В то время как у белых карликов гравитации противодействует давление вырожденных электронов, у нейтронных звёзд эту роль играет давление вырожденных нейтронов. Остывают нейтронные звёзды значительно быстрее белых карликов – всего лишь за миллионы лет.

При ещё более широком понимании термина «чёрный карлик» в эту группу включают и остывшие коричневые карлики – объекты субзвёздной массы, в эволюции которых термоядерные реакции никогда не играли существенной роли. В начале своей эволюции коричневые карлики разогреваются за счёт гравитационного сжатия (плюс незначительную роль играет термоядерное горение дейтерия), а затем остывают в течение нескольких миллиардов лет.

Желательно помнить, что чёрные карлики не имеют ничего общего с чёрными дырами.

ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВАЯ ПЛАСТИНКА – оптическое устройство, применяемое в поляризаторах для превращения излучения с круговой или эллиптической поляризацией в линейно поляризованное излучение и наоборот. Четвертьволновую пластинку изготавливают из двулучепреломляющего вещества так, чтобы после прохождения сквозь пластинку обыкновенный и необыкновенный лучи получили относительный сдвиг фаз в 90° (т. е. в четверть длины волны).

ЧЁТКИ БЕЙЛИ – цепочка ярких точек, наблюдающихся вдоль лунного лимба за мгновение до начала полной фазы солнечного затмения или сразу после её окончания. Причина их появления – неровности лунной поверхности, через низины которой проходят солнечные лучи. Впервые это явление описал английский астроном Френсис Бейли (F. Baily, 1774–1844) при наблюдении солнечного затмения 15 мая 1836 г. Когда от «чёток» остаётся лишь одна яркая точка, которая касается светлого ободка солнечной короны вокруг лунного диска, это явление называют «бриллиантовым кольцом».

ЧЁТКОСТЬ – не вполне определённый термин, характеризующий угловое разрешение и отчётливость изображения, наблюдаемого в телескоп. Чаще всего используется при описании условий наблюдения, характеризуемых качеством изображения протяжённых объектов.

ЧИСЛО АЛЬВЕНА – безразмерная величина A, характеризующая движение про-

водящей жидкости в магнитном поле. Названо в честь Х. Альвена (H. Alfven). Число Альвена равно отношению магнитной $E_м = H^2/8\pi$ и кинетической $E_к = \rho V^2/2$ энергий (H — напряжённость магнитного поля, ρ — плотность, V — скорость жидкости): $A = E_м/E_к = H^2/4\pi\rho V^2$. Если ввести скорость альвеновских волн $V_A = H(4\pi\rho)^{-1/2}$, то $A = (V_A/V)^2$. (См. *Альвеновские волны.*)

ЧИСЛО ВОЛЬФА — один из индексов солнечной активности; наиболее простой, старый и общеупотребительный из них. Его научное название — относительное цюрихское число солнечных пятен. Подсчитывается путём визуального наблюдения солнечного диска, спроецированного телескопом на белый экран. Значение числа Вольфа вычисляют по формуле $R = k(10g + s)$, где s (от *spot*) — количество солнечных пятен (несколько тёмных ядер, даже погружённых в общую полутень, считаются раздельными пятнами); g (от *group*) — количество групп пятен (каждое уединённое пятно, даже имеющее простую структуру, также считается группой); k — индивидуальный коэффициент наблюдателя; он нужен для того, чтобы приводить к единой системе подсчёты, сделанные разными наблюдателями в различных условиях, на разных телескопах. Среднегодовые значения чисел Вольфа обычно лежат в диапазоне от 30 до 130, хотя за последние 300 лет менялись от 0 до 190. Среднегодовые числа Вольфа начиная с 1700 г. можно найти на сайте http://sidc.oma.be/DATA/yearssn.dat. Среднемесячные числа Вольфа начиная с 1749 г. опубликованы на сайте http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/sunspots.htm.

ЧИСЛО ШТРЕЛЯ (англ. Strehl ratio) — мера качества оптической системы. Равно отношению реальной интенсивности в центре изображения точечного источника к теоретической интенсивности в центре совершенного дифракционно-ограниченного изображения, создаваемого идеальным телескопом того же диаметра. Из-за атмосферного размытия число Штреля у крупных наземных телескопов не превышает 0,1. Но применение систем адаптивной оптики позволяет достигать чисел Штреля около 0,6.

ЧИСЛО ISO — параметр светочувствительности фотоэмульсии, установленный по методике Международной организации по стандартизации (International Organization for Standardization).

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ — минимальное значение измеряемой величины (сигнала), которое ещё может быть зарегистрирован детектором. Величина предельной чувствительности детектирующей системы в большинстве случаев определяется её собственным шумом, поскольку для уверенного детектирования необходимо достичь отношения сигнал/шум = 1 или выше.

Ш

ШАЙН, Григорий Абрамович (7(19).4.1892, Одесса, Россия, — 4.8.1956, Москва, СССР) — советский астроном, академик АН СССР (1939). Открыл комету (1925 VI, Шайна — Комаса Сола) с уникально большим перигелийным расстоянием (4,2 а. е.). Открыл (совместно с В. Ф. Газе) более 150 диффузных туманностей. Доказал гипотезу о наличии регулярного магнитного поля Галактики. Исследовал двойные звёзды, астероиды, корону Солнца и другие объекты. Открыл несколько десятков спектрально-двойных звёзд.

ШАНХАЙСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — оптическая и радиоастрономическая обсерватория близ г. Шанхай (Китай), образована в 1962 г. путём слияния двух небольших обсерваторий, основанных французской миссией в 1872 и 1900 гг. Крупнейший телескоп — рефлектор диаметром 156 см. Радиотелескоп с полноповоротной параболической антенной диаметром 25 м входит в систему китайского сверхдлиннобазового интерферометра.

ШАРЛЬЕ, Карл Вильгельм (Charlier, Carl Vilhelm Ludwig) (1.04.1862, Эстерсунд, Швеция, — 5,11.1934, Лунд, Швеция) — шведский астроном. Развил (1908–1922) теорию иерархического строения Вселенной (звёзды образуют скопление, скопления — галактику, галактики — метагалактику и т. д.), средняя плотность которой уменьшается с ростом масштаба, что позволяет избежать гравитационного и фотометрического парадоксов.

ШАРНИРНАЯ ГОЛОВКА — монтировка для небольших телескопов, подвижная часть которой, обычно опирающаяся на треногу, состоит из небольшого шара, к которому сверху крепится телескоп, а снизу его охватывает зажим. Ослабив зажим, можно навести телескоп в нужную точку неба, а затем вновь зафиксировать. Этот тип монтировки плохо соответствует требованиям, предъявляемым к монтировкам для астрономических наблюдений: он не позволяет плавно вести телескоп за светилом, не гасит вибрации трубы. Поэтому следует по возможности избегать такой монтировки.

ШАРОВАЯ МОНТИРОВКА — монтировка, используемая для небольших телескопов-рефлекторов, в которой нижняя часть трубы телескопа выполнена в виде сегмента гладкой сферы, свободно опирающейся на три равноотстоящих опоры. Телескоп легко наводится в любую точку неба и при этом не страдает от вибраций. Кроме того, не изменяя направления оптической оси телескопа, поворотом трубы вокруг неё можно приводить окуляр в удобное для наблюдателя положение.

ШАРОВЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ (или просто «шаровые скопления») — звёздные скопления, отличающееся от рассеянных скоплений большим количеством звёзд, их более высокой концентрацией к центру скопления и значительно большим возрастом, близким к возрасту Галактики, а может быть, и превосходящим его. Обычно в шаровых скоплениях заключено 10^5–10^6 звёзд. В нашей Галактике обнаружено около 160 шаровых скоплений; всего их, вероятно, не более 200. Маленькие галактики вообще не содержат шаровых скоплений или содержат их всего несколько, а гигантские эллиптические галактики содержат тысячи шаровых скоплений. В галактике шаровые скопления движутся по вытянутым, хаотически ориентированным орбитам. Они относятся к типичному населению II типа.

ШВАБЕ, Генрих (Schwabe, Samuel Heinrich) (25.10.1789, Дессау, Германия, — 11.04.1875, Дессау, Германия) — немецкий астроном-любитель. С 1826 г. регулярно наблюдал поверхность Солнца, открыл (1843) периодичность количества солнечных пятен. Первым детально исследовал (1831) Большое красное пятно на Юпитере.

ШВАРЦШИЛЬД, Карл (Schwarzschild, Karl) (9.10.1873, Франкфурт-на-Майне, Германия, — 11.05.1916, Потсдам, Германия) — немецкий астроном, один из основоположников теоретической астрофизики. Первую научную работу по небесной ме-



Карл Шварцшильд

ханике опубликовал в 16 лет. В 1901 г. стал профессором и директором обсерватории Гёттенгенского университета, затем – директором Потсдамской астрофизической обсерватории (1909–1916). С 1912 г. член Берлинской АН и профессор Берлинского университета.

Карл Шварцшильд выполнил пионерские исследования по теории звёздных атмосфер и теории внутреннего строения звёзд, важные работы в области практической астрофизики, звёздной динамики, а также по теории относительности. Заложил основы точной фотографической фотометрии, разработав ряд методов и приспособлений, позволивших производить точные оценки блеска звёзд по фотографиям; эмпирически установил закон, связывающий почернение на фотопластинке со временем экспозиции (закон Шварцшильда). В 1910–1912 гг. составил точный каталог фотографических звёздных величин 3500 звёзд, ставший основой для статистических работ по оценке температур звёзд и расстояний до них. Впервые установил нуль-пункт шкалы фотографических звёздных величин, связав эту шкалу со шкалой визуальных величин. В 1899 г. обнаружил, что изменения блеска переменных звёзд-цефеид сопровождаются изменениями их эффективной температуры.

В 1907 г. предложил закон эллипсоидального распределения скоростей звёзд в Галактике для объяснения их наблюдаемых систематических движений. Теория Шварцшильда, ставшая альтернативой теории «двух потоков» Я. К. Каптейна, получила подтверждение в после открытия вращения Галактики. В 1910–1912 гг. сформулировал общие интегральные уравнения звёздной статистики, связывающие абсолютные и видимые характеристики звёзд с их пространственной плотностью; дал общее полное решение этих уравнений. В 1906 г. ввёл концепцию лучистого равновесия звёздной атмосферы, согласно которой перенос энергии в атмосфере в основном осуществляется излучением, при этом конвективный перенос пренебрежимо мал. Создал математическую теорию лучистого равновесия и разработал соответствующую модель строения звёздной атмосферы. Развил теорию атомных спектров, предложенную Н. Бором. Независимо от А. Зоммерфельда вывел основные правила квантования, дал полную теорию эффекта Штарка (влияние электрического поля на свет), начал развивать квантовую теорию молекулярных спектров. В 1911 г. объяснил распределение яркости в хвосте кометы Галлея механизмом флуоресцентного свечения молекул.

В 1916 г. Карл Шварцшильд впервые получил точное решение уравнений общей теории относительности Эйнштейна, выражающее обобщённый закон всемирного тяготения для статического сферически-симметричного случая. Рассмотрел движение частиц и света в окрестности массивного невращающегося тела. Нашёл выражение для критического («гравитационного» или «шварцшильдовского») радиуса тела, при котором свет не может покинуть его поверхность; фактически это было первое точное описание чёрной дыры. В период Первой мировой войны был призван в действующую армию и умер, заболев во время службы.

ШВАРЦШИЛЬД, Мартин (Schwarzschild, Martin) (31.05.1912, Потсдам, Германия, – 10.04.1997, Ленгхорн, шт. Пенсильвания, США) – американский астроном, сын Карла Шварцшильда. В 1935 г. окончил Гёттингенский университет. В 1936–1937 гг. работал в Институте астрофизики в Осло (Норвегия). С 1937 г. жил в США. В 1937–1940 г. работал в Гарвардской обсерватории, в 1940–1947 гг. в обсерватории Колумбийского университета (в период Второй мировой войны служил в армии США), с 1947 г. профессор астрономии Принстонского университета. С 1956 г. член Национальной АН США.

Основные работы относятся к теории строения и эволюции звёзд. Исследовал связь между бегущими волнами во внешних слоях пульсирующей звезды и сдвигом фазы при переходе от внутренних слоёв к поверхности. Первым ввёл физический закон выделения энергии при термоядерных реакциях в систему уравнений, характеризующих равновесную звезду. В 1941 г. осуществил первый подобный расчёт для Солнца и оценил содержание в нём гелия. Предложил детальную модель Солнца и, исходя из неё, получил характеристики дифференциального вращения Солнца, удовлетворительно согласующиеся с наблюдательными данными. Внёс большой вклад в теоретическое изучение красных гигантов. В 1950-е гг. выполнил обширные расчёты моделей звёзд с неоднородным химическим составом, характерным для поздних стадий эволюции. Совместно с Э. Р. Сэндиджем показал, что быстрый уход с главной последовательности на ветвь гигантов можно объяснить на основании модели со слоевым водородным источником и изотермическим ядром, сжимающимся под действием гравитации. В 1955 г. совместно с Ф. Хойлом впервые с помощью компьютера рассчитал эволюцию звезды на стадии красного гиганта; рассмотрел ряд проблем, касающихся эволюции звёзд сферической составляющей Галактики, и предложил теоретическую интерпретацию диаграмм цвет–светимость шаровых скоплений. Выполнил ряд важных теоретических и наблюдательных исследований турбулентности и конвективной неустойчивости в звёздах. Изучал динамику эллиптических галактик.



Мартин Шварцшильд

В 1950–1960-е гг. руководил проектом «Стратоскоп», задачей которого был подъём автоматического телескопа на воздушном шаре в стратосферу для фотографирования астрономических объектов с высоким угловым разрешением. Полёты аппарата «Стратоскоп-1» позволили получить рекордно детальные снимки солнечных пятен и грануляции солнечной поверхности, что доказывало наличие конвекции в фотосфере Солнца. Полёты «Стратоскопа-2» принесли инфракрасные спектры планет, данные о красных гигантах и детальные снимки ядер галактик.

Мартин Шварцшильд – признанный лектор и автор классической монографии «Строение и эволюция звёзд» (1958, 1965; рус. пер. 1961, 2004). Член ряда академий наук и научных обществ, вице-президент Международного астрономического союза (1964–1970), президент Американского астрономического общества (1970–1972). Награждён медалями многих научных обществ.

ШВАРЦШИЛЬДОВСКАЯ ЧЁРНАЯ ДЫРА – чёрная дыра, обладающая нулевым моментом импульса, т. е. невращающаяся, и электрически нейтральная. Свойства такой чёрной дыры зависят только от одного её параметра – массы. Название дано в честь Карла Шварцшильда, который в 1916 г. впервые получил точное решение уравнений общей теории относительности Эйнштейна, выражающее закон всемирного тяготения для статического сферически-симметричного случая и рассмотрел движение частиц вещества и света в окрестности массивного невращающегося тела. При этом он вывел выражение для критического («шварцшильдовского») радиуса тела, при котором свет не может покинуть его поверхность. Это стало первым точным описанием чёрной дыры.

ШВАРЦШИЛЬДОВСКИЙ РАДИУС – радиус горизонта событий, окружающего шварцшильдовскую чёрную дыру.

ШЕПЛИ, Харлоу (Shapley, Harlow) (2.11.1885, Нашвилл, шт. Миссури, США, – 20.10.1972, Боулдер, шт. Колорадо, США) – американский астроном. Окончив Миссурийский университет, увлёкся астрономией и отправился в Принстонский университет изучать затменные двойные звёзды под руководством Г. Н. Рессела, став его первым учеником. Занимаясь в обсерватории Маунт Вилсон фотометрией переменных звёзд в шаровых звёздных скоплениях, Шепли пришёл к выводу, что размер нашей Галактики значительно больше, чем тогда считалось, и что Солнце расположено не в её центре, а на краю. После знаменитой дискуссии между Шепли и Г. Кёртисом о природе галактик, состоявшейся в апреле 1920 г. в Национальной академии наук США, Шепли стал директором Гарвардской обсерватории вплоть до 1952 г. Там он изучал пространственное распределение ближайших галактик и организовал наблюдения Магеллановых Облаков на Южной станции Гарвардской обсерватории.

В Гарварде Шепли стал широко известен своими лекциями по астрономии, которые пользовались огромной популярностью. Он проявлял большую активность на международной арене, организуя помощь учёным-эмигрантам, участвовал в работе ЮНЕСКО (Отделение Организации Объединенных Наций по образованию, науке и культуре). За свои интернациональные убеждения подвергался нападкам со стороны Комиссии по антиамериканской деятельности в 1946 г. и во время антикоммунистической компании сенатора Дж. Маккарти в 1950 г. За научные достижения Шепли удостоен многих наград, в том числе Золотой медали Королевского астрономического общества Великобритании (1934). Широко известны его популярные книги «Галактики» и «Звёзды и люди».

ШИККАРД, Вильгельм (Schickard, Wilhelm) (22.04.1592, Херренберг, Германия, – 24.10.1635, Тюбинген, Германия) – немецкий математик и астроном. Изобрёл и построил первую работающую модель механического вычислительного устройства, первый коперниканский планетарий, демонстрирующий положение Солнца, Земли и Луны. Наблюдал метеоры из разных пунктов для определения их траектории.

ШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП – телескоп, предназначенный для наблюдений с большим полем зрения. Обычно подобный инструмент имеет небольшой объектив, широкоугольный окуляр и равнозрачковое увеличение. Поле зрения широкоугольных телескопов составляет от 2° до 6°. Подобными характеристиками обладают и астрографы. Обычно это телескопы-рефракторы, телескопы-рефлекторы с фокальным корректором или катадиоптрические системы (Шмидта, Максутова).

ШИРОТА – одна из координат на поверхности тела сферической формы, например географическая широта на Земле. Широта есть угол между объектом и плоскостью экватора, положительный к северу и отрицательный к югу от экватора.

ШИРОТА, АСТРОНОМИЧЕСКАЯ – угол между плоскостью земного экватора и отвесной линии в данной точке.

ШИРОТА, ГАЛАКТИЧЕСКАЯ – угловое расстояние светила к северу (со знаком «+») или к югу (со знаком «–») от галактического экватора – большого круга, представляющего плоскость Млечного Пути.

ШИРОТА, ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ – величина дуги меридиана от экватора до данной точки. В Северном полушарии Земли отсчитывается от экватора в пределах от 0° до +90° (северная широта), в Южном полушарии – от 0 до –90° (южная широта).

ШИРОТА, ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ – угол между плоскостью земного экватора и перпендикуляром к поверхности сфероида, представляющего поверхность Земли.

ШИРОТА, ГЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ – угол с вершиной в центре Земли между заданным направлением и плоскостью земного экватора.

ШИРОТА, ЭКЛИПТИЧЕСКАЯ – угловое расстояние светила к северу или югу от эклиптики. Вместе с эклиптической долготой образует эклиптическую систему координат.

ШИРОТНЫЙ КЛИН – устройство, при помощи которого небольшой телескоп на альт-азимутальной монтировке можно превратить в телескоп на экваториальной монтировке. Широтный клин состоит из основания и установочной пластины, угол которой по отношению к горизонту можно плавно изменять. Установочная пластина обычно имеет посадочное место, соответствующее нижней части основания телескопа. Угол наклона широтного клина устанавливается равным 90° – φ, где φ – широта места наблюдения. Само устройство с закреплённым телескопом разворачивают по азимуту до совпадения оси азимутов телескопа с полюсом мира. При этом ось азимутов становится полярной осью, а ось высоты – осью склонений.

ШКАЛА АНТОНИАДИ для оценки качества изображений – введённая французским астрономом Эженом Антониади (Eugène Antoniadi, 1870–1944) пятиступенчатая шкала для субъективной оценки качества видимости при визуальных наблюдениях.

I – великолепное качество.

II – некоторая турбулентность, но временами качество великолепное.

III – приемлемое, но временами ухудшающееся до плохого.

IV – плохое; постоянная турбулентность.

V – ужасное; наблюдения практически невозможны.

ШКАЛА ДАНЖОНА – пятибалльная шкала, предложенная французским астрономом Данжоном (André-Louis Danjon, 1890–1967) для визуальных оценок яркости и цвета Луны в полной фазе лунного затмения.

0. Очень тёмное затмение. Луна почти не видна.

1. Тёмное затмение, цвет Луны серый или тёмно-коричневый. Детали на лунной поверхности практически не видны.

2. Тёмно-красное затмение. Очень тёмная центральная часть земной тени с относительно более яркими краями.

3. Затмение красное, кирпичного цвета. Довольно яркие края у земной тени.

4. Затмение медно-красное или оранжевое. Внешняя зона тени очень яркая.

ШКАЛА ЗВЁЗДНЫХ ВЕЛИЧИН – логарифмическая шкала, используемая для сравнения освещённостей (потоков излучения) от различных объектов или отдельных их частей; за основание логарифмов принято число $\sqrt[5]{100} = 2{,}5118864...$, десятичный логарифм которого в точности равен 0,4. Единица ступени – 1 звёздная величина; обозначается 1^m (верхний индекс «m» набирается курсивом, чтобы отличить от минуты времени, у которой индекс прямой, 1^m). Возрастание на 1^m соответствует уменьшению освещённости в $10^{0{,}4} \approx 2{,}512$ раза (см. *Звёздная величина*). Начало отсчёта (нуль-пункт) устанавливается по специально выбранным звёздам, называемым стандартами.

ШКАЛА КОСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЙ – цепь перекрывающихся по своим возможностям методов, с помощью которых астрономы устанавливают расстояния до различных объектов Вселенной – от ближайших планет до самых удалённых галактик и квазаров. Шкала расстояний строится как своеобразная лестница, где каждая ступень – это один из методов, работоспособный в определённом диапазоне расстояний. Каждая ступень (метод) опирается на предыдущие. На каждой ступени неизбежна некоторая неточность, неопределённость в измерении расстояний. Каждая следующая ступень

получает от предыдущей весь груз её проблем, поэтому ошибка измерения расстояния до объекта увеличивается с ростом расстояния. В результате поразительная точность первой ступени шкалы превращается в огромную неопределённость на верхней её ступени.

Расстояния внутри Солнечной системы определены разными методами с предельной точностью: для этого используются радиолокация, хронометраж сигналов межпланетных зондов и измерение тригонометрических параллаксов планет и астероидов.

Расстояния до звёзд, расположенных в пределах нескольких тысяч световых лет, измеряют различными геометрическими методами. Наиболее точные значения основаны на измерении годичных параллаксов примерно 1000 близлежащих звёзд, проведённых спутником «Гиппаркос». На таких же расстояниях используют метод группового параллакса, основанный на наблюдении движущихся скоплений, а метод совмещения главных последовательностей на диаграмме Герцшпрунга–Рассела работает для рассеянных скоплений на расстояниях до 20 кпк.

За пределами нашей Галактики наиболее надёжно расстояния определяются с помощью зависимости период–светимость цефеид и других ярких звёзд, светимость которых известна, например звёзд типа RR Лиры и новых. Этот метод можно использовать до расстояний, на которых цефеиды и другие звёзды можно различить в их галактиках, что возможно до расстояний 100 млн св. лет. Для более далёких галактик нужны стандартные свечи, которые ярче цефеид. В этом случае можно использовать шаровые скопления и сверхновые типа Ia, которые можно откалибровать как индикаторы расстояний, используя цефеиды соседних галактик. Этот метод применим до расстояний примерно 200 млн св. лет, а по сверхновым расстояния определяются примерно до 5 млрд св. лет. За этими пределами можно увидеть только целые галактики, и в этом случае используют соотношения Талли–Фишера (Tully–Fisher) и Фабер–Джексона (Faber–Jackson), которые связывают измеряемые характеристики галактики или групп галактик с их светимостью.

Внегалактические индикаторы расстояний позволяют найти значение постоянной Хаббла, определяющей скорость расширения Вселенной. Зная постоянную Хаббла и измеряя красные смещения удаляющихся галактик и квазаров, можно оценить расстояния до них. Но этот метод не очень точен, так как современное значение постоянной Хаббла измерено с немалой погрешностью: приблизительно 71±4 км/(с·Мпк). К тому же в прошлом это значение было иным.

ШКЛОВСКИЙ, Иосиф Самуилович (18.06[1.07].1916, Глухов, Украина, – 3.03.1985, Москва) – российский астроном, член-корр. АН СССР (1966), автор девяти книг и более 300 научных публикаций, лауреат Ленинской премии (1960, за концепцию искусственной кометы). Основатель школы современной астрофизики – отдела радиоастрономии Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ), Астрокосмического центра ФИАН (тогда – отдела астрофизики Института космических исследований АН СССР). Известен также как автор научно-популярных статей и работ по проблемам существования внеземных цивилизаций.

Окончил физический факультет МГУ (1938). Кандидатскую (1944, «Электронная температура в астрофизике») и докторскую (1949) диссертации защитил на кафедре астрофизики ГАИШ. Разработал (1944–1949) теорию солнечной короны, предсказал (1953) возможность наблюдения межзвёздных молекул OH, CN и др. в радиодиапазоне, объяснил (1953) излучение остатков сверхновых синхротронным механизмом, предложил (1956) эволюционную схему планетарных туманностей.

Научные монографии Шкловского: «Солнечная корона» (1951), «Космическое радиоизлучение» (1956), «Физика солнечной короны» (1962), «Сверхновые звёзды» (1966, 1976). Научно-популярные книги: «Радиоастрономия. Популярный очерк» (1953, 1955), «Вселенная. Жизнь. Разум» (семь изданий, 1962–2006), «Звёзды: их рождение, жизнь и смерть» (1975, 1977, 1984) и др. Заметным литературным явлением стала книга Шкловского «Эшелон. Невыдуманные рассказы» (1991). Книга «Вселенная. Жизнь. Разум» принесла автору широкую популярность в стране, а позже и за рубежом, переведённая на английский язык и дополненная в соавторстве с Карлом Саганом (Intelligent Life in the Universe. Random House, 1966).



И. С. Шкловский

Почётные звания: член Лондонского королевского астрономического общества, Американской академии наук и искусств, Национальной академии наук США. Почётный член Королевского астрономического общества Канады. Почётный доктор Парижской обсерватории. Награждён Золотой медалью им. Брюс Тихоокеанского астрономического общества.

ШМИДТ, Бернхард Вольдемар (Schmidt, Bernhard Woldemar) (11.04.1879 н. с., о. Найссаар, близ Таллина, Эстония, – 1.12.1935, Лейден, Нидерланды) – эстонский оптик, создатель астрономических инструментов. Разработал коррекционную пластину для подавления сферической аберрации у зеркальных телескопов. Телескоп (или камера) системы Шмидта позволяет фотографировать большие области неба, правда, фотопластинку при этом приходится немного выгибать. Несмотря на то, что в детстве в результате несчастного случая Шмидт потерял правую руку, он был одним из лучших шлифовщиков астрономических зеркал своего времени.

ШМИДТ, Мартен (Schmidt, Maarten) (р. 28.12.1929, Гронинген, Нидерланды) – американский астроном голландского происхождения. Открыл (1963) большое красное смещение линий в спектрах квазаров, чем привлёк всеобщий интерес к этим удивительным объектам. Плодотворно изучает квазары (он же и предложил этот термин), структуру Галактики и звёздообразование. Широко используется «закон Шмидта» – аналитическая формула, связывающая плотность межзвёздного газа и частоту формирования в нём звёзд.

ШТЕРНБЕРГ, Павел Карлович (2.04.1865, Орёл, Россия, – 1.02.1920, Москва) – российский астроном, профессор МГУ, член РСДРП(б) с 1905 г. и революционер, депутат Московской городской думы (1908), участник революции 1917 г. и Гражданской войны (1918–1920). Окончил Орловскую классическую гимназию (1883) и, поступив на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета, стал одним из лучших учеников известного астронома профессора Ф. А. Бредихина. В 1887 г. Павел Штернберг был награждён золотой медалью факультета за студенческую научную работу «О продолжительности вращения Красного пятна Юпитера». Участвовал в экспедиции Московской обсерватории в г. Юрьевец для наблюдения полного солнечного затмения 19 августа 1887 г. В 1888 г. был назначен сверхштатным ассистентом Астрономической обсерватории и оставлен при университете для приготовления к профессорскому званию (эк-



П. К. Штернберг

вивалент аспирантуры). С 1890 г. – приват-доцент Московского университета и утверждён в должности астронома-наблюдателя в обсерватории. В 1899–1900 гг. возглавлял комиссию по разработке программы по астрономии для средних учебных заведений. Среди сочинений Штернберга – «Курс описательной астрономии» (М.: Студенческое изд-во, 1915), составленный А. А. Соколовым на основании читавшихся Штернбергом лекций.

Научные работы относятся к изучению вращения Земли, фотографической астрономии, гравиметрии. За свои гравиметрические определения в ряде пунктов европейской части России с маятником Репсольда получил медаль Русского географического общества. В 1892–1903 гг. выполнил капитальное исследование «Широта Московской обсерватории в связи с движением полюсов». Проведённые Штернбергом фотографические наблюдения двойных звёзд были одними из первых в науке строго разработанных попыток использования фотографических методов для точных измерений взаимного положения звёздных пар. Полученные им сотни фотоснимков двойных звёзд и других объектов по сей день служат хорошим материалом для научных исследований.

Как член партии большевиков Штернберг принимал деятельное участие в подготовке и проведении революции 1917 г. В сентябре 1918 г., в условиях разгоравшейся Гражданской войны, он был назначен членом Реввоенсовета и политкомиссаром 2-й армии Восточного фронта, а в сентябре 1919 г. – членом Реввоенсовета Восточного фронта. В ноябре–декабре 1919 г. принимал участие в руководстве боевыми операциями 3-й и 5-й армий Восточного фронта по овладению Омском; тяжело заболел при форсировании Иртыша, был доставлен в Москву, где умер в ночь с 31 января на 1 февраля 1920 г.

ШУМ – любой вид постороннего сигнала, смешивающийся с изучаемым сигналом. Из-за шума точность измерения изучаемого сигнала снижается, а при значительной мощности шума по сравнению с полезным сигналом последний может стать вообще недетектируемым. Имеется множество источников и различных типов шума, поэтому сигналов или измерений, полностью свободных от влияния шумов, не существует. В зависимости от происхождения и природы шум можно подразделить на четыре типа: внутренний, внешний, фундаментальный и шум обработки.

Источником внутреннего шума служит детектор. К собственным шумам детектора относится, например, тепловой шум (он же джонсоновский шум или шум Найквиста); его причиной является хаотическое тепловое движение электронов и атомов. Дробовой шум возникает вследствие вариаций скорости диффузии вдоль границы нейтральной зоны полупроводникового детектора. Шумом является химическое вуалирование фотографической эмульсии. Существует также шум считывания ПЗС и т. п.

К внешним относятся шумы, вносимые источниками и процессами, не связанными непосредственно с измерительным прибором или наблюдаемым объектом. Так, источниками внешнего шума являются засветка неба, интерференция в радиодиапазоне, тепловое излучение телескопа и его окружения в инфракрасном диапазоне, фоновое излучение неба (как атмосферы, так и космической среды), следы космических лучей в ПЗС-изображениях и т. п.

Причиной фундаментального шума является характер самого сигнала, в большинстве случаев обусловленный квантовой природой электромагнитного излучения. Например, в сигнале от слабого источника количество фотонов, приходящих в единицу времени, заметно флуктуирует, так как они прибывают неравномерно даже в случае источника постоянной интенсивности.

Шум обработки вносится оборудованием, используемым для преобразования сигнала в удобную для регистрации форму. Прежде всего это чисто аппаратурные шумы – от усилителей, амплитудно-цифровых преобразователей и пр. К шумам обработки относят также случайные погрешности, вносимые при выполнении процедур редукции и анализа данных. У хорошей приёмной системы шумы обработки пренебрежимо малы.

ШУМАНОВСКИЙ РЕЗОНАНС – низкочастотные (5–10 Гц) колебания электромагнитного поля, возбуждаемые разрядами молний в волноводе Земля–ионосфера.

ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА – температура, при которой тепловой шум простого резистора с полным сопротивлением, равным полному сопротивлению элемента электронного оборудования, равен шуму этого элемента, вне зависимости от его происхождения.

ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА АНТЕННЫ – температура резистора, дающего уровень теплового шума, равный сигналу от антенны. Шумовая температура – это мера мощности принимаемого сигнала, а не физическая температура антенны.

ШУМОПОДАВЛЕНИЕ – методики, процессы, технологии, оборудование и т. п., используемые для снижения влияния шума на полезный сигнал. Имеется множество способов снижения шума в зависимости от его типа и источника. Обычно применяют следующие способы: накопление сигнала, охлаждение приёмника, модуляция, многократные измерения, метод максимальной энтропии, выбор хорошего пункта для наблюдений, привязка к стабильному стандартному источнику.

Щ

ЩЕЛЬ КАССИНИ, или **деление Кассини,** – тёмный промежуток между двумя наиболее яркими кольцами Сатурна – кольцами A и B. Ширина щели около 5000 км. Открыта Дж. Д. Кассини в 1675 г. Тогда же он предположил, что кольца состоят из большого количества отдельных небольших частиц.

ЩИТ – маленькое экваториальное созвездие, введённое Я. Гевелием под именем Щит Собесского в честь знаменитого полководца, польского короля Яна Собесского. Лежит в восточной ветви Млечного Пути, к северу от Стрельца. В нем нет ярких звёзд. Образцом короткопериодических пульсирующих переменных служит звезда δ Sct (5^m, период 4,7 час). Необычная полуправильная пульсирующая переменная R Sct похожа как на цефеиды, так и на долгопериодические красные переменные – мириды. Рассеянное скопление Дикая Утка (M11) можно наблюдать в небольшой телескоп на расстоянии около 2° к юго-востоку от звезды β Sct; оно содержит 500 звёзд ярче 14^m и представляет изумительное зрелище.

Э

ЭВАНТЕ (J XXXIII, Euanthe) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 20 465 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 598,093 сут. Эксцентриситет орбиты 0,2685. Наклонение орбиты к эклиптике 143°. Диаметр около 3 км. Альбедо около 4%. Блеск $22,8^m$ и максимальное угловое

расстояние от планеты 2°14′13″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ЭВЕКЦИЯ (лат. *evectio* — подъём) — наиболее значительное неравенство (т. е. отклонение от движения по законам Кеплера) в движении Луны вокруг Земли, обусловленное возмущающим воздействием Солнца. Эвекция была обнаружена Гиппархом (II в. до н. э.), а позже — Птолемеем (II в. н. э.). Правильное объяснение этого явления дал И. Ньютон. Изменение долготы Луны вследствие эвекции достигает 1°16′26″ и изменяется с периодом около 31,8 средних солнечных суток. Возмущающая сила, вызывающая эвекцию, периодически изменяет также и горизонтальный параллакс Луны.

ЭВКЕЛАДЕ (J XLVII, Eukelade) — естественный спутник Юпитера. Автор открытия — Скотт Шеппард (2003). Большая полуось орбиты 23 484 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 735 сут. Эксцентриситет орбиты 0,283. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 4 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 22{,}5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°44′39″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ЭВКРИТ — подтип ахондритных метеоритов. Состоят из кальциевого пироксена и плагиоклаза. Относятся к группе HED (Howardite — Eucrite — Diogenite). Предполагают, что происхождение этих метеоритов связано с астероидом Веста, поскольку спектры отражённого излучения этих метеоритов и астероида очень близки.

ЭВНОМИЯ — астероид № 15. Открыт А. Гаспарисом в 1851 г. Диаметр 260 км. Эвномия (Eunomia) — одна из трёх богинь времён года (древние фермеры называли их «порядок», «мир», «справедливость»). Эвномия представляла лето и раннюю осень.

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД — изменение внутреннего строения, физических характеристик и химического состава звёзд со временем. Важнейшие задачи теории эволюции — объяснение образования звёзд, изменения их наблюдаемых характеристик (размера, светимости, температуры поверхности и др.), исследование генетической связи различных групп звёзд, анализ их конечных состояний. Поскольку в известной нам части Вселенной звёзды служат важнейшими источниками энергии и практически единственными преобразователями элементного состава вещества, изучение эволюции звёзд является одним из главных направлений астрофизики. Более того, поскольку жизнь на Земле целиком зависит от Солнца, только адекватное представление об эволюции звёзд даёт основу для правильного представления о будущем земной биосферы и человечества как её части.

Звезда в стационарном состоянии — это газовый шар, находящийся в гидростатическом и тепловом равновесии, когда действие сил тяготения уравновешено внутренним давлением, а потери энергии на излучение компенсируются энергией, выделяющейся в недрах звезды. «Рождение» звезды — это образование гидростатически равновесного объекта, излучение которого поддерживается за счёт собственных источников энергии. «Смерть» звезды — необратимое нарушение равновесия, ведущее к разрушению звезды или к её катастрофическому сжатию.

Для понимания эволюции звёзд принципиальное значение имеет вопрос об источниках их энергии. Потери энергии на излучение с поверхности могут восполняться за счёт ядерных реакций, охлаждения недр и выделения гравитационной потенциальной энергии при сжатии. Охлаждение и гравитационное сжатие способны, например поддерживать светимость Солнца (масса $M_\odot = 1{,}99 \cdot 10^{30}$ кг, светимость $L_\odot = 3{,}86 \cdot 10^{26}$ Вт) в течение $\sim 10^7$ лет, звезды с массой $30\,M_\odot$ и $L = 10^5\,L_\odot$ — в течение $\sim 10^5$ лет, а ядерные реакции соответственно $\sim 10^{10}$ и $\sim 10^6$ лет. Геологические данные свидетельствуют о том, что светимость Солнца была практически неизменной в течение $\sim 10^9$ лет. Отсюда следует, что основным источником энергии могут быть только ядерные реакции.

Выделение гравитационной энергии может играть определяющую роль лишь тогда, когда температура недр звезды недостаточна для того, чтобы ядерное энерговыделение могло компенсировать потери энергии, и звезда в целом или её часть должна сжиматься для поддержания равновесия. Это происходит в период формирования звезды, пока температура не достигла уровня, необходимого для термоядерных реакций. Высвечивание тепловой энергии становится важным лишь после исчерпания запасов ядерной энергии. Таким образом, эволюцию звезды можно представить как последовательную смену источников её энергии.

Характерное время эволюции звезды слишком велико для того, чтобы можно было всю её проследить непосредственно. Поэтому основным методом исследования эволюции звёзд служит построение последовательностей их математических моделей, описывающих изменения внутреннего строения и химического состава звёзд со временем. Эволюционные последовательности затем сопоставляются с результатами наблюдений, например с диаграммой Герцшпрунга—Рассела (ГР-диаграммой), суммирующей наблюдения большого числа звёзд, находящихся на разных стадиях эволюции. Особо важную роль играет сравнение с ГР-диаграммами звёздных скоплений, поскольку все звёзды каждого скопления имеют одинаковый начальный химический состав и образовались практически одновременно. По ГР-диаграммам скоплений различного возраста удалось установить направление эволюции звёзд. Детально эволюционные последовательности рассчитываются путём численного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих распределение массы, плотности, температуры и светимости в недрах звезды, к которым добавляются уравнение состояния, законы энерговыделения и непрозрачности звёздного вещества и уравнения, описывающие изменение химического состава звезды со временем.

Ход эволюции звезды зависит в основном от её массы и исходного химического состава. Определённую роль могут играть вращение звезды и её магнитное поле, однако влияние этих факторов ещё недостаточно исследовано. Химический состав звезды зависит от времени, когда она образовалась, и от её положения в Галактике в момент образования. Звёзды первого поколения сформировались из вещества, состав которого определялся космологическими условиями. По-видимому, в нём было примерно 75% по массе водорода, 25% гелия и ничтожная примесь дейтерия и лития. В ходе эволюции звёзд первого поколения образовались тяжёлые элементы (следующие за гелием), которые были выброшены в межзвёздное пространство в результате истечения вещества из звёзд или при взрывах звёзд. Звёзды последующих поколений сформировались уже из вещества, содержавшего до 3–4% (по массе) тяжёлых элементов. Наиболее непосредственным указанием на то, что звёздообразование в Галактике происходит и в настоящее время, является существование массивных ярких звёзд спектральных классов O и B, время жизни которых не может превосходить $\sim 10^7$ лет. Скорость звёздообразования в современную эпоху оценивается в $5\,M_\odot$ в год.

Формирование звёзд

Согласно наиболее распространённой точке зрения, звёзды образуются в результате гравитационной конденсации вещества межзвёздной среды. Необходимое для этого разделение межзвёздной среды на две фазы — плотные холодные облака и разреженную среду с более высокой температурой — может происходить под воздействием тепловой неустойчивости Рэлея—Тейлора в межзвёздном магнитном поле.

Газово-пылевые комплексы массой 10^5–$10^6\,M_\odot$, характерным размером (10–100) пк и концентрацией частиц $n \sim 10^2$ см$^{-3}$ действительно наблюдают-

ся благодаря излучению ими радиоволн. Сжатие (коллапс) таких облаков требует определённых условий: гравитационная энергия связи частиц облака должна превосходить сумму энергии теплового движения частиц, энергии вращения облака как целого и магнитной энергии облака (критерий Джинса). Если учитывается только энергия теплового движения, то с точностью до множителя порядка единицы критерий Джинса записывается в виде:

$$M > M_J \approx 10 M_\odot T^{3/2} n^{-1/2},$$

где M — масса облака, T — температура газа в кельвинах, n — число частиц в 1 см^3. При типичных для современных межзвёздных облаков температурах $T \approx (10–30)$ К могут сколлапсировать лишь облака с массой не меньшей $10^2 M_\odot$. Критерий Джинса указывает, что для образования звёзд реально наблюдаемого спектра масс концентрация частиц в коллапсирующих облаках должна достигать $(10^3–10^6)$ см$^{-3}$, т. е. в $10–10^4$ раз превышать наблюдаемую в типичных облаках. Однако такие концентрации частиц могут достигаться в недрах облаков, уже начавших коллапс. Отсюда следует, что звёздообразование происходит путём последовательной, осуществляющейся в несколько этапов фрагментации массивных облаков. В этой картине естественно объясняется рождение звёзд группами — скоплениями. При этом пока неясными остаются вопросы, относящиеся к тепловому балансу в облаке, полю скоростей в нём, механизму, определяющему спектр масс фрагментов.

Коллапсирующие объекты звёздной массы называют протозвёздами. Коллапс сферически-симметричной невращающейся протозвезды без магнитного поля происходит в несколько этапов. Вначале облако однородно и изотермично. Оно прозрачно для собственного излучения, поэтому коллапс идёт с объёмными потерями энергии, главным образом за счёт теплового излучения пыли, которой при столкновениях передают свою кинетическую энергию частицы газа. В однородном облаке нет градиента давления, и сжатие начинается в режиме свободного падения с характерным временем $t_{ff} = (3\pi/32G\rho)^{1/2}$, где G — гравитационная постоянная, ρ — плотность облака. С началом сжатия возникает волна разрежения, перемещающаяся к центру со скоростью звука, а так как коллапс происходит быстрее там, где плотность выше, протозвезда разделяется на компактное ядро и протяжённую оболочку, в которой вещество распределяется по закону $\rho \sim r^{-2}$.

Когда концентрация частиц в ядре достигает $\sim 10^{11}$ см$^{-3}$, оно становится непрозрачным для ИК-излучения пылинок. Выделяющаяся в ядре энергия медленно просачивается к поверхности благодаря лучистой теплопроводности. Температура начинает повышаться почти адиабатически, это приводит к росту давления, и ядро приходит в состояние гидростатического равновесия. Оболочка продолжает падать на ядро, и на его периферии возникает ударная волна. Параметры ядра в это время слабо зависят от общей массы протозвезды: $M_я \approx 5 \cdot 10^{-3} M_\odot$, $\rho_я \approx 10^2 R_\odot$, $\rho \approx 2 \cdot 10^{-10}$ г/см^3, $T_я \approx 200$ К.

По мере увеличения массы ядра за счёт аккреции его температура изменяется практически адиабатически, пока не достигнет $T_я \approx 2000$ К, когда начинается диссоциация молекул H_2. В результате расхода энергии на диссоциацию, а не на увеличение кинетической энергии частиц значение показателя адиабаты g становится меньше $4/3$, изменения давления не способны компенсировать силы тяготения, и ядро повторно коллапсирует. Образуется новое ядро с параметрами $M \approx 10^{-3} M_\odot$, $r \approx 1 R_\odot$, $\rho \approx 2 \cdot 10^{-2}$ г/см^3, $T \approx 2 \cdot 10^4$ К, окружённое ударным фронтом. На это внутреннее ядро аккрецируют остатки первого ядра. Подобная же перестройка ядра происходит при ионизации водорода. Дальнейший рост ядра за счёт вещества оболочки продолжается до того момента, когда всё вещество упадёт на звезду либо рассеется под действием давления излучения или звёздного ветра, если ядро достаточно массивно (см. *Звезда-кокон*). У протозвёзд с $M < 2 M_\odot$ характерное время аккреции вещества оболочки $t_a > t_{KH}$, поэтому их светимость определяется энерговыделением сжимающихся ядер.

Звезда, состоящая из ядра и оболочки, наблюдается как ИК-источник из-за переработки излучения в оболочке (пыль оболочки, поглощая фотоны УФ-излучения ядра, излучает в ИК-диапазоне). Когда оболочка становится оптически тонкой, протозвезда начинает наблюдаться как обычный объект звёздной природы. У наиболее массивных звёзд оболочки сохраняются до начала термоядерного горения водорода в центре звезды. Давление излучения, судя по расчётам, должно ограничивать массу звёзд величиной $\approx (50–60) M_\odot$. Если даже и образуются более массивные звёзды, то они оказываются пульсационно-неустойчивыми и могут потерять значительную часть массы на стадии горения водорода в ядре.

Продолжительность стадии коллапса и рассеяния протозвёздной оболочки того же порядка, что и время свободного падения для родительского облака, т. е. $10^5–10^6$ лет. Освещённые ядром сгустки тёмного вещества остатков оболочки, ускоренные звёздным ветром, отождествляются с объектами Хербига–Аро (звездообразными сгущениями, имеющими эмиссионный спектр). Звёзды малых масс, когда они становятся видимыми, находятся в области ГР-диаграммы, занимаемой звёздами типа Т Тельца (карликовыми вспыхивающими звёздами); более массивные — в области, где находятся эмиссионные звёзды Хербига (неправильные переменные звёзды ранних спектральных классов с эмиссионными линиями в спектрах).

У звёзд малых масс в момент, когда устанавливается гидростатическое равновесие, условия в ядрах таковы, что энергия в них переносится конвекцией. Расчёты показывают, что температура поверхности полностью конвективной звезды почти постоянна. Радиус звезды непрерывно уменьшается, так как она продолжает сжиматься. При неизменной температуре поверхности и уменьшающемся радиусе светимость звезды должна падать, и на ГР-диаграмме этой стадии эволюции соответствуют вертикальные участки треков.

По мере продолжения сжатия температура в недрах звезды повышается, вещество становится более прозрачным, и у звёзд с $M > 0{,}3 M_\odot$ возникают лучистые ядра, но оболочки остаются конвективными. Менее массивные звёзды остаются полностью конвективными. Их светимость регулируется тонким лучистым слоем в фотосфере. Чем массивнее звезда и чем выше её эффективная температура, тем больше у неё лучистое ядро (в звёздах с $M > 3 M_\odot$ лучистое ядро возникает сразу). В конце концов практически вся звезда (за исключением поверхностной конвективной зоны у звёзд с массой $M \leqslant 1{,}5 M_\odot$) переходит в состояние лучистого равновесия, при котором вся выделяющаяся в ядре энергия переносится излучением.

Эволюция на основе ядерных реакций

При температуре в ядрах $\sim 10^6$ К начинаются первые ядерные реакции — выгорают дейтерий, литий, бор. Первичное количество этих элементов настолько мало, что их выгорание практически не выдерживает сжатия. Сжатие прекращается, когда температура в центре звезды достигает $\sim 10^6$ К и загорается водород, так как энергии, выделяющейся при термоядерном горении водорода, достаточно для компенсации потерь на излучение. Однородные звёзды, в ядрах которых горит водород, образуют на ГР-диаграмме начальную главную последовательность (НГП). Массивные звёзды достигают НГП быстрее звёзд малой массы, так как у них скорость потерь энергии на единицу массы, а следовательно, и темп эволюции выше, чем у маломассивных звёзд. С момента выхода на НГП эволюция звезды происходит на основе ядерного горения, главные стадии которого суммированы в таблице.

Ядерное горение может происходить до образования элементов группы железа, у которых наибольшая среди всех ядер энергия связи. При $T \leqslant 18 \cdot 10^6$ К основным

Основные стадии ядерной эволюции

Ядерное топливо	Продукты горения	Характерная температура, К	Энерговыделение, эрг/г	Частицы, осуществляющие основной отвод энергии	Длительность от времени жизни звезды
H	He	$(1–3)\cdot10^7$	$7\cdot10^{18}$	фотоны	≈ 90%
He	C, O	$2\cdot10^8$	$7\cdot10^{17}$	фотоны	⩽ 10%
C	Ne, Na, Mg	$1\cdot10^9$	$5\cdot10^{17}$	нейтрино	< 1%
Ne	O, Mg	$1{,}3\cdot10^9$	$1\cdot10^{17}$	нейтрино	< 1%
O	Элементы от Si до Ca	$1{,}8\cdot10^9$	$5\cdot10^{17}$	нейтрино	< 1%
Si	Элементы от Sc до Ni	$3{,}4\cdot10^9$	$2\cdot10^{17}$	нейтрино	< 1%

источником энергии служит реакция водородного цикла, при больших T – реакции углерод-азотного (CNO) цикла. Побочным эффектом CNO-цикла является установление равновесных концентраций нуклидов ^{14}N, ^{12}C, ^{13}C – соответственно ≈95%, ≈4% и 1% по массе. Преобладание азота в слоях, где происходило горение водорода, подтверждается результатами наблюдений Вольфа–Райе звёзд, у которых эти слои оказываются на поверхности в результате потери внешних слоёв. У звёзд, в центре которых реализуется CNO-цикл ($M>1M_\odot$), возникает конвективное ядро. Причина этого в очень сильной зависимости энерговыделения от температуры: $\varepsilon\sim T^{16}$–T^{20}. Поток же лучистой энергии $\sim T^4$, следовательно, он не может перенести всю выделяющуюся энергию, и должна возникнуть конвекция, более эффективная, чем лучистый перенос. У наиболее массивных звёзд конвекцией охвачено более 50% массы звёзд.

Значение конвективного ядра для эволюции определяется тем, что ядерное горючее равномерно истощается в области, значительно большей, чем область эффективного горения, в то время как у звёзд без конвективного ядра оно вначале выгорает лишь в малой окрестности центра, где температура достаточно высока. Время выгорания водорода заключено в пределах от $\sim10^{10}$ лет для $M\approx1M_\odot$ до $\approx3\cdot10^6$ лет для $M\approx50\ M_\odot$. Время всех последующих стадий ядерного горения не превосходит 10% времени горения водорода, поэтому звёзды на стадии горения водорода образуют на ГР-диаграмме густонаселённую область – главную последовательность (ГП).

У звёзд с $M\leqslant0{,}08M_\odot$ температура в центре никогда не достигает значений, необходимых для загорания основного, лёгкого, изотопа водорода (^1H); они сжимаются и некоторое время поддерживают своё излучение за счёт выделения гравитационной энергии. Если их масса лежит в интервале от 0,01 до $0{,}08M_\odot$, то они становятся коричневыми карликами. Это объекты промежуточного типа между звёздами и планетами. По сравнению с планетами, вообще не способными к термоядерному синтезу, коричневые карлики на начальном этапе своей жизни всё же разогреваются настолько, что сжигают в термоядерных реакциях некоторые редкие элементы, например, тяжёлый изотоп водорода – дейтерий (^2H), а также литий. Это делает их на короткое время похожими на звёзды. Затем они продолжают гравитационное сжатие, которое прекращается, когда карлики достигают состояния, близкого к состоянию планеты-гиганта (см. *Коричневые карлики*). Остывая, они становятся «чёрными» карликами.

Выгорание водорода приводит к увеличению средней молекулярной массы вещества ядра, и поэтому для поддержания гидростатического равновесия давление в центре должно возрастать, что влечёт за собой увеличение температуры в центре и градиента температуры по радиусу звезды, а следовательно, к росту светимости. К увеличению светимости приводит также и уменьшение непрозрачности вещества с ростом температуры. Ядро сжимается для поддержания условий ядерного энерговыделения с уменьшением содержания водорода, а оболочка расширяется из-за необходимости перенести возросший поток энергии от ядра. На ГР-диаграмме звезда перемещается вправо-вверх от НГП. Уменьшение непрозрачности приводит к отмиранию конвективных ядер у всех звёзд, кроме наиболее массивных. Темп эволюции массивных звёзд наиболее высок, и они первыми покидают ГП. Время жизни на ГП составляет для звёзд с $M=15\ M_\odot$ около 10 млн лет, с $M=5M_\odot$ около 70 млн лет, а с $M\approx1M_\odot$ около 10 млрд лет.

Когда содержание водорода в ядре уменьшается до ≈ 1%, расширение оболочек звёзд с $M>M_\odot$ сменяется общим сжатием звезды, необходимым для поддержания энерговыделения. Сжатие оболочки вызывает нагрев водорода в слое, прилегающем к гелиевому ядру, до температуры его термоядерного горения, и возникает слоевой источник энерговыделения. У звёзд с массой $M\leqslant M_\odot$, у которых ε в меньшей степени зависит от температуры и область энерговыделения не столь сильно концентрируется к центру, стадия общего сжатия отсутствует.

Эволюция звёзд после выгорания водорода зависит от их массы. Важнейшим фактором, влияющим на ход эволюции звёзд с массой $M\leqslant2{,}5M_\odot$, является вырождение газа электронов при больших плотностях. Это не позволяет их ядрам увеличивать свою массу выше предела Чандрасекара $M_{Ch}\approx1{,}4M_\odot$ (см. *Предел Чандрасекара*). У звёзд малых масс вырождение играет заметную роль уже в процессе образования гелиевых ядер.

Второй фактор, определяющий эволюцию звёзд на поздних стадиях, – это нейтринные потери энергии. В звёздных недрах при $T\sim10^8$ К основную роль в рождении нейтрино играют: фотонейтринный процесс $\gamma+e^-\to e^-+\nu+\bar\nu$, распад квантов плазменных колебаний (плазмонов) на пары нейтрино–антинейтрино ($\nu,\bar\nu$), аннигиляция пар электрон–позитрон ($e^-+e^+\to\nu+\bar\nu$) и урка-процессы (см. *Урка-процесс*). Важнейшая особенность нейтрино состоит в том, что вещество звезды для них практически прозрачно, поэтому они беспрепятственно уносят энергию из звезды.

Гелиевое ядро, в котором ещё не возникли условия для горения гелия, сжимается. Температура в слоевом источнике, прилегающем к ядру, увеличивается, скорость горения водорода возрастает. Необходимость переноса возросшего потока энергии приводит к расширению оболочки, на что тратится часть энергии. Поскольку светимость звезды не изменяется, температура её поверхности падает, и на ГР-диаграмме звезда перемещается в область, занимаемую красными гигантами. Время перестройки звезды на два порядка меньше времени выгорания водорода в ядре, поэтому между полосой ГП и областью красных сверхгигантов мало звёзд.

С уменьшением температуры оболочки возрастает её непрозрачность, вследствие этого появляется внешняя конвективная зона и возрастает светимость звезды. Отвод энергии из ядра посредством теплопроводности вырожденных электронов и нейтринных потерь у звёзд с $M\leqslant2{,}5M_\odot$ оттягивает момент загорания гелия. Температура начинает заметно расти лишь тогда, когда ядро становится почти изотермичным. Горение ^4He определяет эволюцию звёзд с момента, когда энерговыделение превышает потери

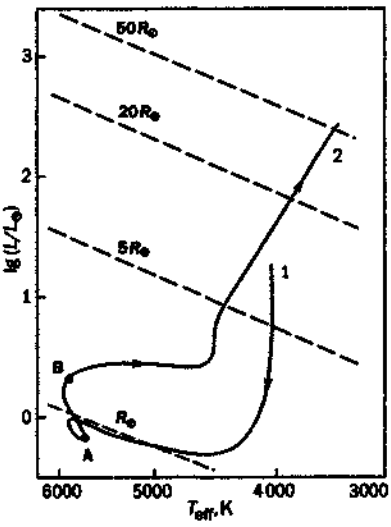


Эволюция Солнца. Размеры показаны не в масштабе

энергии путём теплопроводности и излучения нейтрино. Это же условие относится к горению всех последующих видов ядерного топлива.

Примечательная особенность звёздных ядер из вырожденного газа, охлаждаемых нейтрино, — это «конвергенция» — сближение треков, которые характеризуют соотношение плотности ρ_c и температуры T_c в центре звезды. Скорость энерговыделения при сжатии ядра определяется скоростью присоединения вещества к нему через слоевой источник, которая зависит только от массы ядра при данном виде топлива. В ядре должен поддерживаться баланс притока и оттока энергии, поэтому в ядрах звёзд устанавливается одинаковое распределение температуры и плотности. К моменту загорания ^{4}He масса ядра $M_c \approx 0{,}4$–$0{,}5\,M_\odot$ в зависимости от содержания тяжёлых элементов. В ядрах из вырожденного газа загорание ^{4}He имеет характер теплового взрыва, так как энергия, выделяющаяся при горении, идёт на увеличение энергии теплового движения электронов, но давление с ростом температуры почти не изменяется до тех пор, пока тепловая энергия электронов не сравняется с энергией вырожденного газа электронов. Тогда вырождение снимается, и ядро быстро расширяется — происходит гелиевая вспышка. Вероятно, гелиевые вспышки сопровождаются потерей звёздного вещества. В шаровых звёздных скоплениях, где массивные звёзды уже давно закончили эволюцию и красные гиганты имеют массы $\approx 1\,M_\odot$, звезды на стадии горения гелия находятся на горизонтальной ветви ГР-диаграммы.

В гелиевых ядрах звёзд с $M > 2{,}5\,M_\odot$ газ не вырожден, ^{4}He загорается спокойно, но ядра также расширяются из-за возрастания T_c. У наиболее массивных звёзд загорание ^{4}He происходит ещё тогда, когда они являются голубыми сверхгигантами. Расширение ядра ведёт к уменьшению ρT в области водородного слоевого источника, и светимость звезды после гелиевой вспышки падает. Для поддержания теплового равновесия оболочка сжимается, и звезда уходит из области красных сверхгигантов. Когда ^{4}He в ядре истощается, снова начинается сжатие ядра и расширение оболочки, звезда опять становится красным сверхгигантом. Образуется слоевой источник горения ^{4}He, который доминирует в энерговыделении. Снова возникает внешняя конвективная зона. По мере выгорания гелия и водорода толщина слоевых источников уменьшается. Тонкий слой горения гелия оказывается термически неустойчивым, так как при очень сильной чувствительности энерговыделения к температуре ($\varepsilon \sim T^{40}$) теплопроводность вещества недостаточна для того, чтобы погасить тепловые возмущения в слое горения. При тепловых вспышках в слое возникает конвекция. Если она проникает в слои, богатые водородом, то в результате медленного процесса нейтронного захвата (s-процесса) синтезируются элементы с атомными массами $A \leqslant 209$ от ^{22}Ne до ^{209}Bi.

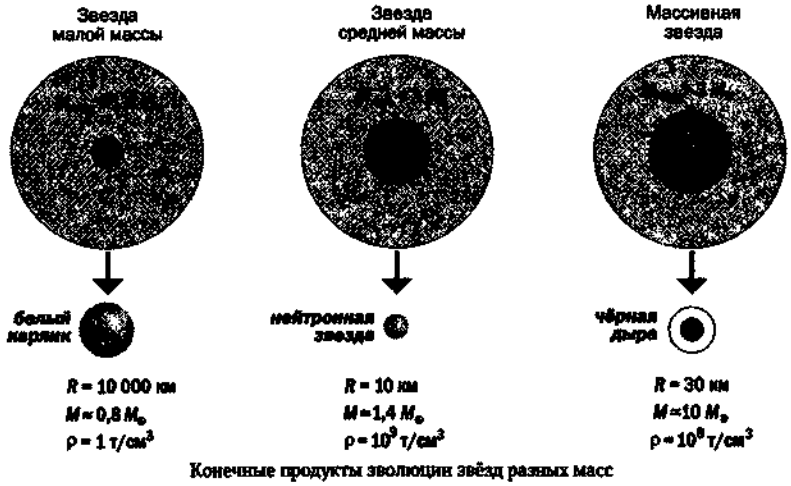


Эволюционный путь звезды массой 1 $M_\odot$ на диаграмме «светимость — температура поверхности». Пунктирные прямые показывают радиус звезды; *1* — сжатие на стадии протозвезды; *2* — расширение на стадии красного гиганта. В точке А в ядре начинаются реакции горения водорода; в точке В горение перемещается в слой над ядром, а само гелиевое ядро начинает сжиматься. Между точками А и В звезда проводит 80% своей жизни

Давление излучения на пыль и молекулы, образующиеся в холодных протяжённых оболочках красных сверхгигантов, приводит к непрерывной потере вещества с темпом до $(10^{-6}$–$10^{-5})$ $M_\odot$ в год (см. *Звёздный ветер*). Непрерывная потеря массы может дополняться потерями, обусловленными неустойчивостью слоевого горения или пульсациями, что может привести к выбросу одной или нескольких оболочек. Когда количество вещества над углеродно-кислородным ядром становится меньшим некоторого предела, оболочка для поддержания температуры в слоях горения вынуждена сжиматься до тех пор, пока сжатие способно поддерживать горение; звезда на ГР-диаграмме смещается почти горизонтально влево. На этом этапе неустойчивость слоёв горения также может приводить к расширению оболочки и потере вещества. Пока звезда достаточно горяча, она наблюдается как ядро планетарной туманности с одной или несколькими оболочками. Когда слоевые источники смещаются к поверхности звезды настолько, что температура в них становится ниже необходимой для ядерного горения, звезда охлаждается, превращаясь в белый карлик с $M < 1{,}4\,M_\odot$, излучающий за счёт расхода тепловой энергии ионного компонента его вещества. Характерное время охлаждения белых карликов $\sim 10^9$ лет. Нижняя граница масс одиночных звёзд, превращающихся в белые карлики, неясна, она оценивается в 3–$6\,M_\odot$. У звёзд с $M < 8\,M_\odot$ электронный газ вырождается на стадии роста углеродно-кислородных (C, O-) ядер звёзд. Как и в гелиевых ядрах звёзд, из-за нейтринных потерь энергии происходит «конвергенция» условий в центре, и к моменту загорания углерода в C, O-ядре $M_c \approx 1{,}4\ M_\odot$, $T_c \approx 3 \cdot 10^8$ K, $\rho_c \approx 2 \cdot 10^9$ г/см^3. Загорание ^{12}C при таких условиях, скорее всего, имеет характер взрыва и приводит к полному разрушению звезды. Полного разрушения может не произойти, если $\rho_c \approx 5 \cdot 10^9$ г/см^3. Такая плотность достижима, когда скорость роста ядра определяется аккрецией вещества спутника в тесной двойной системе.

Конечные стадии эволюции

У звёзд с $M > 8\,M_\odot$ в центральной области могут в принципе последовательно выгореть кислород, неон, магний, сера, кремний и образоваться ядро, состоящее из элементов группы железа — от Sc до Ni. Условия в центре звезды при этом таковы, что загорание каждого оче-



Конечные продукты эволюции звёзд разных масс

редного элемента происходит, когда масса ядра звезды, состоящего из этого элемента, близка к M_{Ch}. Звезда приобретает структуру, подобную «луковице»: железное ядро окружено многочисленными слоями из продуктов ядерного горения на предыдущих стадиях. После образования железного ядра, а в некоторых случаях и раньше, происходит гравитационный коллапс – потеря звездой гидродинамической устойчивости, когда показатель адиабаты γ становится меньше $4/3$, так как при этом обусловленное ростом плотности увеличение давления не способно остановить сжатие. Причинами понижения γ могут быть: захват электронов ядрами ^{20}O и ^{24}Mg в O-Ne-Mg-ядре звёзд с массой $(8–12)M_\odot$, фотодиссоциация (с большой затратой энергии) ядер железа $^{56}Fe \rightleftarrows 13\,^4He + 4n$ у звёзд с $M \approx (12–90)M_\odot$, рождение пар $e^+ + e^-$ в C,O-ядрах звёзд с $M \geqslant 90M_\odot$. В последнем случае в ходе коллапса происходит детонация кислорода, которая приводит к полному разлёту вещества звезды. В результате коллапса достигается плотность $\rho \sim 10^{12}$ г/см^3, при которой энеретически выгодна нейтронизация вещества. Для вырожденного газа нейтронов $\gamma = 5/3$, и его давление может противостоять тяготению, если $M < 2M_\odot$. В этом случае образуется нейтронная звезда. При $M \geqslant 2M_\odot$ коллапс не ограничен, и звезда превращается в чёрную дыру. При остановке коллапса у границы нейтронной звезды возникает ударная волна, которая, распространяясь наружу, вызывает сброс оболочки (см. *Сверхновая*).

Многие процессы, сопровождающие термоядерные взрывы в ядрах и гравитационный коллапс, ещё не до конца ясны и требуют дальнейшего изучения. Это – кинетика ядерных реакций и догорание остатков ядерного топлива, которое в принципе может остановить коллапс, перенос энергии, нейтринные процессы, роль магнитных процессов и вращения, механизмы передачи энергии от ядра к оболочке. Тем не менее можно утверждать, что явления, сопровождающие взрывное горение ^{12}C и гравитационный коллапс массивных звёзд, при которых выделяется энергия $\sim 10^{44}$ Дж в виде излучения и кинетической энергии сброшенной оболочки и $\sim (10^{46}–10^{47})$ Дж в виде нейтрино и антинейтрино, удовлетворительно объясняют наблюдаемые вспышки сверхновых II типа. Продукты взрыва – молодые нейтронные звёзды, излучающие за счёт кинетической энергии вращения, в течение первых $10^5–10^6$ лет своего существования наблюдаются как пульсары. Статистические оценки численности пульсаров указывают на то, что в них превращаются все звёзды с $M \geqslant (6–10)M_\odot$, это грубо согласуется с предсказаниями теории и с наблюдаемым числом сверхновых звёзд.

Причина вспышек сверхновых I типа, которые происходят в звёздных системах, где в настоящее время заканчивают эволюцию старые объекты с $M \approx M_\odot$, всё ещё до конца не ясна. При взрывах сверхновых происходит синтез тяжёлых элементов, которые затем выбрасываются в межзвёздное пространство вместе с элементами, синтезированными в ходе предшествующей эволюции. Это определяет важнейшее космологическое значение сверхновых звёзд.

В ходе эволюции в оболочке звезды могут возникнуть условия, при которых зона частичной двукратной ионизации гелия способна при сжатии звезды поглощать энергию (она идёт на ионизацию), а при расширении – высвобождать её, поддерживая пульсации. Границы области, в которой действует этот механизм, определяют на ГР-диаграмме полосу нестабильности, в которую попадают многие типы пульсирующих звёзд: цефеиды, звёзды типа δ Щита, RR Лиры и др. Аналогичным образом зона неполной ионизации водорода может, вероятно, поддерживать неустойчивость долгопериодических переменных типа Миры Кита.

Современная теория эволюции звёзд способна объяснить общий ход развития звёзд и находится в удовлетворительном качественном и количественном согласии с данными наблюдений. В дальнейшем теория должна точнее учесть влияние вращения и магнитного поля, роль которых может быть особенно важной в процессе формирования звёзд и на быстрых стадиях эволюции, таких, например, как взрывы сверхновых звёзд. Особую проблему представляет эволюция звёзд в тесных двойных системах, где на эволюцию влияет обмен веществом между компонентами.

ЭВПОРИЕ (J XXXIV, Euporie) – естественный спутник Юпитера. Авторы открытия – Скотт Шеппард и др. (2001). Большая полуось орбиты 19 088 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 538,780 сут. Эксцентриситет орбиты 0,096. Наклонение орбиты к эклиптике 145°. Диаметр около 2 км. Альбедо около 4%. Блеск $23{,}1^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $1°54'20''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 K.

ЭВРИДОМЕ (J XXXII, Eurydome) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 23 231 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 723 сут. Эксцентриситет орбиты 0,38. Наклонение орбиты к эклиптике 150°. Диаметр около 3 км. Альбедо около 4%. Блеск $m_R = 22{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $2°54'49''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 K.

ЭГЕРИЯ (13 Egeria) – астероид Главного пояса. Открыт А. Гаспарисом в 1850 г. Большая полуось орбиты 2,576 а. е.; эксцентриситет 0,085. Период обращения 4,13 года. Размер 217×196 км. Блеск меняется от $9{,}7^m$ до $12{,}5^m$.

ЭГИР (S XXXVI, Aegir) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2005 г. Большая полуось орбиты 19 618 тыс. км. Орбитальный период 1025,9 сут. Эксцентриситет орбиты 0,237. Наклонение орбиты к эклиптике 167°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск $24{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $1°07'50''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ЭДДИНГТОН, Артур Стенли (Eddington, Arthur Stanley) (28.12.1882, Кендал, Англия, – 22.11.1944, Кембридж) – английский астрофизик. Родился в семье квакеров. Его отец, директор местной школы, умер, когда Артуру было два года. В 1904 г. он окончил Тринити-колледж в Кембриджском университете по специальности «математика», немного поработал в Кавендишской лаборатории и в 1906 г. был назначен старшим ассистентом в Гринвичскую обсерваторию. Среди его практических работ – определение долгот на Мальте и наблюдение солнечного затмения в Бразилии. Теоретические работы о движении звёзд и звёздных потоках вскоре вывели его в число ведущих астрономов.

Будучи членом Тринити-колледжа и обладателем премии Смита, в 1914 г. он был назначен профессором астрономии и возглавил Кембриджскую обсерваторию. Вскоре он доказал фундаментальную роль давления излучения в звёздном равновесии. Теоретически исследуя внутреннее строение звёзд, показал, что Солнце, будучи плотнее воды, тем не менее остаётся газообразным. Затем создал пульсационную теорию цефеид и в 1924 г. сформулировал связь между массой и светимостью звёзд. Одним из первых понял, что источник звёздной энергии имеет внутриатомную природу, и что водород – основное вещество во Вселенной.

Познакомившись с общей теорией относительности Эйнштейна, Эддингтон стал первым и лучшим англоязычным интерпретатором этой теории и первый при наблюдении солнечного затмения доказал, что лучи света отклоняются в гравитационном поле согласно предсказанию Эйнштейна (1919). Он пытался создать



Артур Стенли Эддингтон, 1932 г.

единую физическую теорию на основе квантовой механики, общей теории относительности и наблюдаемого факта расширения Вселенной. На этом пути нашёл удивительные соотношения между мировыми константами, но не успел завершить эту работу.

Эддингтон получил 5 золотых медалей, рыцарство (1930) и орден «За заслуги» (1939). Сэр Артур был мистиком в традициях квакеров, и этот интуитивный подход к истине повлиял на его подход к научным проблемам. Основные труды Эддингтона: «Движение звёзд и строение Вселенной» (1914), «Сообщение о релятивистской теории гравитации» (1918), «Пространство, время и тяготение» (1920; рус. пер. 1923), «Математическая теория относительности» (1923; рус. пер. 1933), «Внутреннее строение звёзд» (1926), «Звёзды и атомы» (1927; рус. пер. 1928), «Природа физического мира» (1928), «Наука и невидимый мир» (1929), «Расширяющаяся Вселенная» (1933), «Новые пути науки» (1935), «Релятивистская теория протонов и электронов» (1936), «Философия физики» (1939) и «Фундаментальная теория» (1946).

ЭДДИНГТОНОВСКИЙ ПРЕДЕЛ СВЕТИМОСТИ (L_{Edd}), или **«критическая светимость»**, — значение светимости космического объекта, при которой давление его излучения на окружающее вещество (плазму) равно его гравитационному притяжению. Впервые это понятие ввёл английский астроном Артур Эддингтон. По наблюдаемой светимости космического объекта можно оценить нижний предел его массы: если бы масса была ниже этого предела, то окружающее вещество не смогло бы долго удерживаться рядом с ним, а было бы отброшено давлением его излучения. Светимость некоторых объектов, например очень массивных звёзд, а также нейтронных звёзд и чёрных дыр, излучающих за счёт аккреции, близка к критической. Поэтому понятие об эддингтоновском пределе светимости позволяет довольно точно оценивать массы таких объектов. А существование гипотетических сверхзвёзд (т. е. звёзд с массой больше $10^4\ M_\odot$, в недрах которых давление излучения намного превышает газовое) вообще возможно лишь при светимости, равной эддингтоновской.

При светимости $L<L_{Edd}$ сила гравитации превышает силу давления излучения, и становится возможной аккреция вещества на компактный источник излучения. При $L>L_{Edd}$ доминирует сила давления света, аккреция невозможна, плазма должна оттекать из окрестностей источника излучения.

Величину критической светимости можно найти следующим образом. Рассмотрим разреженную водородную (поскольку водород — самый обильный элемент во Вселенной), полностью ионизованную плазму в окрестности компактного источника, имеющего светимость L и массу M. На каждый электрон, находящийся на расстоянии R от изотропно излучающего источника, действует сила давления света

$$f_e = \sigma_T q/c = \sigma_T L/4\pi R^2 c,$$

направленная по радиусу от источника. Здесь $q=L/4\pi R^2$ — поток излучения, $\sigma_T = (8\pi/3)r_e^2$ — томсоновское сечение рассеяния, где $r_e = e^2/m_e c^2$ — классический радиус электрона. В то же время на протон действует сила притяжения

$$f_g = GMm_p/R^2,$$

где m_p — масса протона, G — гравитационная постоянная. Силой гравитации, действующей на электрон, можно пренебречь вследствие малости массы электрона ($m_e \approx m_p/1836$), а силой давления света, действующей на протон, пренебрегаем из-за малого сечения рассеяния $\sigma_p = (m_e/m_p)^2 \sigma_T$. Электроны и протоны связаны электростатической силой, поэтому можно считать, что обе противоположно направленные силы f_g и f_e приложены к паре, состоящей из электрона и протона. Обе силы имеют одинаковую зависимость от расстояния и становятся равными при светимости

$$L_{Edd} = 4\pi G M m_p c/\sigma_T = 10^{31}\ (M/M_\odot)\ \text{Вт} = $$
$$= 10^{38}\ (M/M_\odot)\ \text{эрг/с}.$$

В случае, когда оптическая толща $\tau \gg 1$, приравнивая градиент давления излучения к силе тяжести, также можно получить приведённое выше значение критической светимости. Заметим, что это классический эддингтоновский предел для изотропного источника излучения, который учитывает только томсоновское рассеяние квантов в водородной плазме. При дополнительном учёте поглощения в спектральных линиях говорят о «модифицированном эддингтоновском пределе», который ниже классического.

По наблюдаемой светимости объекта L можно следующим образом установить нижнюю границу его массы: предполагая, что $L<L_{Edd}$, получим, что $M/M_\odot > L/(10^{31}$ Вт). Этим методом оценивают массы объектов в тех случаях, когда нет прямой информации о массе, например при определении масс квазаров и ядер галактик. Следует отметить, однако, что при отсутствии сферической симметрии возможно превышение светимости аккрецирующих объектов над эддингтоновской. Это имеет место, например, в рентгеновских пульсарах SMC X-1 и LMC X-4.

Приведённую выше «классическую» оценку критической светимости можно уточнить для солнечного химического состава: точный расчёт даёт L_{Edd} (сол. хим.) = $1{,}5 L_{Edd}$ (класс.). В реальных задачах необходимо, кроме томсоновского рассеяния, учитывать вклад фотоионизации, давления излучения в спектральных линиях и т. д. При этом, как уже отмечалось, значение критической светимости снижается. С другой стороны, для высокоэнергичных рентгеновских и гамма-фотонов сечение комптоновского рассеяния, согласно формуле Клейна—Нишины, меньше томсоновского, что ведёт к увеличению критической светимости.

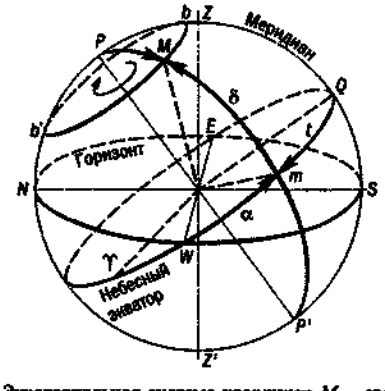
Если светимость объекта в значительной степени определяется процессом аккреции на него постороннего вещества, то эддингтоновский предел светимости ограничивает как светимость объекта, так и интенсивность аккреции. Не исключено, что в некоторых случаях возможна «сверхкритическая» светимость. Например, молодые пульсары, излучающие за счёт потери энергии вращения, могут иметь светимость, превышающую эддингтоновский предел.

ЭЙКИН (ЭЙТКЕН), Роберт Грант (Aitken, Robert Grant) (31.12.1864, Джексон, Калифорния, США, — 29.10.1951, Беркли, Калифорния, США) — американский астроном. В 1887 г. окончил Уильямс-колледж, в 1888–1895 гг. преподавал математику и астрономию в Ливерморском колледже, затем в Тихоокеанском университете. В 1895 г. стал работать в Ликской обсерватории, вначале ассистентом, затем астрономом и наконец — директором обсерватории (1930–1935). Помимо основного занятия двойными звёздами, интересовался также кометами, слабыми спутниками планет и визуальной фотометрией слабых звёзд. Эйкин первым предпринял систематический обзор северного неба для поиска двойных звёзд. Используя в основном 91-сантиметровый Ликский рефрактор, он открыл 4400 новых двойных. Продолжив работу Бернхема и дру-

гих самоотверженных наблюдателей, Эйкин детально исследовал двойные звёзды, их общие характеристики, движение и орбиты, опубликовав в 1932 г. два огромных тома «Нового общего каталога двойных звёзд» (ADS). В нём собраны данные о 17 200 визуальных парах звёзд севернее склонения −30°. Книга Эйткена «Двойные звёзды» (1918, 1935) стала канонической. Президент Американского астрономического общества (1937–1940).

ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ МОНТИРОВКА — конструкция, позволяющая астрономическому инструменту поворачиваться вокруг двух осей, одна из которых (полярная, или часовая, ось) параллельна оси мира, а другая (ось склонений) перпендикулярна первой.

ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ — система небесных координат, в которой основной плоскостью служит плоскость небесного экватора, а основным направлением — ось мира. В качестве координат на небесной сфере используются: склонение (или полярное расстояние) и прямое восхождение (или часовой угол). Склонение (δ) — это угловое расстояние светила от небесного экватора, положительное к северу, отрицательное к югу. Полярное расстояние (*p*) — угловое расстояние светила от северного полюса мира. $p+\delta=90°$. Часовой угол (*t*) — это двугранный угол между плоскостями небесного меридиана и круга склонения светила; он возрастает вследствие суточного движения светила. Прямое восхождение (α) — это дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия (Т) до круга склонения, проходящего через светило; отсчитывается в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы. Первая экваториальная система координат оперирует углами δ и *t*. Вторая экваториальная система координат оперирует углами δ и α.



Экваториальная система координат. *M* — светило, *m* — его проекция на небесный экватор, Т — точка весеннего равноденствия, *bMb'* — суточная параллель, α — прямое восхождение, *t* — часовой угол, δ — склонение

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МОЩНОСТЬ ШУМА — мера чувствительности детектора. ЭМШ есть мощность принимаемого сигнала, дающая выходное отношение сигнал/шум, равное единице.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШИРИНА — мера интенсивности спектральной линии поглощения (или излучения). Эквивалентная ширина линии равна ширине прямоугольника, имеющего ту же площадь на регистрограмме (т. е. на графике спектра), что и спектральная линия, и построенного под (или над) уровнем окружающего линию континуума.

ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ — характеристика объектива, служащая для его сравнения с объективом некоторой стандартной камеры. Численно оно равно фокусному расстоянию объектива стандартной камеры, имеющей на фотоприёмнике такое же поле зрения, как исследуемый объектив на приёмнике его камеры. Стандартным сейчас считается кадр размером 24×36 мм (узкая фотоплёнка, использовавшаяся в XX в.). Приёмники (ПЗС-матрицы) недорогих электронных цифровых камер имеют значительно меньший размер, поэтому для получения такого же угла поля зрения, как у старых плёночных камер, их объективы делают более короткофокусными. Но чтобы покупатель смог оценить поле зрения такого объектива, вместо физического фокусного расстояния (или вместе с ним) указывается его эквивалентное фокусное расстояние. См. также *Эффективное фокусное расстояние*.

ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ — математическая поверхность, окружающая массивное тело или группу тел, во всех точках которой потенциал гравитационного поля имеет одинаковое значение. Сила притяжения (или равнодействующая этих сил, если тел несколько) всегда направлена перпендикулярно к эквипотенциальной поверхности.

В некоторых случаях, говоря об эквипотенциальной поверхности, имеют в виду не только гравитационное, но и другие потенциальные поля, например поле центробежных сил (включая кориолисовы силы). Такие эквипотенциальные поверхности удобно рассматривать при анализе задачи трёх тел. Следует заметить, что возникающее в этой задаче понятие о критической эквипотенциальной поверхности, известной как полость Роша, часто интерпретируется и применяется неправильно. Такая эквипотенциальная поверхность возникает только при решении ограниченной круговой задачи трёх тел. Она описывает поведение лёгкого тела, движущегося вблизи двух массивных тел, обращающихся друг вокруг друга по круговым орбитам, при отсутствии других сил, таких как лучевое давление или звёздный ветер. Если условия ограниченной задачи трёх тел не выполняются, то эквипотенциальная поверхность математически не возникает.

Поскольку в природе не существует двойных систем с идеально круговыми орбитами, то решение ограниченной задачи трёх тел является всего лишь некоторым приближением к реальности. Некоторые полагают, что термин «полость Роша» означает непроницаемый контейнер, из которого вещество может вытекать только через внешнюю точку Лагранжа. Но это ложное представление. Например, Земля окружена бесконечным количеством эквипотенциальных поверхностей, но воздух свободно проходит между ними: всё зависит от энергии конкретных молекул.

Однако понятие о критической эквипотенциальной поверхности Роша может пригодиться при изучении эволюции тесных двойных систем. Эта поверхность определяет приблизительную границу, внутри которой могут расширяться атмосферы эволюционирующих звёзд, пока они остаются разделёнными объектами. При выходе за эту границу расширяющаяся атмосфера окутывает обе звезды.

ЭКЗОБИОЛОГИЯ — *см. Астробиология.*

ЭКЗОПЛАНЕТА (англ. extrasolar planet или exoplanet), или внесолнечная планета, — планета, принадлежащая иной, не Солнечной, планетной системе Возможно также существование свободных планет, не связанных с конкретной звездой.

Практические поиски экзопланет начались во второй половине XX в. методами оптической астрономии, но в течение нескольких десятилетий не приносили надёжных результатов. Первая система из трёх экзопланет была открыта в 1991 г. вокруг нейтронной звезды-радиопульсара PSR B1257+12. Открытие совершил работающий в США на 305-м телескопе Аресибо польский радиоастроном Алекс Вольщан, заметив периодическое изменение частоты прихода импульсов от пульсара. Поиск планет у многих сотен других пульсаров пока дал весьма скромный результат: ещё у одного пульсара обнаружилась одна планета, Хотя планеты у пульсара PSR B1257+12 по своим массам похожи на Землю, их происхождение представляется «вторичным». Известно, что рождению нейтронной звезды предшествует взрыв сверхновой, вызывающий большую потерю массы (в виде сброшенной оболочки звезды). Поэтому исходная планетная система не смогла бы сохраниться: имея большие орбитальные скорости, планеты улетели бы от лёгкой нейтронной звезды. Но если взорвавшаяся звезда входила в двойную систему с более массивным

(к моменту взрыва) компонентом, то из вещества второй звезды, перетекавшего на пульсар уже после взрыва, возможно, могли бы образоваться планетообразные тела.

«Настоящая» экзопланета была впервые надёжно обнаружена в 1995 г. Это сделали астрономы Женевской обсерватории (Швейцария) Мишель Майор и Дидье Келоз, построившие спектрометр, способный измерять доплеровское смещение линий с точностью до 13 м/с. В 1994 г. они начали регулярные измерения лучевых скоростей 142 солнцеподобных звёзд из близкого окружения Солнца и довольно быстро обнаружили «покачивания» звезды 51 Пегаса (51 Peg) с периодом 4,23 сут, вызванные влиянием на неё планеты, по массе близкой к Юпитеру. В эти годы подобными поисками занимались уже несколько групп астрономов, но первая удача, отчасти случайно, пришла к группе Майора. В дальнейшем эта группа оставалась в числе лидеров по количеству открытых экзопланет, но на первое место вышла американская группа под руководством Джеффри Марси (G. Marcy). Обнаружение первых внесолнечных планетных систем считается одним из крупнейших научных достижений XX в.

К концу XX в. было обнаружено около 20 планетных систем у близких звёзд. Затем рост числа открытий ускорился. К началу 2008 г. в 230 системах было замечено присутствие более чем 270 планет (до 5 планет в системе). А к маю 2012 г. было обнаружено уже более 760 планет (до 6, возможно — 7 планет в системе). Большинство из них открыто доплеровским методом — по периодическому изменению лучевой скорости звезды, но уже значительная часть обнаружена методом покрытий (см. ниже). Пока так обнаруживаются лишь сравнительно массивные и близкие к звезде планеты-гиганты, но год от года снижается нижняя граница массы и возрастает предельное расстояние. К 2012 г. массы замеченных доплеровским методом экзопланет лежат в интервале от 1 массы Земли до 25 масс Юпитера, а большие полуоси орбит — от 0,006 до 30 а. е.; эксцентриситеты орбит, как правило, довольно большие. Отметим, что из физических соображений граница между планетами и коричневыми карликами проходит по значению около 13 масс Юпитера, но в каталог экзопланет вносят объекты «с запасом» массы, поскольку старые коричневые карлики незначительно отличаются от планет-гигантов.

Несколько экзопланет открыто недоплеровскими методами: 1) путём прямой регистрации изображения крупной планеты (возможно, некоторые из них — коричневые карлики) на угловом расстоянии 0,7–6″ от звезды. В линейной мере это соответствует десяткам и сотням астрономических единиц; 2) по эффекту гравитационного микролинзирования, увеличивающего яркость далёкой звезды фона при прохождении перед ней планеты; 3) по эффекту затмения собственной звезды планетой (так называемый метод прохождений, или транзитов). Последний метод доказал свою высокую эффективность после запуска космических обсерваторий, с борта которых ведутся очень точные фотометрические наблюдения за звёздами. Менее точные, но более обширные наблюдения ведутся и с поверхности Земли. Все современные фотометрические инструменты имеют широкое поле зрения. Измеряя одновременно блеск миллионов звёзд, астрономы существенно повышают свой шанс обнаружить прохождение планеты по диску звезды. При этом, как правило, обнаруживаются планеты, часто демонстрирующие затмение звезды, т. е. имеющие короткий орбитальный период, а значит, компактную орбиту.

Доплеровский метод до сих пор является наиболее плодотворным для поиска экзопланет: именно он помог обнаружить присутствие большинства известных сегодня невидимых объектов (экзопланет и некоторых коричневых карликов) вблизи оптических звёзд. Точность регистрации лучевой скорости звезды достигла сейчас 1 м/с, что близко к теоретическому пределу, в основном связанному с нестабильностью звёздных атмосфер. Это не позволяет обнаруживать аналоги Земли вблизи аналогов Солнца, для чего нужна была бы точность порядка нескольких сантиметров в секунду. Однако это уже даёт возможность регистрировать присутствие планет в несколько раз массивнее Земли (так называемые «сверхземли», super-Earth) вблизи звёзд в несколько раз менее массивных, чем Солнце. И такие планеты действительно обнаружены, причём некоторые из них находятся в тех областях своих планетных систем, где по температурным условиям на поверхности планеты возможно наличие жидкой воды (так называемые «зоны жизни»).

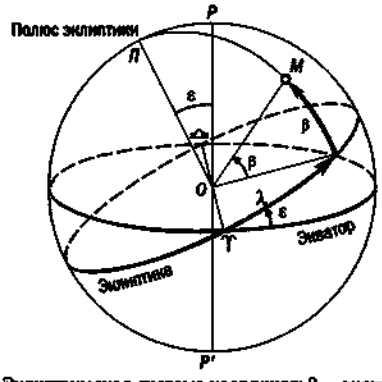
ЭКЗОСФЕРА — внешняя область атмосферы Земли и планет, в которой средняя длина свободного пробега частиц (т. е. атомов) настолько велика, что те из них, которые обладают скоростью, большей скорости убегания (т. е. второй космической скорости), могут покинуть атмосферу. Быстро движущиеся атомы есть и в нижних частях атмосферы, но они не могут продвинуться далеко и быстро теряют скорость в результате частых столкновений с другими, медленными, атомами, которых всегда больше. Но для атомов экзосферы, случайно приобретших большую скорость, достаточно высока вероятность покинуть атмосферу без столкновений с другими атомами.

Концентрацию нейтральных атомов n_0 на нижнем уровне экзосферы h_0 можно найти из условия равенства длины свободного пробега атома $\lambda = 1/n_0\sigma$ высоте однородной атмосферы $H = kT/mg$; $n_0 = mg/kT\sigma$, где m — масса атома, g — ускорение силы тяжести на уровне h_0, T — абсолютная температура на этом уровне, σ — сечение столкновений атомов (газокинетическое). Для экзосферы Земли $h_0 = 550$ км.

На уровне h_0 часть наиболее лёгких атомов (водорода и в меньшем количестве гелия) имеет, согласно распределению Максвелла, тепловую скорость $v_T = (2kT/m)^{1/2}$, сравнимую с параболической $v_\infty = (2GM/r)^{1/2}$ (M — масса планеты, r — расстояние от её центра), что приводит к постоянной потере атмосферой атомов водорода (диссипации атмосферы). Потеря водорода с уровня h_0 и выше в экзосфере компенсируется диффузией водорода из нижних слоёв атмосферы. Уравнение баланса (стационарности) позволяет вычислить распределение атомов водорода ниже уровня диссипации h_0. В нижние слои атмосферы Земли водород поступает в результате диссоциации водяного пара.

Внешнюю часть экзосферы, состоящую из несоударяющихся водородных атомов, иногда называют водородной короной, а для Земли часто используется термин «геокорона». Геокорона и водородные короны других планет исследуют главным образом путём наблюдения интенсивности резонансно рассеянного солнечного излучения в линии Lα (λ = 1215,7 Å). Такие наблюдения позволяют определить температуру и распределение по высоте диссипирующих атомов. Геокорона населена атомами водорода с тремя типами траекторий: параболическими, эллиптическими и гиперболическими. Часть атомов с гиперболическими траекториями навсегда теряются атмосферой. Для земной экзосферы поток диссипирующих атомов составляет 10^8 атомов/(см^2·с), или ~1 кг/с для всей Земли. Ионизация атомов водорода не сказывается заметно на диссипации атмосферы, так как среднее время, необходимое для ионизации атома водорода на орбите Земли, равно $2{,}5 \cdot 10^6$ с, а время убегания примерно в 100 раз меньше. После ионизации атомов образовавшиеся ионы начинают взаимодействовать с магнитным полем Земли, которое и определяет их дальнейшее движение в магнитосфере. С космических аппаратов экзосфера Земли прослеживается вплоть до 100 тыс. км. Экзосферы наблюдаются также у Венеры и Марса. По-видимому, у Луны и Меркурия экзосферы начинаются непосредственно у поверхности этих тел.

ЭКЛИПТИКА — линия пересечения плоскости орбиты Земли с небесной сферой. Геометрически это большой круг на небесной сфере, лежащий в плоскости земной орбиты. Визуально это видимый путь



Эклиптическая система координат: β — эклиптическая широта, λ — эклиптическая долгота

Солнца на фоне звёзд в течение тропического года. Плоскость эклиптики — это плоскость орбиты Земли в её движении вокруг Солнца. Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора на угол около 23,4°. Вдоль эклиптики расположены созвездия зодиака. Плоскость эклиптики служит основной плоскостью эклиптической системы координат (см. *Долгота эклиптическая*, *Широта эклиптическая*).

ЭКЛИПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ — сферическая система небесных координат, для которой основной плоскостью служит плоскость эклиптики. В качестве координат на небесной сфере используются: эклиптическая широта (β) и эклиптическая долгота (λ). Начальный меридиан проходит через точку весеннего равноденствия. Эклиптическая долгота отсчитывается от 0° до 360° в направлении, противоположном суточному движению светил. Эклиптическая широта отсчитывается от 0° до ±90° соответственно к северу и югу от эклиптики.

ЭКРАНИРОВАНИЕ — защита детектора от нежелательных внешних сигналов (от фона). Пассивные экраны, расположенные вокруг детектора, отражают или поглощают посторонние сигналы. В отличие от пассивных экранов, системы активного экранирования не задерживают нежелательные сигналы, а идентифицируют их как шумовые в выходном сигнале детектора и исключают. Например, сцинтилляционный детектор можно сделать координатно-чувствительным, окружив его рядом аналогичных вспомогательных сцинтилляционных детекторов, перекрывающим все направления в пространстве, кроме одного — главного, и исключая из зарегистрированных основным детектором сигналов все те, которые одновременно были зарегистрированы любым из вспомогательных детекторов.

ЭКСПОЗИЦИЯ — интервал времени, в течение которого изображение попадает на детектор, в частности на фотографическую эмульсию или ПЗС-матрицу. При получении изображений астрономических объектов продолжительность экспозиции может составлять от долей секунды до многих часов.

ЭКСПОЗИЦИЯ С ЗАСЛОНКОЙ — метод фотографирования на небольших телескопах, создающий минимум вибраций. Экспозиция с заслонкой используется в случаях, когда длительность экспозиции составляет от секунды до нескольких минут. Для этого метода необходимо, чтобы камера имела режим постоянно открытого затвора. Сначала выполняются наведение телескопа на нужный объект и фокусировка камеры. Затем путь лучей в объектив (трубу) телескопа перекрывают непрозрачным экраном, удерживая его рукой. Экран должен располагаться близко к объективу, но не должен его касаться. Затвор камеры открывают и оставляют открытым. Через несколько секунд, когда вибрация телескопа затухнет, экран быстро отводят в сторону, а по истечении требуемого для экспозиции времени так же быстро возвращают назад. После этого (не убирая экран!) закрывают затвор камеры.

ЭКСТИНКЦИЯ (лат. *exstinctio* — гашение) — полное ослабление света при его прохождении сквозь вещество (например, сквозь земную атмосферу), вызванное процессами поглощения и рассеяния. Величина атмосферной экстинкции зависит от длины волны (λ), зенитного расстояния объекта (*z*), состояния атмосферы (содержания в ней пыли, влаги, озона и т. п.) и от высоты обсерватории над уровнем моря. Учёт экстинкции состоит в определении разности между наблюдаемым блеском объекта (m_z) и его внеатмосферной величиной (m_0). В простейшем случае он основывается на законе Бугера, указывающем, что интенсивность света (*I*) ослабевает экспоненциально с толщиной (*x*) пройденного вещества: $I = I_0 \exp(-kx)$. Тогда ослабление блеска светил в звёздных величинах составляет:

$$m_z - m_0 = \alpha F(z),$$

где α — коэффициент экстинкции (равный сумме коэффициентов поглощения и рассеяния), $F(z)$ — масса воздуха, проходимого лучом, выраженная в единицах массы воздуха в направлении на зенит (так называемая «воздушная масса»).

Обычно наблюдаемый блеск светила исправляют за экстинкцию в два этапа. Сначала, чтобы получить звёздную величину в зените ($m_{z=0}$), осуществляют «редукцию к зениту»:

$$m_{z=0} = m_z - \alpha[F(z) - 1].$$

Этих величин достаточно, чтобы сравнивать наблюдения, полученные на одной обсерватории в разное время. Но для сравнения наблюдений, полученных на разных обсерваториях, необходима ещё «редукция за пределы атмосферы»:

$$m_0 = m_{z=0} - \alpha.$$

Коэффициенты экстинкции для диапазонов спектра системы UBV

Коэффициент	Мауна Кеа, о-в Гавайи $H = 4200$ м	Серро Тололо, Чили $H = 2200$ м	Мак Дональд, США $H = 2070$ м	Пос. Научный, Крым $H = 600$ м
a_V	0,092	0,13	0,15	0,26
a_B		0,26	0,26	0,35
a_U		0,50	0,55	0,65

В подобных расчётах нередко фигурирует величина *p*, называемая «коэффициентом прозрачности» или «коэффициентом пропускания» земной атмосферы. Её определяют как $\alpha = -2{,}5 \lg p$.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЗВЁЗДЫ НАСЕЛЕНИЯ I ТИПА — наиболее молодые звёзды, имеющие высокую металличность и расположенные в галактическом диске, в частности в спиральных рукавах, вблизи областей недавнего звёздообразования. К этому типу звёзд относятся звёзды типа Т Тельца (T Tau), OB-звёзды вместе со связанными с ними HII областями и звёзды, недавно попавшие на главную последовательность нулевого возраста. Интенсивное ультрафиолетовое излучение экстремальных звёзд населения I типа обеспечивает яркое свечение спиральных рукавов.

ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ ОРБИТЫ — параметр, характеризующий форму орбиты, если её можно представить одним из конических сечений (окружность, эллипс, парабола, гипербола). Обычно эксцентриситет обозначается латинской буквой *e*, иногда ε. Значение эксцентриситета для эллипса выражается через отношение длин большой (*a*) и малой (*b*) полуосей: $e^2 = 1 - b^2/a^2$. Также для эллипса и гиперболы эксцентриситет равен отношению расстояния между фокусами к большей или вещественной оси. У эллипса $0 < e < 1$. У гиперболы $e > 1$. Окружность — это частный случай эллипса ($e = 0$). Парабола ($e = 1$) — это пограничный случай между эллипсом и гиперболой.

Точную форму конических сечений имеют орбиты двух уединённых гравитационно взаимодействующих точечных масс, да и то лишь в рамках ньютоновской физики. В природе хорошим приближением для этого идеального случая считается движение двух достаточно удалённых друг от друга звёзд (или звезды и планеты) при отсутствии рядом с ними иных тел. Но и для орбит тел в Солнечной системе конические сечения служат неплохим первым приближением. Эксцентриситеты орбит больших планет невелики: наибольший эксцентриситет орбиты у Меркурия (0,206); далее следует Марс (0,093). Эксцентриситет орбиты Земли со-

ставляет 0,017. Ближе всех к окружности орбита Венеры (e=0,007). Орбиты карликовых планет (Плутон и др.) и астероидов имеют гораздо более широкий диапазон эксцентриситетов, не превышающих 1. У некоторых комет эксцентриситет орбиты близок к 1, поэтому форма орбиты близка к параболической, незамкнутой. В действительности, вдали от Солнца и больших планет орбиты этих комет эллиптические, но внутри планетной системы их форма становится параболический и даже гиперболической с $e \approx 1$. Это хороший пример того, что в реальных космических системах не всегда возможно характеризовать форму орбиты тела одним значением эксцентриситета.

ЭЛАРА (J VII, Elara) – естественный спутник Юпитера. Автор открытия – Ч. Перрайн (1905). Большая полуось орбиты 11 740 тыс. км. Орбитальный период 259,64 сут. Эксцентриситет орбиты 0,22. Средняя орбитальная скорость 3,27 км/с. Наклонение орбиты к эклиптике 26,6°. Масса $8{,}7 \cdot 10^{17}$ кг. Диаметр 86 км. Средняя плотность около 2,6 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 3 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 52 м/с. Альбедо около 4%. Блеск $16{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 1° 16′ 55″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ЭЛЕКТРОНВОЛЬТ (эВ) – внесистемная единица энергии. Кинетическую энергию в 1 эВ приобретает частица с электрическим зарядом в 1 элементарный заряд (как у электрона или протона), прошедшая через промежуток с разностью потенциалов в 1 вольт. Соотношения: 1 эВ = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Дж = $1{,}602 \cdot 10^{-12}$ эрг. Полная энергия (mc^2) массы в 1 г составляет $8{,}9875 \cdot 10^{13}$ Дж = $5{,}6102 \cdot 10^{32}$ эВ.

Производные единицы: мегаэлектронвольт, 1 МэВ = 10^6 эВ; гигаэлектронвольт, 1 ГэВ = 10^9 эВ. Энергия оптического фотона с длиной волны 550 нм (жёлто-зелёный цвет) составляет 3 эВ. Энергия фотонов видимого света лежит в диапазоне от 1,8 эВ (красная область спектра) до 3,5 эВ (фиолетовая область спектра). Энергия ионизации атома водорода 13,6 эВ, а других атомов – от 3,9 эВ у цезия до 24,6 эВ у гелия.

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (ЭОП) – вакуумное электронное устройство, увеличивающее яркость оптического изображения, а также преобразующее невидимое изображение (инфракрасное, ультрафиолетовое, рентгеновское) в видимое. Обычно ЭОП – это стеклянный цилиндр с плоскими стеклянными окнами на торцах. Внутри цилиндра – вакуум. Входное окно (фотокатод) покрыто слоем вещества, испускающего электроны под действием света, а выходное окно (экран) – слоем фосфоресцирующего материала (люминофора), испускающего свет под действием падающих на него электронов. Между фотокатодом и экраном прикладывается высокое напряжение (несколько киловольт); кроме этого, имеется система электрической или магнитной фокусировки электронов. При освещении фотокатода выбитые электроны ускоряются электрическим полем и фокусируются на экране, вызывая свечение люминофора. Выигрыш в яркости получается за счёт того, что электрон, выбитый на входе одним фотоном, увеличивает свою энергию при пролёте в электрическом поле, и, попадая в люминофор, рождает множество фотонов на выходе. Однокаскадный ЭОП способен дать выигрыш в яркости около 100 раз. Последовательно сочленив три однокаскадных ЭОПа, можно получить формальное усиление яркости в миллион раз, но поскольку возникают шумы и возрастает яркость фона, то реальный выигрыш достигает 20–50 раз. Развитием идеи ЭОПа стала микроканальная пластина, которая более компактна, не нуждается в системе фокусировки электронов, но даёт изображение, разбитое на элементы.

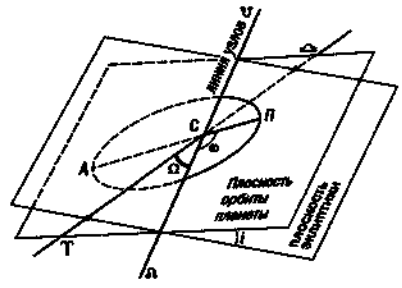
ЭЛЕКТРОНОГРАФИЧЕСКАЯ КАМЕРА – электровакуумный приёмник, в котором используются усилитель яркости изображения и прямая регистрация электронного изображения. Фотоэлектроны, ускоренные и сфокусированные в усилителе яркости, проходят через тонкое слюдяное окошко, к которому прижата фотоэмульсия, регистрирующая электронное изображение. Электронографические камеры дают выигрыш в экспозиции по сравнению с фотоэмульсией примерно в 10 раз. В последнее время вместо электронографических камер практически повсеместно используются ПЗС-приёмники.

ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТЫ – параметры, описывающие форму траектории тела и его положение на ней в системе гравитирующих тел. В системе двух точечных масс в рамках ньютоновой механики элементы орбиты постоянны, а сама траектория «кеплерова» – эллипс, парабола или гипербола. В системе большего числа тел иногда можно говорить об оскулирующих, т. е. медленно меняющихся, элементах орбиты, также представляя её как кеплерову. Это возможно, если одно из тел существенно доминирует по массе (как в Солнечной системе) или распределение массы близко к гладкому и симметричному (как в галактике). Для полного описания эллиптической орбиты тела в Солнечной системе требуется семь параметров:

– большая полуось орбиты (a);

– эксцентриситет орбиты (e);

– наклон плоскости орбиты к плоскости эклиптики (I);



Элементы орбиты. A – афелий, $П$ – перигелий, ☊ – восходящий узел, ☋ – нисходящий узел

– период обращения (P);

– момент прохождения перигелия, или эпоха (T);

– долгота восходящего узла орбиты (Ω) – угол, измеряемый против часовой стрелки (при наблюдении из северного полушария) вдоль эклиптики от точки весеннего равноденствия до восходящего узла орбиты;

– долгота перигелия (ϖ) – сумма аргумента перигелия (ω – угол от восходящего узла орбиты до точки перигелия, измеряемый в плоскости орбиты против часовой стрелки) и долготы восходящего узла. Таким образом, ϖ измеряется от точки весеннего равноденствия до точки перигелия последовательно в двух плоскостях.

Орбиты околоземных тел, спутников планет и двойных звёзд определяются такими же элементами, но опорная плоскость и название точки наибольшего сближения (в Солнечной системе это эклиптика и перигелий) у них другие.

ЭЛЛИПС – замкнутая кривая второго порядка, одно из конических сечений (наряду с гиперболой и параболой). Описывает форму замкнутых орбит двух точечных масс, движущихся под действием взаимного притяжения, обратно пропорционального квадрату расстояния между ними (т. е. по закону всемирного тяготения Ньютона). Так же описывает форму орбиты частицы, движущейся под действием силы, пропорциональной расстоянию от начала координат (т. е. по закону Гука). В декартовой системе координат эллипс описывается уравнением

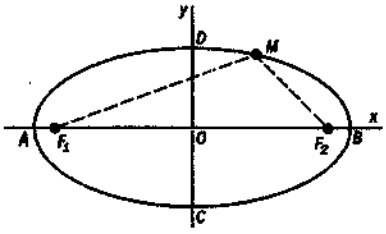
$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1,$$

где a и b – большая и малая полуоси эллипса. В полярных координатах (ρ, φ) с полюсом в центре эллипса и полярной осью вдоль большой оси эллипса его уравнение:

$$\rho = \frac{b}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \phi}},$$

где эксцентриситет ($0 \leqslant e < 1$), выражающий степень «сплюснутости» эллипса, равен

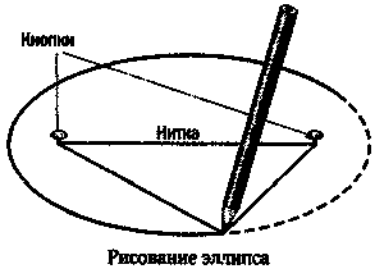
$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}.$$



Эллипс. O – центр, F_1 и F_2 – фокусы, AB – большая ось, CD – малая ось, $OA=OB=a$ – большая полуось, $OC=OD=b$ – малая полуось, $OF_1=OF_2=c$ – фокальное расстояние

Здесь c – расстояние двух особых точек (фокусов, F_1 и F_2) эллипса от его центра.

Фокусы лежат на большой оси и обладают тем свойством, что сумма расстояний любой точки эллипса до его фокусов постоянна и больше расстояния между фокусами. На этом его свойстве основан способ рисования эллипса с помощью двух кнопок, обозначающих фокусы, и кольца из нитки, которое в натянутом состоянии позволяет карандашу сохранять сумму расстояний до фокусов.



Рисование эллипса

Оптическое свойство эллипса: лучи света, испущенные из одного фокуса, отразившись от эллипса, собираются во втором фокусе. Гравитационное свойство эллипса: при движении по закону Гука ($F \sim r$) центр тяготения лежит в центре эллипса, а по закону Ньютона ($F \sim 1/r^2$) центр масс системы лежит в одном из фокусов эллипса или совпадает с одним из тел, если принять его за начало системы координат.

ЭЛЛИПСОИДАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ – тесные двойные системы, в которых звёзды настолько близки друг к другу (но не соприкасаются), что одна или обе под влиянием приливного эффекта вытянуты в эллипсоиды. Так как компоненты системы обращаются вокруг общего центра масс, они поворачиваются к наблюдателю разными сторонами, и поэтому видимый размер излучающей области постоянно меняется, что приводит к изменению видимого блеска системы. Наблюдаемые изменения блеска невелики и обычно составляют менее $0{,}2^m$, так как это предел вытянутости звезды до начала её разрушения. Но если звёзды затмевают друг друга, то изменения блеска становятся более значимыми. Именно такая ситуация наблюдается у двойных звёзд типа β Лиры (β Lyr).

ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ГАЛАКТИКА – галактика, лишённая диска и имеющая форму, близкую к эллипсоиду. К этому типу галактик относятся как самые массивные (до 10^{12} масс Солнца), так и самые маломассивные (10^7–10^8 масс Солнца). Эллиптические галактики содержат очень мало межзвёздного вещества и молодых звёзд, а порой не содержат их вовсе.

ЭЛОНГАЦИЯ (позднелат. *elongatio* удаление) – геоцентрический угол между планетой и Солнцем или между планетой и её спутником.

ЭМИССИОННАЯ ЛИНИЯ, или **линия излучения**, – яркая линия в спектре объекта. Возникает при избыточном излучении фотонов с данной длиной волны ионами, атомами или молекулами по сравнению с их излучением в соседних областях спектра. См. также *Линия поглощения*.

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ – разность между энергией связанного состояния некоторой системы частиц (тел) и энергией такого состояния, когда эти частицы (тела) бесконечно удалены друг от друга и покоятся. Энергия связи равна той работе, которую нужно затратить, чтобы разделить систему на составляющие её частицы. Так как образование связанного состояния сопровождается выделением энергии, то энергия связи – отрицательная величина. Чем больше энергия связи по абсолютной величине, тем прочнее связь.

Так, например, энергия связи атома водорода равна 13,6 эВ, энергия связи нейтрона и протона, образующих ядро дейтерия, равна 2,2 МэВ, а энергия связи протонов и нейтронов в стабильных ядрах составляет в среднем около 10 МэВ на каждый нуклон. Таким образом, связь частиц в ядре, обусловленная действием ядерных сил, намного сильнее взаимодействия электронов с ядрами и между собой. Ещё меньше химическая энергия связи. Так, в молекуле H_2 энергия связи двух атомов водорода равна 4,7 эВ, а в молекуле азота энергия связи двух атомов азота равна 10 эВ.

Используя соотношение $E=mc^2$, можно определить энергию связи и ожидаемое выделение энергии при той или иной ядерной реакции, измерив дефект массы ядер, участвующих в реакции, даже в тех случаях, когда соответствующая реакция не была осуществлена в эксперименте. В частности, можно говорить о гравитационной энергии связи. Например, в нейтронной звезде энергия покоя нейтронов на 0,08% больше, чем соответствующего количества протонов и электронов, или на 0,9% больше, чем для равного числа нуклонов, соединённых в ядре железа, но гравитационное взаимодействие уменьшает энергию на 10–20%, и в результате масса нейтронной звезды составляет 80–90% массы равного числа нуклонов, соединённых в ядре железа.

В принципе гравитационный дефект массы может быть сколь угодно близок к начальной массе данного числа частиц с данным числом нуклонов и данной энтропией. Такое состояние осуществляется внутри чёрной дыры или замкнутого мира. Прямой переход из этого состояния с выделением энергии связи, равной суммарной массе составляющих частиц, реализуется при испарении чёрных дыр, впервые обсуждавшемся в 1975 г. английским физиком С. Хокингом (Stephen William Hawking, p. 1942).

ЭНКЕ, Иоганн Франц (Encke, J. F.) (23.09.1791, Гамбург, Германия, – 26.08.1865, Шпандау, Германия) – немецкий астроном. Учился в Гёттингенском университете у К. Ф. Гаусса. С 1825 г. почти 40 лет Энке работал директором Берлинской обсерватории. Он успешно предсказал возвращение первой короткопериодической кометы Понса, которую с тех пор называют кометой Энке, он исследовал прохождение Венеры по диску Солнца и вычислил на основе этого более точное расстояние от Земли до Солнца.

ЭНЦЕЛАД (S II, Enceladus) – естественный спутник Сатурна. Вильям Гершель открыл его 28 августа 1789 г. с помощью своего 40-футового телескопа. Большая полуось орбиты Энцелада 237,95 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 1,370218 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0047. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,019°. Размеры 513,2×502,8×496,6 км. Масса $1{,}08 \cdot 10^{20}$ кг. Средняя плотность 1,61 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности 11,4 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 239 м/с. Суточное вращение синхронизовано с орбитальным. Геометрическое альбедо 1,38. Альбедо Бонда 0,99. Видимый блеск $11{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 38″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 75 К. Диапазон температуры – от 33 до 145 К.

Поверхность спутника покрыта ледяным панцирем. В северном полушарии поверхность льда сильно кратерирована, её геологический возраст ~100 тыс. лет. Но южное полушарие почти свободно от кратеров. Из четырёх крупных разломов в районе южного полюса бьют гигантские водяные фонтаны (криовулканы). Это указывает на существование подлёдного моря. Выброшенная вода, замерзая, частично падает на поверхность Энцелада, а частично рассеивается вдоль его ор-

биты. Энцелад движется в наиболее плотной части одного из внешних колец Сатурна (кольцо E), образованного именно этим, выброшенным самим Энцеладом, веществом. Источником внутреннего тепла спутника в основном служат приливные деформации.

ЭОН (греч. *аеоп* — век, эпоха): в астрономии — единица времени, равная миллиарду (10^9) лет.

ЭПАКТ — возраст Луны от новолуния в сутках на 1 января любого года. Эпакт был предложен Лилием и введён Клавием, священником при папе Григории XIII, в период подготовки новых таблиц для определения дней Пасхи и других праздников. Каждый год имеет свой эпакт. Вообще, для определения даты Пасхи требуется лунный календарь, но эпакт позволяет определить дату новолуния и далее вычислить дату первого полнолуния после весеннего равноденствия. Следующее после этой даты воскресенье и есть Пасха.

Дата Пасхи постоянно меняется: она может приходиться на любой день с 22 марта по 25 апреля включительно. По правилу Пасха должна быть в первое воскресенье после полнолуния, следующего за весенним равноденствием (21 марта). К тому же, согласно Английскому требнику, «...если полнолуние наступает в воскресенье, то Пасхой будет следующее воскресенье». Эта дата, имеющая большое историческое значение, служила предметом многих споров и дискуссий. Поправки папы Григория XIII приняты многими церквями, но поскольку расчёт даты Пасхи основан на лунных фазах, она не может иметь определённую дату в солнечном календаре.

Эпакт совершеннее золотого числа (см. *Цикл, календарный*): он позволяет определять даты новолуний и полнолуний по возрасту Луны на 1 января, не рассчитывая лунные фазы на весь год. Полная таблица эпактов вычислена на 7000 лет, после этого вся серия повторяется. Эпакты пробегают циклически серию из 19 чисел. Для определения эпакта текущего года нужно к эпакту предыдущего года прибавить 11. Если сумма превышает 30, то нужно вычесть 30. Это не очень точное правило: число 30 приблизительное, поэтому вычисленные по этому правилу даты астрономических явлений могут отличаться от истинных на сутки. До введения григорианского календаря эпакты не использовали. Считается, что цикл эпактов начался в 1 г. до н. э. с эпактом 11. Инструкции для расчёта эпактов кажутся очень сложными, пока не вникнешь в детали.

ЭПИК, Эрнст Юлиус (Öpik, E. J.) (22.10.1893, Кунда, Вирумаанский уезд на северном побережье Эстонии, тогда Эстляндской провинции России, — 10.09.1985, Бангор, Сев. Ирландия) — эстонский астроном. Первоначально увлекался химией, но в период великого противостояния Марса 1909 г. пристрастился к астрономическим наблюдениям и организовал в Таллине астрономический кружок «Вега». В 1912 г. опубликовал первую научную статью, в которой пытался объяснить цвет разных частей Марса в духе популярной тогда среди астрономов гипотезы о существовании на нём растительности. В 1912–1916 гг. получил астрономическое образование в Московском университете и был оставлен ассистентом в университетской обсерватории на Пресне. В 1920–1921 гг. доцент астрономии в Ташкенте. После объявления независимости Эстонии Эпик в декабре 1921 г. уезжает на родину и становится астрономом-наблюдателем Тартуской обсерватории (1921–1944). В 1928 г. на конференции в США познакомился с Х. Шепли и по его приглашению в 1930–1934 гг. работал в Гарвардской обсерватории (США), одновременно читая там лекции студентам. В 1938 г. избран действительным членом Академии наук Эстонии. В 1944 г. эмигрировал в Германию, где некоторое время работал в Гамбургской обсерватории, а с 1948 г. до конца жизни — в обсерватории Арма (Armagh) в Северной Ирландии. С 1956 г. профессор астрофизики Мэрилендского университета (США).

Круг его научных интересов был чрезвычайно широк: метеорная и кометная астрономия, физика планет, звёздная статистика, теория внутреннего строения звёзд, фотометрия звёзд. Он разработал и внедрил оригинальную методику наблюдения полёта метеора с качающимся зеркалом. Выполнил многочисленные определения высот метеоров, их скоростей и радиантов. Разработал теорию приливного разрушения ядер комет, пролетающих вблизи Солнца. В 1932 г. высказал идею о возможности существования облаков кометных и метеорных тел, удерживаемых притяжением Солнца на расстояниях до 4 св. лет в течение нескольких миллиардов лет. Позднее эту идею кометных облаков развил Я. Оорт.

В 1922 г., когда велась дискуссия о шкале расстояний до спиральных туманностей, Эпик, исходя из соображений динамики, определил расстояние до Туманности Андромеды: он использовал данные о вращении этой галактики и получил расстояние 450 кпк, близкое к современному значению, чем подтвердил её внегалактическую природу. В 1950 г. на основе разработанной им теории столкновений тел Солнечной системы и происхождения кратеров показал, что поверхность Марса должна быть покрыта кратерами: фотографии поверхности Марса, переданные космическими аппаратами, полностью подтвердили предсказание Эпика.

Одним из первых он стал использовать трёхцветную фотометрию звёзд при внефокальных экспозициях (первоначальный набросок *UBV*-фотометрии). В 1924 г. опубликовал результаты статистического исследования двойных звёзд и на этом материале рассмотрел общий ход эволюции звёзд в зависимости от их исходной массы. В 1930-е гг. рассчитал ряд моделей внутреннего строения звёзд. В 1937 г. пришёл к выводу, что источником энергии звёзд должны быть термоядерные реакции синтеза гелия из водорода, происходящие при высоких температурах в недрах звёзд. Однако точную цепь термоядерных реакций и скорость их протекания позже рассчитал Г. Бете. Эпик первым указал на механизм образования звёзд-гигантов в процессе сжатия ядра звезды и расширения внешних её частей после выгорания водорода вблизи ядра. Как наблюдатель он разработал метод разделения гигантов и карликов с помощью ультрафиолетового показателя цвета.

Эпик проявил редкий в XX в. талант учёного-энциклопедиста: он конструировал научные приборы; ещё в 1909–1912 гг. высказал ряд основополагающих идей и провёл расчёты в области реактивного полёта и космонавтики, а в зрелые годы участвовал в подготовке астрономических экспериментов на космических аппаратах. Кроме этого, он был талантливым пианистом и даже композитором. Член Национальной АН США. Награждён медалями им. Дж. Лоуренса Смита Национальной АН США (1960), им. Ф. Леонарда Американского метеоритного общества (1968), Золотой медалью Лондонского королевского астрономического общества (1975), медалью им. К. Брюс Тихоокеанского астрономического общества (1976).

ЭПИМЕТЕЙ (S XI, Epimetheus) — естественный спутник Сатурна. Он движется практически по той же орбите, что и спутник Янус, поэтому история его открытия неоднозначна. В 1966 г. новый спутник заметили два астронома: 15 декабря француз Одуен Дольфюс (A. Dollfus) и 18 декабря американец Ричард Уокер (R. Walker). До сих пор не ясно, какой именно из спутников наблюдал каждый из них: Янус или Эпиметей. Принято считать, что Дольфюс открыл Янус, а Уокер — Эпиметей. Что спутников два, было показано лишь в октябре 1978 г. в работе Стива Ларсона (Stephen M. Larson) и Джона Фонтейна (John W. Fountain) и подтверждено снимками «Вояджера-1» в 1980 г. Янус и Эпиметей движутся по почти совпадающим орбитам, радиусы которых различаются примерно на 100 км, т. е. меньше чем на размер самих спутников. Но они не сталкиваются, а просто обмениваются при сближении орбитами за счёт взаимного тяготения: один ускоряется, другой тормозится. Этот обмен происходит раз в 4 года (земных). Поэтому Ларсон и Фонтейн наряду с Уокером считаются авторами открытия.

Большая полуось орбиты 151,41 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,694333517 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0098. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,35°. Размер 129,8×114×106,2 км. Масса $5{,}27 \cdot 10^{17}$ кг. Средняя плотность 0,64 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности около 1 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 32 м/с. Альбедо около 70%. Блеск 15,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 24″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 78 К.

ЭПИЦИКЛ – в геоцентрической системе мира Птолемея небольшая вспомогательная окружность, по которой движется планета, а центр самого эпицикла в это время движется по окружности большего размера – деференту. В простейшем случае видимое движение планеты на небе представляется её равномерным обращением по эпициклу, центр которого равномерно движется по деференту. Эпициклы введены для объяснения попятного движения планет.

ЭПОХА – определённый момент времени, используемый астрономами для указания значений разнообразных переменных величин, что делает возможным их сравнение друг с другом (например, координаты звёзд, ориентация планетных орбит, периоды пульсаров, и т. п.). Эпохой каталога называют дату, к которой приведены (пересчитаны) координаты звёзд, наблюдавшихся в разное время. Обычно эпоха каталога близка к середине того периода, в течение которого проводились наблюдения. Эпохой равноденствия называют дату, для которой было зафиксировано положение точки весеннего равноденствия, служащей «опорой» экваториальной и эклиптической систем координат.

Сейчас в астрономии широко используется стандартная эпоха равноденствия J2000,0. Она приходится на полдень 1 января 2000 г. (1,5 января 2000 = JD 2451545,0). Буква J обозначает юлианскую стандартную эпоху. Следующие одна за другой стандартные юлианские эпохи отличаются обычно на полное юлианское столетие, составляющее 36 525 сут (например, J1900,0 = 2415020,0). Во второй половине XX в. обычно использовалась стандартная эпоха B1950,0 – начало Бесселева 1950 года. B1950,0 = JD 2433282,423 = январь $0{,}923^d$, 1950 г.

ЭРА – либо крупный исторический период, объединенный каким-то общим признаком, либо начальный момент системы летосчисления. Например, христианский мир ведёт отсчёт времени от Рождества Христова, положившего начало новой (христианской или нашей) эре, для исламских сообществ главным событием служит бегство пророка Мухаммеда из Мекки в Медину 15 июня 622 г. Для иудеев – сотворение Господом мира 6 октября 3761 г. до н. э. Однако, согласно православной христианской версии, это событие произошло раньше – в 5508 г. до н. э.; от этой точки вело счёт времени Российское государство до 1700 г. Древние римляне почитали основание своего Вечного города (753 г. до н. э.) и отсчитывали от него все годы в своих хрониках. В конце XVI в. для удобства астрономических и хронологических расчётов была введена юлианская эра с началом в 4713 г. до н. э. (*см. Юлианская дата*).

Некоторые эры имеют важное историческое значение.

Эра Набонассара. Введена одной из первых и названа в честь вавилонского царя Набонассара. Она представляет особый интерес для астрономов, поскольку использовалась для указания дат Гиппархом и александрийским астрономом Птолемеем в его «Альмагесте». Более того, детальные астрономические исследования начались в эту эру, видимо, и в Вавилоне. Началом эры считают 26 февраля 747 г. до н. э. (по юлианскому календарю), первый год правления Набонассара. Птолемей начинает счёт суток со средней Луны на меридиане Александрии, а год у него египетский, содержащий 365 суток; это 12 месяцев по 30 суток и ещё 5 добавочных суток.

Неизвестно, пользовались ли в Вавилоне этой эрой в эпоху её формального начала, но в более поздние времена ею, по-видимому, пользовались. Помня о «египетской» длине года, легко вычислить, что, например, 2000 год по григорианскому календарю был 2749 годом эры Набонассара.

Еврейская эра. Начало еврейской эры – это мифическая дата сотворения мира, 3761 г. до н. э. Гражданский год начинается около дня осеннего равноденствия. Например, 11 сентября 1999 г. по григорианскому календарю был первым днём 5760 г. по еврейскому календарю.

Олимпийская эра. Олимпиады – это 4-летние интервалы между греческими спортивными состязаниями, проводившимися в Олимпии; их использовали в хронологии Древней Греции. Олимпийские игры устраивали в дни первого полнолуния после летнего солнцестояния, в месяце гекатомбеоне, что соответствует современному июлю. Первые Олимпийские игры были проведены 17 июля 776 г. до н. э. В это время использовался лунный календарь с добавочными месяцами цикла Метона. В IV в. христианской эры император Феодосий отменил Олимпийские игры, и в 392 г. олимпиады были заменены на римские индикты. Термин «Олимпийская эра» часто встречается в хронологии.

Римские индикты – это цикл, введённый первым византийским императором Константином; им пользовались для ведения коммерческих дел и сбора податей. Непрерывную последовательность лет делили на 15-летние интервалы – индикты. Цикл начинался 1 января 313 г. н. э. Следовательно, 1 год н. э. был четвёртым годом индикции. Правило определения номера года в текущем индикте такое: прибавить 3 к григорианскому номеру года и разделить это число на 15, остаток и является искомым числом. Так, в системе римских индиктов 2000 год имеет номер 8.

Римская эра. Годы этой эры отсчитывались от момента основания Рима, которым считается 753 г. до н. э. Перед номером года ставили аббревиатуру A.U.C. (*anno urbis conditae* – «в год основания города»). Например, 2000 год григорианского календаря соответствует 2753 году римской эры.

Христианская эра началась 1 января 1 г. н. э. Считают, что христианскую эру ввёл Дионисий Малый в 532 г.; время течёт в ней в согласии с циклом Дионисия (*см. Цикл календарный*). Дионисий принял за начало 1-го года «нашей» (или «новой») эры 25 марта, поэтому день 25 декабря 1 г. н. э. (т. е. 9 месяцев спустя) был назван днём рождения Христа. Папа Григорий XIII перенёс начало года на 1 января. Историки и хронологи давно уже считали днём Рождества 25 декабря 1 г. до н. э. По поводу этой важнейшей даты было много споров, и только современные исследования показали, что, скорее всего, Рождество приходится на 25 декабря 4 г. до н. э. Заметную путаницу в установление подобных дат вносит то обстоятельство, что астрономы часто называют год рождения Христа нулевым годом (0 г. н. э.), которому предшествовал 1 г. до н. э. Но другие астрономы, а также историки и хронологи считают, что нулевого года не было и сразу за 1 г. до н. э. следует 1 г. н. э.

Продолжается также спор о том, считать ли такие годы, как 1800 и 1900, концом столетия или началом следующего столетий. Если принять существование нулевого года, то 1900 г. будет началом столетия, а 2000 г. – ещё и началом нового тысячелетия. Но если нулевой год отсутствовал, что XX век истёк лишь в конце 2000 г. Многие астрономы (но не все) считают вековые годы, заканчивающиеся на «00», началом нового столетия.

Мусульманская эра, или эра хиджры, начинается 16 июля 622 г., т. е. с даты переселения Мухаммеда из Мекки в Медину. Например, 6 апреля 2000 г. по григорианскому календарю начался 1421 г. мусульманского календаря.

ЭРГ – единица измерения энергии в системе СГС: 1 эрг = 10^{-7} Дж.

ЭРГОСФЕРА — область пространства, окружающая керровскую (т. е. вращающуюся) чёрную дыру и расположенная между пределом статичности снаружи и горизонтом событий внутри. Для объекта, находящегося в эргосфере, состояние покоя невозможно.

ЭРИ, Джордж Бидделл (Airy, George Biddell, Sir) (27.07.1801, Олнвик, Англия, — 2.01.1892, Гринвич, Англия) — английский астроном, физик, инженер. Директор Гринвичской обсерватории — Королевский астроном (1835–1881). Разработал (1834) теорию дифракции света в объективах телескопов. Предложил (1836) современную теорию радуги. Обнаружил явление астигматизма человеческого глаза и ввёл в употребление цилиндрическо-сферические линзы для исправления этого дефекта зрения. Изобрёл (1839) компенсатор судового компаса. Усовершенствовал (1847) теорию приливов Лапласа. Определил (1855) плотность и массу Земли с помощью маятника, установленного на поверхности и в глубине шахты. Сыграл большую роль в развитии Гринвичской обсерватории. Преобразовал методику наблюдений, проводившихся в обсерватории, и их обработки. Обновил и расширил инструментальное оборудование (сам сконструировал ряд инструментов), создал отделы Солнца, магнетизма и метеорологии. Руководил подготовкой и научной работой английских экспедиций по наблюдению прохождений Венеры по диску Солнца в 1874 и 1882 гг. Избирался президентом Лондонского королевского общества, четырежды был президентом Лондонского королевского астрономического общества.

ЭРИДАН — экваториальное созвездие. Эту «небесную реку» разные народы отождествляли с Евфратом, Нилом и По. На небе она начинается звездой Курса (β Eri), что лежит чуть западнее Ригеля в Орионе, и «течёт» на запад, а затем на юг и юго-запад к голубому гиганту Ахернар (α Eri), что по-арабски как раз и означает «конец реки». Видимая звёздная величина 0,5 делает Ахернар девятой среди ярчайших звёзд. Удалённая от нас на 10,5 св. года, ε Eri — ближайшая одиночная звезда солнечного типа, но она чуть менее массивна и не так горяча, как Солнце, и возраст у неё всего около 1 млрд лет. Однако в 1960-е гг. именно ε Эридана и τ Кита считались наиболее привлекательными для поиска рядом с ними внеземных цивилизаций. И эти надежды уже начинают оправдываться: недавно астрономы обнаружили, что вокруг ε Eri с периодом около 7 лет обращается планета-гигант массой около 3 масс Юпитера. Вполне вероятно, что со временем в этой системе обнаружат и планеты земного типа. Замечательная тройная система o^2 Eri состоит из оранжевого карлика 4^m, красного карлика 11^m и белого карлика 9^m, единственного из белых карликов, который можно увидеть в маленький телескоп. Среди далёких объектов примечателен самый совершенный образец пересечённой спирали — галактика NGC 1300.

ЭРИНОМЕ (J XXV, Erinome) — естественный спутник Юпитера. Авторы открытия — Скотт Шеппард и др. (2000). Большая полуось орбиты 22 986 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 712 сут. Эксцентриситет орбиты 0,255. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 3 км. Альбедо около 4%. Блеск $22,8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 2°37′41″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 К.

ЭРОС — астероид 433 Eros, один из крупнейших и легко наблюдаемых астероидов из группы тел, сближающихся с Землёй. Немецкий астроном Карл Густав Витт (K. G. Witt, 1866–1946) открыл его 13 августа 1898 г. на народной обсерватории «Урания» (Германия). Независимо от него это открытие сделал и французский астроном А. Шарлуа (August H. P. Charlois). Оказалось, что Эрос в перигелии своей орбиты почти касается орбиты Земли, тогда как все 432 открытых до него астероидов движутся значительно дальше от нашей планеты. Именно эта особенность Эроса стала причиной особого внимания к нему со стороны астрономов: в первые десятилетия XX в. наблюдения за движением Эроса позволили существенно уточнить расстояние Земли от Солнца (астрономическая единица, а. е.), а в конце XX в. Эрос стал первым астероидом, на орбиту вокруг которого вышел межпланетный зонд.

Эрос имеет неправильную, «туфлеобразную» форму; его размеры 40 × 14 × 14 км. При этом его объём составляет около половины суммарного объёма всех астероидов, сближающихся с Землёй, которых открыто уже более тысячи. Эрос вращается вокруг собственной оси с периодом 5 час 16 мин. Его орбита имеет перигелий 1,13 а. е. и афелий 1,78 а. е. Сила тяжести на поверхности Эроса очень мала: космонавт в скафандре весил бы там около 100 г. Человек там может подпрыгнуть на несколько сотен метров, а камень, брошенный со скоростью 10 м/с, навсегда покинет этот астероид. Днём температура на его поверхности составляет около 100 °С, а ночью опускается до −150 °С.

По составу Эрос относится к астероидам типа S, наиболее типичным для внутренней области Главного пояса астероидов, расположенного между Марсом и Юпитером. Классификация астероидов основывается на спектральных свойствах отражённого ими солнечного света. У астероидов типа S довольно высокое альбедо (коэффициент отражения света) и красноватый цвет. Оптические спектры указывают, что поверхность таких астероидов состоит из смеси оливинов и пироксенов (комплексы железа, магния и силикатов) с примесью чистых металлов — никеля и железа.

Сравнивая спектры Эроса и упавших на Землю метеоритов, астрономы выяснили, что по составу Эрос отчасти напоминает железо-каменные метеориты, но ещё больше — хондриты, имеющие самый примитивный состав, не изменившийся за время жизни Солнечной системы (4,6 млрд лет). Это делает Эрос очень привлекательным для детального исследования. Поэтому именно на него пал выбор как на первого кандидата для подробного изучения с близкого расстояния.

Зонд NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous — «Встреча с близким к Земле астероидом») был запущен NASA (США) 17 февраля 1996 г.; 23 декабря 1998 г. он пролетел вблизи астероида Эрос, а 14 февраля 2000 г. вновь сблизился с ним и стал его искусственным спутником. Несколько месяцев аппарат исследовал планету с высоты около 200 км, а в начале декабря 2000 г. перешел на орбиту высотой 35 км, с которой возможно изучать химический состав поверхности при помощи рентгеновских и гамма-спектрометров.

14 марта 2000 г. зонду NEAR было присвоено имя в честь известного геолога и планетолога Юджина Шумейкера (Gene Shoemaker), погибшего в 1997 г. в автомобильной аварии. Он был первооткрывателем нескольких комет и астероидов, изучал крупные метеоритные кратеры в Австралии и других странах и сказал както, что хотел бы постучать геологическим молотком по Эросу.

Зонд NEAR-Shoemaker выполнил детальное фотографирование и изучение химического состава поверхности Эроса. Составлена подробная карта астероида; горы, кратеры и долины на ней названы именами романтических персонажей, почерпнутыми из истории и литературы разных народов: от Дона Кихота до Дона Жуана. В заключение миссии, 12 февраля 2001 г., зонд выполнил незапланированный эксперимент — впервые в истории сел на поверхность астероида, опустившись в область Химеры, в точку с координатами +35° широты и 279° западной долготы. Через час после посадки от аппарата стала поступать информация. Работоспособными оказались два прибора — магнитометр и спектрометр, которые передавали сведения о составе пород и магнитном поле Эроса. 28 февраля 2001 г. состоялся последний сеанс связи.

ЭРРИПО (S XXVIII, Erriapus) — естественный спутник Сатурна. С 2003 по 2007 гг.

в международных документах упоминался как Erriapo. Его открыли 23 сентября 2000 г. канадские астрономы Дж. Кавеларс (J. J. Kavelaars), Б. Глэдман (Brett J. Gladman) и их коллеги. Большая полуось орбиты 17 343 тыс. км. Орбитальный период 871,2 сут. Эксцентриситет орбиты 0,246. Наклонение орбиты к эклиптике 34,7°. Орбитальное движение прямое, в направлении вращения планеты. Размер 10 км. Альбедо около 4%. Цвет красноватый. Видимый блеск 23^m и максимальное угловое расстояние от планеты 1°07′57″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ЭРУПТИВНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ – переменные звёзды, у которых наблюдаются внезапные сильные изменения блеска, обусловленные активностью их хромосферы или короны. Колебания блеска могут сопровождаться усилением звёздного ветра или выбросом оболочки. К эруптивным звёздам относятся звёзды типа RY Dra, FU Ori, γ Cas, иррегулярные переменные, небулярные переменные, звёзды типа Вольфа–Райе, а также переменные звёзды типов R CrB, RS CVn, S Dor, T Tau и UV Cet. Не следует путать эруптивные переменные звёзды с катаклизмическими переменными.

ЭРУПТИВНЫЕ ЦЕНТРЫ – активные вулканические центры на спутнике Юпитера Ио.

ЭТАЛОН ФАБРИ—ПЕРО – оптический прибор для получения спектров с высоким разрешением. Состоит из двух плоских стеклянных пластин, параллельных друг другу и разделённых небольшим воздушным промежутком. Поверхности пластин покрыты полупрозрачным отражающим слоем. Интерференция при многочисленных отражениях между зеркалами эталона даёт множество перекрывающихся сегментов спектров высокого порядка. Для выделения отдельных сегментов применяется кросс-дисперсер (призма с невысокой дисперсией, направление которой перпендикулярно направлению дисперсии эталона). Центральную длину волны, соответствующую максимуму пропускания, и ширину полосы пропускания эталона Фабри–Перо можно варьировать, изменяя расстояние между зеркалами.

Принцип эталона Фабри–Перо используется при создании интерференционных фильтров. В них зеркала и разделяющий их промежуток представляют собой последовательные слои тонкоплёночных покрытий на стеклянной подложке. Разделение зеркал мало: от 100 до 500 нм. Промежуток между ними заполняется оптически прозрачным веществом, например фтористым магнием. В комбинации с полосовым фильтром, подавляющим нежелательное пропускание в соседних участках спектра, подобный прибор может иметь полосу пропускания от долей нанометра до нескольких нанометров. Таковы, например, интерференционные фильтры Hα, имеющие длину волны максимума пропускания 656,28 нм и ширину полосы пропускания около 0,05 нм.

ЭТНЕ (J XXXI, Aitne) – естественный спутник Юпитера (S/2003 J17). Автор открытия – Скотт Шеппард (2001). Большая полуось орбиты 23 231 тыс. км. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Орбитальный период 730,2 сут. Эксцентриситет орбиты 0,264. Наклонение орбиты к эклиптике 165°. Диаметр около 3 км. Альбедо около 4%. Блеск m_R = 22,7^m и максимальное угловое расстояние от планеты 2°49′38″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 124 K.

ЭФЕМЕРИДА (греч. *ephemeris, ephemeridos* – на каждый день) – таблица заранее вычисленных положений Солнца, Луны, планет, спутников или других небесных объектов, рассчитанная для нескольких последовательных моментов времени. Для медленно движущихся небесных тел (Плутона) моменты берутся реже, для быстро движущихся тел (Луны) – чаще.

ЭФЕМЕРИДНАЯ АСТРОНОМИЯ – раздел теоретической астрономии, посвящённый расчёту эфемерид небесных светил на основе законов небесной механики.

ЭФИР – гипотетическая среда, якобы заполняющая всё мировое пространство, обладающая высокой жёсткостью, но при этом не препятствующая движению сквозь неё материальных тел. Существование эфира предполагали физики XIX в., чтобы объяснить распространение электромагнитных волн в пустоте. Чтобы не путать физический эфир с химическим соединением, имеющем то же название, первый нередко называют «светоносным эфиром». В рамках современной теории электромагнитных волн в существовании эфира нет необходимости.

ЭФФЕКТ БЛАЖКО – изменение периода и формы кривой блеска у ряда короткопериодических переменных звёзд типа RR Лиры (RR Lyr) и родственных им пульсирующих переменных. Назван эффект именем его первооткрывателя, московского астронома Сергея Николаевича Блажко (1870–1956). Эффект Блажко наблюдается, например, у звезды XZ Лебедя (XZ Cyg) – переменной типа RR Лиры, основной период пульсаций которой составляет около 0,466 сут, но сам этот период меняется с циклом в 57 сут. Хотя причина возникновения эффекта Блажко не до конца понятна, считают, что это результат двумодальных пульсаций, но в некоторых случаях это может быть проявлением эффекта наклонного ротатора.

ЭФФЕКТ ГАННА—ПЕТЕРСОНА – характерная форма спектра очень далёких космических источников, вызванная поглощением света в межгалактической среде. При наличии в межгалактическом пространстве диффузного нейтрального газа он должен поглощать излучение далёких галактик и квазаров. Наиболее явно это может проявиться в виде асимметрии спектра в области резонансной линии, например, линии водорода Lyα. В спектре квазаров это мощная линия излучения. Межгалактический газ, находящийся между квазаром и наблюдателем, имеет меньшее красное смещение, чем сам квазар (закон Хаббла), поэтому поглощение (точнее, рассеяние) света этим газом в линии Lyα создаст депрессию континуума с голубой стороны от линии излучения квазара. Это и есть эффект Ганна–Петерсона, который в 1965 г. независимо предсказали J. E. Gunn и B. A., Peterson, И. С. Шкловский, P. A. G. Scheuer. Отсутствие асимметрии спектра в области линии Lyα у далёких квазаров (вплоть до z=6) говорит о том, что межгалактический газ в этой области либо практически отсутствует, либо полностью ионизован.

ЭФФЕКТ ГЕТМАНЦЕВА – генерация электромагнитных волн ионосферными токами при воздействии на ионосферу модулированного коротковолнового радиоизлучения, обусловленная изменением этих токов с частотой колебаний, равной частоте модуляции коротковолнового радиоизлучения.

ЭФФЕКТ ДОППЛЕРА – кинематическое смещение спектральных линий. Явление состоит в том, что вследствие относительного движения источника и наблюдателя частота и длина волны излучения, зарегистрированного наблюдателем, изменяются в сравнении с частотой и длиной волны испущенного излучения. Приближение источника к наблюдателю приводит к росту частоты и уменьшению длины волны, а удаление – к обратному результату (см. *Красное смещение*). Эффект теоретически обосновал австрийский физик Христиан Доплер (Ch. Doppler, 1803–1853) в 1842 г.

ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА – явление расщепления спектральных линий в случае, когда излучающие или поглощающие атомы находятся в магнитном поле. Компоненты расщеплённых линий поляризованы, что при наблюдениях позволяет определить направление и напряжённость магнитного поля, вызывающего расщепление. Этот эффект открыл нидерландский

физик Питер Зееман (P. Zeeman, 1865–1943) в 1896 г.

ЭФФЕКТ ЛЕНЗЕ—ТИРРИНГА (Lense–Thirring effect) – явление в рамках общей теории относительности, наблюдаемое вблизи вращающихся массивных тел. Этот эффект проявляется в наличии дополнительных ускорений, сходных с ускорением Кориолиса, то есть, в итоге, сил, действующих на пробные тела, двигающиеся в гравитационном поле вращающегося массивного тела. Можно сказать, что эффект Лензе–Тирринга состоит в «увлечении» пространства-времени вращающимся телом, т. е. в увлечении инерциальных систем отсчёта. В частности, эффект Лензе–Тирринга наблюдается как прецессия плоскости орбиты пробной массы, обращающейся вокруг массивного сферически симметричного вращающегося тела, либо как прецессия оси вращения гироскопа в окрестностях такого тела. Предпринимались попытки измерить указанный эффект в гравитационном поле Земли. Для этого анализировалось движение геодезических спутников LAGEOS и LAGEOS II (LAser GEOdynamics Satellite) с лазерными уголковыми отражателями, позволяющими точно измерять дальности. Кроме того, был поставлен специальный эксперимент на спутнике Gravity Probe B (NASA), имевшем сверхпроводящие гироскопы, оси которых под влиянием эффекта Лензе–Тирринга должны были поворачиваться на 0,039″ в год. В целом указанные эксперименты подтвердили эффект Лензе–Тирринга, но точность пока не очень высокая: зарегистрирован поворот осей на (0,037±0,007)″ в год. Но в этом же эксперименте со значительно более высокой точностью (0,3%) подтверждён другой эффект ОТО – эффект геодезической прецессии.

Эффект Мёссбауэра (ядерный гамма-резонанс) – физический эффект, открытый в 1958 г. Рудольфом Мёссбауэром в Гейдельберге и состоящий в резонансном испускании и поглощении гамма-квантов ядрами атомов без отдачи.

При испускании или поглощении гамма-кванта, в соответствии с законом сохранения импульса, свободное ядро массы M получает импульс отдачи $p=E_0/c$ и соответствующую этому импульсу энергию отдачи $E_M=p^2/(2M)$. На эту же величину оказывается меньше по сравнению с разностью энергий между ядерными уровнями E_0 энергия испущенного гамма-кванта, а резонансное поглощение наблюдается для фотонов с энергией, равной E_0+E_M. В итоге для одинаковых ядер линии испускания и поглощения разнесены на величину $2E_M$ и условие резонанса может быть выполнено только в случае совмещения этих линий либо их частичного перекрытия. В газах энергию отдачи получает одно излучающее ядро массы M, тогда как в твёрдых телах помимо процессов, когда за счёт энергии отдачи возбуждаются фононы, при определённых условиях смещение только одного атома или небольшой группы атомов становится невозможным, и отдачу может испытать лишь весь кристалл целиком. Масса кристалла на много порядков больше массы ядра, а значит, и величина E_M становится пренебрежимо малой. В процессах испускания и поглощения гамма-квантов без отдачи энергии фотонов равны с точностью до естественной ширины спектральной линии.

Эффект Мёссбауэра имеет существенно квантовую природу; он наблюдался при изучении кристаллических, аморфных и порошковых образцов, содержащих один из 87 изотопов 46 элементов. Благодаря этому эффекту ядра радиоактивных изотопов могут использоваться как чрезвычайно точные часы. Одним из впечатляющих применений эффекта Мёссбауэра стал знаменитый опыт Паунда и Ребки, которые в 1960 г. измерили в лабораторных условиях гравитационное смещение частоты гамма-квантов, предсказанное общей теорией относительности.

ЭФФЕКТ ПОЙНТИНГА—РОБЕРТСОНА – торможение тела, движущегося в поле излучения. Причина в том, что в системе координат, связанной с этим телом, у вектора силы светового давления появляется компонент, направленный против вектора скорости тела (*см. Аберрация света*). Этот эффект весьма заметно влияет на движение мелких частиц межпланетной пыли: частицы диаметром 10 мкм с круговой орбиты радиусом 3 а. е. падают на Солнце за время $\sim 10^4$ лет. Крупные частицы менее подвержены этому эффекту, поскольку ускорение светового давления пропорционально площади сечения частицы и обратно пропорционально её массе. В плазменном аккреционном диске эффект Пойнтинга–Робертсона сильнее действует на электроны, чем на протоны, вызывая их относительное движение, т. е. возбуждая круговой ток и связанное с ним магнитное поле.

ЭФФЕКТ ПРАЩИ – явление разлёта звёзд, образующих двойную систему, в результате потери значительной доли массы при взрыве одной из них. Выброшенное при взрыве вещество разлетается за пределы системы и перестаёт гравитационно влиять на движение её компонентов. Сохранившейся в системе массы может не хватить для удержания звёзд на их первоначальных орбитах. Двойная система перестаёт существовать при условии $\Delta M/M > r/2a$, если потеря массы происходит за время, много меньшее периода обращения звёзд системы (здесь ΔM – масса, выбрасываемая при взрыве, M – суммарная масса системы, a – большая полуось орбиты, r – расстояние от центра масс в момент взрыва). Для круговых орбит $r/2a = 1/2$. Скорость движения звёзд после взрыва по отношению к первоначальному центру масс системы составляет значительную долю от скорости их орбитального движения и может достигать нескольких сотен километров в секунду.

Приведённые выше формулы получены в предположении, что выброс вещества не направлен. При существенно асимметричном выбросе даже сравнительно малой массы с большой скоростью возможно разрушение двойной системы. Эффект пращи привлекают для объяснения существования так называемых убегающих звёзд спектральных классов O и B с аномально высокими пространственными скоростями, а также одиночных пульсаров с большими скоростями.

ЭФФЕКТ ПУРКИНЬЕ – психофизиологическое явление, связанное со зрением. Состоит в том, что максимум чувствительности зрения человека смещается в голубую сторону спектра в условиях низкой освещённости. Светочувствительные клетки сетчатки – палочки, обеспечивающие чёрно-белое зрение, – имеют максимум спектральной чувствительности вблизи 510 нм, тогда как кривая спектральной чувствительности колбочек, обеспечивающих восприятие цвета, имеет максимум вблизи 550 нм. Поскольку палочки более чувствительны, чем колбочки, тусклые голубоватые объекты воспринимаются более яркими, чем должны быть в действительности, по сравнению с красноватыми объектами. Этот эффект описал чешский анатом и физиолог Ян Пуркинье (Jan Evangelista Purkyně, 1787–1869; его фамилию часто пишут как Purkinje). Эффект Пуркинье может приводить к систематическим ошибкам при глазомерных оценках блеска звёзд.

ЭФФЕКТ СОКРАЩЕНИЯ МАСШТАБОВ (эффект Фицджеральда—Лоренца) – явление, состоящее в том, что размеры тел, неподвижных в некоторой системе отсчёта, при их измерении движущимся наблюдателем оказываются меньше в направлении его движения.

ЭФФЕКТ УИЛСОНА—БАППУ – корреляция между светимостью звёзд поздних спектральных классов (G, K, и M) и шириной эмиссионной детали в центре широкой линии поглощения Ca II K (λ 393,37 нм) в их спектре. Эмиссионное «ядро» в центре линии K ионизованного кальция связано с излучением хромосферы звезды. Полная ширина этой эмиссионной линии (W_0) на уровне половины её максимальной интенсивности, как обнаружили в 1957 г. американский астроном Олин Уилсон (Olin Chaddock Wilson, 1909–1994) и индийский астроном Вайну Баппу (Mana-

li Kallat Vainu Bappu, 1927–1982), связана с абсолютной звёздной величиной простым соотношением: $M_V = 33{,}2 - 18{,}0 \lg W_0$, где M_V — абсолютная визуальная величина (в фильтре V), а W_0 через формулу Доплера выражено в км/с. Подобный эффект наблюдается и для соседней линии ионизованного кальция Ca II H (λ 396,85 нм) и для линии Mg II k (λ 279,63 нм), хотя последнюю видят только внеатмосферные обсерватории. Эффект Уилсона–Баппу очень полезен для определения спектральных параллаксов звёзд.

ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ — см. *Фарадеевское вращение.*

ЭФФЕКТ ЧЁРНОЙ КАПЛИ (black drop effect) — оптическое явление, наблюдающееся во время прохождения Меркурия или Венеры по диску Солнца. В моменты начала (второй контакт) или перед окончанием (третий контакт) прохождения планеты по Солнцу её тёмный диск на фоне солнечной фотосферы кажется соединённым тонким тёмным мостиком с краем солнечного диска, и поэтому имеет вид капли. Явление наблюдается в течение нескольких секунд до реального касания диска планеты и края солнечного диска. Подобное явление имеет место и при наблюдении иных подобных сочетаний яркого и тёмного в изображениях с высоким контрастом. Причиной эффекта является наличие взаимосвязи между соседними палочками и колбочками в сетчатке глаза.

ЭФФЕКТИВНАЯ АПЕРТУРА — апертура идеального инструмента, подающего тот же общий поток энергии на приёмник излучения, что и реальный телескоп. Эффективные апертуры реальных телескопов всегда меньше их действительных размеров из-за наличия виньетирования, потерь в оптике из-за поглощения, отражения и рассеяния, экранирования вторичными зеркалами и т. п.

У радиотелескопа эффективная апертура задаётся соотношением мощности, поступающей на приёмник, и мощности, приходящей от источника на единицу площади антенны. Эффективная апертура равна размеру апертуры идеального зеркального радиотелескопа, обеспечивающего ту же мощность сигнала на приёмнике. Эффективные апертуры реальных радиотелескопов с параболическими зеркальными антеннами всегда меньше их реальных размеров, поскольку не вся энергия, собранная зеркалом, превращается в полезный сигнал. Эффективная апертура антенны Яги приблизительно равна квадрату рабочей длины волны. Эффективная апертура (A_e) и усиление антенны (g) связаны следующим образом: $A_e = g\lambda^2/4\pi$. (См. *Эффективность апертуры.*)

ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ объектива или антенны — то же, что *Эффективная апертура.*

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕМПЕРАТУРА — температура абсолютно чёрного тела, излучающего с единицы площади поверхности за единицу времени ту же энергию, что и реальный объект. Эффективная температура — наиболее представительная характеристика состояния излучающего объекта, поэтому она широко используется в астрофизике. Другие методы оценки температуры, основанные на форме спектра, относительной интенсивности спектральных линий или степени ионизации атомов и молекул, могут давать значение температуры, отличное от эффективной. Так, кинетическая температура солнечной короны составляет около 10^6 К, в то время как её эффективная температура — около 100 К; разница этих двух оценок возникает из-за чрезвычайно низкой плотности вещества в короне, приводящей к её почти полной прозрачности. Различные оценки температуры равны друг другу в состоянии термодинамического равновесия, которое физически реализуется глубоко в недрах звёзд.

ЭФФЕКТИВНОЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ — значение относительного фокусного расстояния, при вычислении которого вместо фокусного расстояния инструмента используется его эффективное фокусное расстояние.

ЭФФЕКТИВНОЕ ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ — фокусное расстояние простейшего телескопа с тем же диаметром объектива и масштабом изображения, которые имеет реально используемый телескоп. Эффективное фокусное расстояние может отличаться от фокусного расстояния объектива из-за наличия в реальной системе оптических элементов, изменяющих сходимость пучка от объектива: неплоских вторичных зеркал, линзы Барлоу, телеконверторов и т. п. Так, большие современные телескопы системы Ричи–Кретьена имеют относительный фокус главного зеркала 2–3, а при этом относительный фокус всей системы равен 8–12. Эффективное фокусное расстояние, а следовательно, и относительный фокус возрастают вследствие уменьшения сходимости пучка от главного зеркала после отражения от вторичного зеркала. Точно так же линза Барлоу, используемая на небольших телескопах для повышения увеличения с данным окуляром в 2–4 раза, увеличивает в той же мере и эффективное фокусное расстояние.

При использовании окулярной проекции эффективное фокусное расстояние телескопа ($f_{эфф}$) даётся выражением $f_{эфф} = f_0 d/f_{ок}$, где f_0 — фокусное расстояние телескопа, $f_{ок}$ — фокусное расстояние окуляра, d — расстояние от окуляра до плоскости проекции.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АПЕРТУРЫ — величина, показывающая эффективность сбора приходящего радиоизлучения антенной радиотелескопа. Для радиотелескопов с параболической антенной эффективность равна отношению эффективной площади к геометрической площади антенны. Типичная величина эффективности апертуры составляет от 60% до 70%.

Ю

ЮГ (точка юга) — точка пересечения математического горизонта с небесным меридианом, ближайшая к южному полюсу мира. Обозначается буквами Ю или S (нем. Süden, англ. South).

ЮЖНАЯ ГИДРА — южное околополюсное созвездие «водяной змеи», ничем особым не примечательное. Жёлтый карлик β Hyi похож на Солнце и удалён всего на 25 св. лет.

ЮЖНАЯ КОРОНА — южное созвездие, расположенное между южными частями Стрельца и Скорпиона. Впервые под этим именем появилось в «Альмагесте» Птолемея. Это маленькое созвездие целиком лежит в Млечном Пути. Интерес в нём привлекает область, где перемешаны яркие и тёмные туманности: NGC 6726, 6727 и 6729. Любопытна также система γ CrA, состоящая из двух звёзд-близнецов, очень похожих на Солнце, разделённых углом 2″ и обращающихся с периодом в 120 лет.

ЮЖНАЯ РЫБА — небольшое экваториальное созвездие к югу от Водолея и Козерога. Кроме яркой звезды Фомальгаут (что по-арабски значит «рот рыбы»), все остальные звёзды в нём весьма тусклые. Спутник Фомальгаута, экзопланета Фомальгаут b — первая, оптическое изображение которой удалось получить в 2008 г. с помощью космического телескопа «Хаббл». Эта планета-гигант движется вдоль внутреннего края обширного (протопланетного?) пылевого диска, втрое превышающего размером пояс Койпера, окружающий Солнце.

ЮЖНО-АТЛАНТИЧЕСКАЯ МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ, или Бразильская аномалия, — область над Бразилией и южной частью Атлантического океана, где напряжённость геомагнитного поля аномально низка. Магнитный диполь Земли как бы прогибается в этой части к земной поверхности, поэтому внутренний радиационный пояс особенно близко подходит там к поверхности Земли, почти касаясь атмосферы. Это представляет некото-

рую опасность как для космонавтов, так и для электронных приборов, установленных на искусственных спутниках Земли.

ЮЖНЫЙ КРЕСТ – южное созвездие, по занимаемой на небе площади наименьшее из всех. Выделено И. Байером из созвездия Кентавр в 1603 г., хотя первое упоминание об этой полезной для навигаторов фигуре содержится в письме Америго Веспуччи от 1503 г. Крест лежит в южной части Млечного Пути и занимает первое место по количеству видимых невооружённым глазом звёзд на единицу площади созвездия. Фигуру Креста образуют четыре яркие звезды: α, β, γ и δ, причём линия от γ к α указывает на южный полюс мира. Изумительная двойная звезда Акрукс (α Cru) содержит два компонента ($1{,}4^m$ и $1{,}8^m$) на расстоянии 4,4″. К востоку от неё видна тёмная «дыра» на фоне Млечного Пути – это Угольный Мешок, одна из ближайших тёмных туманностей на расстоянии немногим более 500 св. лет. Размер этого газово-пылевого облака 70×60 св. лет, а на небе оно занимает область 7×5°. Рядом с ним находится «Шкатулка с бриллиантами» (NGC 4755) – красивое рассеянное скопление, названное так Джоном Гершелем, поскольку оно содержит много звёзд ярких цветов – голубых и красных сверхгигантов.

ЮЖНЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК – маленькое южное созвездие. Об этой характерной группе звёзд впервые упомянул в 1503 г. Америго Веспуччи, и лишь спустя столетие его описали Питер Кейзер и Фредерик де Хоутман. Оно почти целиком лежит в Млечном Пути, но ничего примечательного не содержит.

ЮЛИАНСКАЯ ДАТА (Julian Date) – дата и время (т. е. номер суток с дробной частью) в системе непрерывного счёта времени, предложенной в 1583 г. Жозефом Скалигером (1540–1609) для целей хронологии. Юлианская дата какого-либо события указывается в целом числе и десятичных долях юлианских дней (Julian Day, JD). Счёт юлианских дней ведётся от гринвичского полудня 1 января 4713 г. до н. э. по юлианскому календарю (что соответствует −4712 г. по астрономическому счёту лет, содержащему нулевой год). Каждый день при этом счёте имеет свой порядковый номер. Юлианские сутки начинаются в средний гринвичский полдень. Например, юлианская дата 2456172,5 JD соответствует полуночи с 1 на 2 сентября 2012 г. Моменты астрономических наблюдений обычно выражают в юлианских сутках и их долях. Например, 3 часа ночи в Гринвиче 18 октября 2001 г. соответствует юлианской дате 2452200,625 JD.

Дата начала отсчёта юлианских дней знаменует начало юлианского периода длительностью в 7980 лет = 28×19×15 лет, представляющего собой наименьшее кратное трёх циклов: солнечного в 28 лет, приводящего дни недели на те же числа месяца, лунного цикла Метона в 19 лет, приводящего фазы Луны на прежние числа месяца, и периода в 15 лет – так называемого индикта, исходно регулировавшего сбор подати в римской империи, а в 312 г. по указанию византийского императора Константина Великого заменившего собой олимпиады в качестве цикла исчисления времени. Год 4713 до н. э. был первым годом одновременно во всех трёх циклах. Конец первого юлианского периода придётся на 23 января 3268 г. по григорианскому календарю. Таблицы юлианских дат приводятся в астрономических ежегодниках, по ним для любой даты, используемой в астрономических расчётах, можно найти её юлианский номер.

В 1960-е гг. у астрономов получил распространение счёт времени в модифицированных юлианских днях (MJD). В нём начало отсчёта сдвинуто на середину XIX в., а начало суток перенесено на гринвичскую полночь, что более удобно в практических расчётах. Модифицированные юлианские дни связаны с юлианскими днями формулой MJD = JD − 2400000,5. См. также: *Гелиоцентрическая юлианская дата, Юлианский период.*

ЮЛИАНСКИЙ ПЕРИОД – универсальный период, используемый в астрономии и хронологии; введён французским историком Жозефом Скалигером в 1583 г. «Юлианским» Скалигер назвал его в честь своего отца, известного учёного Юлия Цезаря Скалигера.

Юлианский период содержит 7980 лет, полученных как произведение солнечного цикла (28 лет, по прошествии которых даты юлианского календаря приходятся на те же дни недели), цикла Метона (19 лет, по прошествии которых все фазы Луны приходятся на те же дни года) и цикла римских индиктов (15 лет). Началом юлианского периода Скалигер выбрал 1 января 4713 г. до н. э. по продолженному в прошлое юлианскому календарю, поскольку все три перечисленных выше цикла сходятся в этой дате (точнее, 0,5 января, поскольку за начало юлианских суток принят средний гринвичский полдень; поэтому к полуночи, с которой начинается 1 января, уже проходит 0,5 юлианских суток). Текущий юлианский период завершится в конце 3267 г. н. э. (23 января 3268 г. по григорианскому календарю).

Для того чтобы определить номер года в юлианском периоде, нужно прибавить к нему число 4713 – сумма и будет искомым номером. Например, 1998 г. имел номер 6711 в юлианском периоде. Каждый день этого периода имеет свой юлианский номер (JD = Julian Day), равный количеству суток, прошедших с начала периода до полудня этого дня (см. *Юлианская дата*). Так, 1 января 1993 г. имеет номер JD 2448989, т. е. к гринвичскому полдню этой даты от начала периода прошло именно столько полных суток. Дата 1 января 2000 г. имеет номер JD 2451545. В астрономических календарях приведены числа юлианского периода на каждый день года.

ЮНГ, Чарлз Огастес (Young, Charles Augustus) (15.12.1834, Хановер, шт. Нью-Гэмпшир, США, – 3.01.1908, Хановер) – американский астроном. Преподавал в различных колледжах, в 1877–1905 гг. профессор астрономии Принстонского университета. В основном занимался спектральными исследованиями Солнца, участвовал в экспедициях на затмения. Первым применил в астрономии дифракционную решётку, измерив с её помощью скорость вращения Солнца. Изучал также планеты, кометы, двойные и новые звёзды. Автор книг «Солнце» (1881), «Руководство по астрономии» (1901) и других учебных, научных и популярных трудов.

ЮНОНА – астероид 3 Juno, открытый 1 сентября 1804 г. немецким астрономом Карлом Л. Гардингом (Karl Ludwig Harding, 1765–1834). Это астероид S-типа, т. е. каменный, один из двух крупнейших каменных астероидов Главного пояса (второй – 15 Эвномия). Размеры Юноны 320×267×200 км, масса $2{,}67 \cdot 10^{19}$ кг, средняя плотность 3,0 г/см^3. По оптическим свойствам состав поверхности сходен с метеоритами типа хондритов. Геометрическое альбедо 0,24. Период вращения 0,30 сут. Большая полуось орбиты 2,672 а. е.; эксцентриситет 0,256; наклонение около 13°. В начале XIX в. в числе первых открытых астероидов (1 – Церера, 2 – Паллада, 3 – Юнона, 4 – Веста) этот астероид считался полноценной планетой. В 1811 г. Иоганн Шрётер (Johann Hieronymus Schröter, 1745–1816) оценивал диаметр Юноны в 2290 км. Позже объекты этого типа называли малыми планетами. За исключением карликовой планеты Цереры все их теперь называют астероидами. Из-за своей несферической формы Юнона не попала в число планет-карликов.

ЮПИТЕР – крупнейшая планета Солнечной системы, пятая от Солнца, удалённая от него на 779 млн км = 5,20 а. е. Масса $1{,}899 \cdot 10^{27}$ кг (318 масс Земли). Экваториальный радиус 71492 км (11,2 радиуса Земли). Средняя плотность 1,33 г/см^3. Окружён очень разреженными пылевыми кольцами и системой из 63 спутников (данные 2011 г.). Четыре из них (галилеевы спутники – Ио, Европа, Ганимед и Каллисто) очень массивны и по сути являются небольшими планетами. Атмосфера Юпитера в основном состоит из водорода (89% объёма) и гелия (11%). Недра состоят предположительно из жидкого во-

дорода, частично в металлическом состоянии. Глубоко в недрах возможно наличие твёрдого ядра. Температура верхнего облачного слоя −140 °С. Период вращения вокруг оси 9,9 ч.

ЮСТИРОВКА — приведение в правильное взаимное положение оптических деталей прибора. Юстировка телескопа состоит в установке всех линз и зеркал на расчётных взаимных расстояниях, центрировании и совмещении их оптических осей. Обычно инструмент считается отъюстированным, если при рассматривании через окулярную трубку с вынутым окуляром все зеркала, линзы и их изображения видны концентрично друг другу.

Я

ЯДЕРНАЯ АСТРОФИЗИКА — раздел астрофизики, изучающий роль процессов микромира в космических явлениях. Предметом ядерной астрофизики являются ядерные процессы в звёздах и других космических объектах, приводящие к выделению энергии и образованию химических элементов (изменению состава объектов). Эти процессы включают ядерные реакции и радиоактивный распад неустойчивых ядер. Ядерные процессы, происходившие на ранней, дозвёздной стадии эволюции Вселенной, рассматриваются в теории космологического нуклеосинтеза и не входят в круг исследований ядерной астрофизики.

Предметом изучения ядерной астрофизики являются также процессы испускания и поглощения нейтрино, происходящие при взрывах сверхновых звёзд и при гравитационном коллапсе звёзд (при образовании нейтронных звёзд и чёрных дыр). К ядерной астрофизике относятся нейтринная астрофизика и астрофизика космических лучей.

Ядерная астрофизика показала тесную взаимосвязь физики микро- и макромира. Проверенные в лабораторных опытах представления о ядерных процессах, структуре ядра, элементарных частицах и их взаимодействиях составляют надёжный базис ядерной астрофизики. На этой основе она строит свои исследования космических явлений, а с другой стороны, использует природную космическую лабораторию (частицы высоких энергий, потоки нейтрино и т. д.) для получения новых экспериментальных данных и проверки различных теорий в области ядерной физики и физики элементарных частиц.

Реакции между заряженными частицами требуют преодоления энергетического (кулоновского) барьера. Источником необходимой для этого энергии служат либо тепловое движение частиц (такие реакции называют термоядерными), либо процессы газодинамического и электромагнитного ускорения частиц в неравновесной плазме (холодные плазменные процессы). В условиях, когда вещество обладает высокой плотностью при относительно низкой температуре, возможны так называемые пикноядерные реакции, скорость которых нечувствительна к температуре, но сильно зависит от плотности.

Реакции под действием нейтронов не имеют энергетического барьера, но сами нейтроны являются продуктом других ядерных процессов, что в ряде случаев ограничивает реакции с их участием. Скорость реакций с участием нейтрино, к которым относятся бета-процессы, существенно растёт с энергией, обеспечиваемой либо энергией теплового движения, либо (в случае вырожденного вещества) энергией движения вырожденных электронов.

Применение достижений ядерной физики к изучению космических явлений позволило построить качественно согласующиеся с наблюдениями теории образования, строения и эволюции звёзд, взрыва сверхновых звёзд и образования пульсаров, образования химических элементов. В таких теориях существенную роль играют следующие процессы:

1) H-процесс — превращение водорода в гелий по реакциям водородного цикла и углеродного цикла; он служит источником энергии для звёзд главной последовательности;

2) α-процесс — совокупность гелиевых реакций ($3\,^4\mathrm{He} \to {}^{12}\mathrm{C}$ с выделением энергии) и следующих за ними реакций ядер углерода и кислорода в недрах звёзд-гигантов;

3) *e*-процесс — образование железа и близких к нему элементов в ядрах далеко прозволюционировавших звёзд в условиях, близких к термодинамическому равновесию, при температурах $\approx 3 \cdot 10^9$ К (непосредственно перед вспышкой сверхновой звезды);

4) *s*-процесс — медленный процесс нейтронного захвата в «выгоревших» ядрах звёзд-гигантов, т. е. в ядрах, лишённых ядерного горючего;

5) *r*-процесс — быстрый процесс нейтронного захвата при вспышках сверхновых;

6) *p*-процесс — образование обойдённых ядер при реакциях с участием протонов. (Обойдёнными называют устойчивые ядра тяжёлых элементов, которые не могут образоваться из более лёгких ядер в процессе последовательного захвата ими нейтронов.)

7) *X*-процесс — образование Li, Be и B в неравновесной плазме посредством реакций скалывания (когда лёгкая частица высокой энергии сталкивается с тяжёлым ядром и выбивает лёгкий осколок);

8) нейтронизация ядер — превращение совокупности ядер и высокоэнергичных электронов в нейтронную жидкость с небольшой примесью протонов и электронов;

9) испускание нейтрино и антинейтрино при гравитационном коллапсе;

10) нейтринная игнитация — поджигание термоядерных реакций нейтринным излучением в вырожденном веществе звёзд при коллапсе их углеродно-кислородных ядер;

11) образование обойдённых ядер элементов при взаимодействии нейтринного излучения с веществом оболочки коллапсирующей звезды.

Совокупность перечисленных процессов позволяет объяснить прежде всего светимость звёзд. Кроме того, объясняются основные черты наблюдаемой распространённости элементов. Прямое подтверждение представлений ядерной астрофизики даёт нейтринная астрономия.

Важная проблема ядерной астрофизики — выявление путей образования тяжёлых ядер и источников нейтронов, необходимых для синтеза ядер в процессах нейтронного захвата. Нейтроны должны образовываться в сверхплотном веществе звёздных недр в процессе гравитационного коллапса за счёт высокой энергии вырожденного газа электронов, а также за счёт энергии других частиц при очень высокой температуре. При этом в условиях избыточности нейтронов реализуется полное равновесие процессов синтеза и распада для относительно лёгких ядер (с массовым числом $A \leq 70$) и кинетическое равновесие между β-распадами и реакциями отщепления протонов (для более тяжёлых ядер). Быстрый нейтронный захват носит в этих условиях характер так называемого *rbc*-процесса (*r*-процесса с обратной связью), позволяющего объяснить образование элементов с $A \leq 130$. Синтез ядер, идущий от лёгких к более тяжёлым ядрам, протекает так, что эффекты расщепления ядер и β-процессы (включаемые в *rbc*-процесс) способствуют образованию значительного количества ядер некоторых лёгких элементов (отвечающих пикам кривой распространённости элементов в интервале $70 < A < 130$). Согласие выводов теории с характером экспериментальной кривой распространённости элементов оказалось вполне удовлетворительным.

Особые проблемы ядерной астрофизики связаны с происхождением элементов Солнечной системы. Среднее содержание лития в земной коре примерно в 30 раз выше, чем в атмосфере Солнца, и близко к его содержанию в молодых звёздах типа T Тельца. В каменных метеоритах Li примерно столько же, сколько и в земной коре. Отсюда следует, что повышенное содержание Li в земной коре и метеоритах отражает характер вещества, из которого они образовались. В метеоритах обнаружены и другие ано-

малии изотопного состава, которые показывают, что непосредственно перед образованием метеоритов в исходном веществе происходили ядерные реакции (см. *Ядерная космохронология*). Таким образом, данные ядерной астрофизики указывают, что возникновение планетной системы происходило в эпоху, когда Солнце было молодой звездой, подобной звездам типа Т Тельца, и что Солнце и планеты образовались из одного и того же вещества, обогащенного тяжёлыми элементами, по-видимому, продуктами взрыва какой-то другой звезды.

К очень важным проблемам ядерной астрофизики относится проблема распада протона. Из современной теории элементарных частиц следует, что протон нестабилен и время его жизни составляет $\sim 10^{36}$ лет. Эксперименты указывают нижний предел времени жизни протона около $2 \cdot 10^{29}$ лет, а по некоторым каналам распада – до 10^{34} лет. Таким образом, в весьма отдалённом будущем все звёзды, возможно, превратятся в нейтрино и фотоны.

ЯДЕРНАЯ КОСМОХРОНОЛОГИЯ – восстановление хронологической картины процесса образования изотопов химических элементов (нуклеосинтеза) в нашей Галактике по изучению относительного содержания долгоживущих радиоактивных изотопов и продуктов их распада в веществе Земли, Луны и метеоритов. Отправной точкой на шкале времени служит при этом момент кристаллизации земных (лунных) пород и вещества метеоритов, который весьма надёжно определяется с помощью уран-свинцового, рубидий-стронциевого и калий-аргонового методов ядерной геохронологии. Эти методы основаны на том, что скорость распада радиоактивных ядер постоянна во времени, и по количеству продуктов распада можно определить длительность периода их накопления в исследуемых минералах.

В уран-свинцовом методе определяется количество радиогенных изотопов свинца ^{206}Pb и ^{207}Pb – конечных продуктов в цепочке быстрых ядерных превращений, сопровождающих α-распад ^{238}U и ^{235}U. В рубидий-стронциевом методе используется β-распад долгоживущего изотопа ^{87}Rb (период полураспада $T_{1/2} = 4{,}8 \cdot 10^{10}$ лет), приводящий к образованию стабильного изотопа ^{87}Sr, а калий-аргоновый основан на изучении накопления ^{40}Ar в калийсодержащих минералах, где он образуется при захвате орбитальных электронов ядрами ^{40}K.

Возраст Земли составляет (4,54 ± 0,05) млрд лет. Это значение базируется на определении возраста самых старых из исследованных образцов земных пород (4,404 млрд лет, кристаллы циркона из формации Джек-Хилл в Западной Австралии) и лунных пород (4,5 млрд лет). При этом он оказывается близким к возрасту наиболее старых метеоритов (4,567 млрд лет), который и принимается в качестве возраста всех твёрдых тел Солнечной системы.

Основные выводы ядерной космохронологии относительно темпов образования в Галактике изотопов химических элементов в период, предшествовавший образованию твёрдого материала Солнечной системы, могут быть сформулированы следующим образом. Процесс образования изотопов тяжёлых химических элементов в r-процессе захвата нейтронов (см. *Ядерная астрофизика*, *Происхождение химических элементов*) начался в период времени, отстоящий на $\Delta = (6{,}9 \pm 2)$ млрд лет от момента образования твёрдых тел Солнечной системы. Этот результат получен на основе анализа наблюдаемых значений распространённости долгоживущих изотопов ^{235}U ($T_{1/2} = 7{,}0 \cdot 10^8$ лет), ^{238}U ($T_{1/2} = 4{,}5 \cdot 10^9$ лет), ^{232}Th ($T_{1/2} = 1{,}4 \cdot 10^{10}$ лет) и продуктов их распада. Данные о продолжительности s-процесса образования тяжёлых элементов, получаемые ренний-осмиевым методом, существенно менее определённы, однако они, по-видимому, также приводят к довольно близкому значению Δ.

Темп обогащения вещества Галактики тяжёлыми элементами был наиболее высок в начальный период, однако данные, полученные с помощью относительно короткоживущих хронометров нуклеосинтеза ^{129}I ($T_{1/2} = 7{,}0 \cdot 10^8$ лет) и ^{244}Pu ($T_{1/2} = 8{,}1 \cdot 10^7$ лет), показывают, что этот процесс продолжался и во время, непосредственно предшествовавшее образованию Солнечной системы.

Прекращение процесса обогащения тяжёлыми элементами вещества протосолнечного газового облака и его обособление от галактического газа произошли за 150 млн лет до образования первых родительских тел метеоритов. Ряд аргументов свидетельствует в пользу того, что моменту обособления протосолнечного газового облака непосредственно предшествовал всплеск интенсивности процесса нуклеосинтеза, носивший, скорее всего, локальный характер (например, взрывы близких сверхновых) и приведший к образованию $\sim 10^{-2}$ от общего количества тяжёлых элементов в веществе Солнечной системы. Возможно, что вспышка близкой сверхновой вообще послужила толчком для формирования Солнечной системы.

Экспериментальные данные о распространённости долгоживущих изотопов тяжёлых элементов и продуктов их распада совместимы с предположением об экспоненциальном спадании темпа галактического нуклеосинтеза с характерным временем затухания (3 ± 2) млрд лет. Существенно, что выбор конкретного вида хронологической модели галактического нуклеосинтеза мало сказывается на определении времени начала процесса образования изотопов тяжёлых элементов в r-процессе.

Перечисленные выводы основаны на анализе эмпирического материала с привлечением известных закономерностей ядерной физики и минимального числа самых общих представлений об эволюции Галактики и механизмах нуклеосинтеза. Они служат экспериментальной основой построения эволюционной картины формирования химических элементов в Галактике и убедительно свидетельствуют о том, что массивные звёзды первых поколений, завершавшие свою эволюцию выбросом в межзвёздное пространство переработанного в их недрах вещества, послужили главным источником формирования наблюдаемого изотопного состава Галактики.

ЯДЕРНАЯ ФОТОЭМУЛЬСИЯ – фотографическая эмульсия с высоким содержанием бромистого серебра. Используется в виде толстых слоёв для регистрации космических частиц по их ионизационным трекам, оставляемым в толще эмульсии.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ – процессы превращения атомных ядер при их взаимодействии между собой и с элементарными частицами. В астрофизике ядерные реакции рассматриваются в основном в двух аспектах: как источник энергии звёзд и как причина образования и изменения содержания химических элементов во Вселенной в целом и в отдельных её структурных элементах – галактиках, звёздах, межзвёздной среде и т. д.

Ядерные (точнее, термоядерные) реакции служат основным источником энергии излучения звёзд. Большую часть своей активной жизни звезда получает энергию в результате ядерных реакций превращения ядер водорода (протонов) в ядра гелия. Эти реакции происходят во внутренней области (ядре) звезды, где температура газа превышает 10 млн К. Огромные запасы внутриядерной энергии постепенно освобождаются в недрах звезды, обеспечивая её длительное существование в виде почти не меняющегося со временем (стационарного) гидростатически равновесного тела. В звёздах типа Солнца этот процесс может продолжаться более 10 млрд лет. После «выгорания» водорода температура в ядре звезды повышается до 100 млн К, и там начинается ядерная реакция превращения гелия в углерод. В процессе эволюции звёзд, значительно более массивных, чем Солнце, цепочка ядерных реакций продолжается и после выгорания гелия, приводя к образованию в недрах звезды элементов со всё большей атомной массой – вплоть до ядер атомов железа, обладающих максимальной энергией связи на один нуклон.

Ядерные реакции играют определяющую роль и на нестационарных стадиях эволюции звёзд, в том числе при вспышках звёзд. На всех этих стадиях звёздной эволюции посредством ядерных реакций синтезируется большинство встречающихся в природе тяжёлых элементов. После формирования у массивной звезды железного ядра происходит его гравитационный коллапс, который, по-видимому, приводит к взрыву сверхновой. В результате ядерных реакций, происходивших в недрах звёзд или при взрывах звёзд — новых и сверхновых, — образовалось основное количество химических элементов тяжелее гелия, существующих в природе, включая и те элементы, из которых состоит наша Земля.

Исходные данные о ядерных реакциях астрофизика берёт из экспериментальной и теоретической ядерной физики. Ядерные реакции управляются тремя из четырёх известных фундаментальных взаимодействий — сильным, электромагнитным и слабым; лишь гравитационное взаимодействие не имеет прямого отношения к ядерным реакциям. С этим связано громадное разнообразие ядерных реакций.

Наибольший интерес для астрофизики представляют реакции слияния ядер, иначе говоря, синтез тяжёлых ядер из более лёгких ядер и элементарных частиц. В процессах синтеза выделение энергии происходит вплоть до образования ядер Fe и Ni, которые имеют наибольшую энергию связи в расчёте на один нуклон. Появление на определённых стадиях эволюции звёзд свободных нейтронов и захват их ядрами элементов группы железа приводит к синтезу ещё более тяжёлых атомных ядер, вплоть до трансурановых элементов. На заключительных стадиях эволюции достаточно массивных звёзд, когда температура в их недрах становится очень высокой, скорости ядерных реакций увеличиваются настолько, что почти каждому элементарному акту синтеза какого-либо ядра соответствует обратный акт расщепления этого ядра на исходные составляющие. В результате устанавливаются вполне определённые концентрации ядер, не зависящие от скоростей реакций. Такое состояние звёздного вещества принято называть ядерным статистическим равновесием, или NSE (от англ. *nuclear statistical equilibrium*). Состояние NSE поддерживается быстрыми и многочисленными прямыми и обратными ядерными реакциями. Установление NSE в недрах звёзд — одна из двух главных причин потери механической устойчивости звёзд и их перехода в состояние гравитационного коллапса на конечной стадии эволюции; вторая причина — нейтронизация звёздного вещества.

Особое место в ядерной астрофизике занимают вызываемые слабым взаимодействием реакции электронов и позитронов с ядрами. В этих реакциях участвуют также нейтрино. Позитронные бета-распады являются непременным звеном в цепочках реакций синтеза химических элементов из водорода. Электронные бета-распады вместе с реакцией захвата нейтронов делают возможным образование в природе наиболее тяжёлых химических элементов. Захват электронов ядрами, сопровождаемый интенсивным нейтринным излучением, оказывает решающее влияние на свойства звёздного вещества на конечных стадиях эволюции звёзд — при нейтронизации и гравитационном коллапсе. Поглощение и излучение нейтрино в реакциях электронов и позитронов с нейтронами, протонами и ядрами играет важную роль в гидродинамической картине образования нейтронных звёзд и, возможно, чёрных дыр. Оно также определяет характеристики сопровождающих гравитационный коллапс всплесков нейтринного излучения, теоретическое предсказание которых имеет большое значение для реализации на нейтринных обсерваториях программ детектирования гравитационных колапсов. Из этого краткого перечисления видно, насколько важны для астрофизики ядерные реакции, обусловленные слабым взаимодействием.

Другая область астрофизики, в которой свойства ядерных реакций играют определяющую роль, относится к взаимодействию высокоэнергичных частиц (ускоренных ядер) с межзвёздной средой и веществом разреженных звёздных атмосфер и околозвёздных оболочек. Высокоэнергичные частицы могут появляться в результате электромагнитного ускорения при вспышках на звёздах и в магнитосферах пульсаров, а также вследствие прямого гидродинамического ускорения в ударных волнах. Если вызываемые такими частицами ядерные реакции сопровождаются отщеплением от реагирующих ядер лёгких фрагментов — протонов (p), нейтронов (n), α-частиц и т. д., то их называют реакциями скалывания. Ядерные реакции скалывания позволяют объяснить ряд особенностей состава космических лучей и отчасти происхождение лёгких элементов — Li, Be и B. Частицы достаточно больших энергий могут также приводить к образованию мезонов и других адронов, помимо нейтронов и протонов.

Ядерные реакции лежат в основе строения и эволюции вещества Вселенной, поскольку представляют собой те элементарные процессы, посредством которых становится возможным проявление микроскопических свойств ядер в огромных масштабах космоса.

Способы записи ядерных реакций

Употребляется два способа записи ядерных реакций. Один из них аналогичен обычным химическим уравнениям, например:

$$^{13}C + \alpha = {}^{16}O + n + 2{,}22\ \text{МэВ}, \qquad (1)$$

причём вместо знака равенства чаще пишется стрелка (→), чтобы подчеркнуть, в каком направлении идёт реакция. В правой части может быть указан энергетический выход реакции Q (в МэВ). Положительное значение Q соответствует выделению, а отрицательное — поглощению энергии в ядерной реакции.

Во втором (сокращённом) способе записи выделяются тяжёлые ядра (мишень и продукты реакции), а бомбардирующая и и выбрасываемая (или выбрасываемые) более лёгкие частицы пишутся в скобках и разделяются запятой. Указанная выше реакция записывается при этом как $^{13}C(\alpha, n)^{16}O$, а все реакции такого типа называют реакциями (α, n). Большое значение в астрофизике имеют также реакции (p, γ), (n, γ), (p, n), (p, 2n), (α, γ) и др. В число ядерных реакций включают и определяемые слабым взаимодействием β-процессы. Распад трития можно записать как $^{3}H(e^{-},\tilde{\nu})^{3}He$, а захват протоном электрона — элементарный акт нейтронизации — как $^{1}H(e^{-},\nu)n$. В сокращенной записи вне скобок стараются по возможности использовать химические символы элементов (например, ^{1}H вместо p и ^{3}H вместо трития T). Кроме того, дейтерий ^{2}H иногда обозначают как ^{2}D, а тритий ^{3}H как ^{3}T.

Энергетический выход ядерной реакции

В ядерных реакциях строго выполняются законы сохранения импульса и энергии. Однако некоторая часть кинетической энергии может переходить в энергию покоя и, наоборот, энергия покоя может освобождаться в виде кинетической энергии [как в реакции (1)], которая передаётся другим частицам при последующих столкновениях или уносится такими элементарными частицами, как фотоны и нейтрино. Энергетическим выходом реакции Q называют разность между суммарными энергиями покоя всех частиц до и после ядерной реакции. Если $Q > 0$, то суммарная энергия покоя уменьшается в процессе реакции. Такие реакции называют экзоэнергетическими или беспороговыми. В принципе они могут протекать при сколь угодно малой начальной кинетической энергии частиц. Наоборот, при $Q < 0$ часть исходной кинетической энергии частиц превращается в энергию покоя. Такие реакции называют эндоэнергетическими, или пороговыми. Для их протекания необходимо, чтобы кинетическая энергия частиц превышала некоторую величину (порог реакции).

Закон сохранения импульса накладывает ограничение на величину кинетической энергии, которая может перейти в энергию покоя. Вся кинетическая энергия

может перейти в энергию покоя, лишь если полный импульс реагирующих частиц равен нулю. Поэтому ядерные реакции удобно рассматривать в системе координат, в которой центр инерции взаимодействующих частиц покоится, т. е. полный импульс равен нулю по определению. Далее, если особо не оговорено, под энергией взаимодействия будет подразумеваться кинетическая энергия частиц в системе центра инерции. В случае двух нерелятивистских ядер энергия взаимодействия определяется по формуле

$$E = Mv^2/2, \qquad (2)$$

где $v = |v_1 - v_2|$ — относительная скорость частиц, а M — приведённая масса

$$M = m_u A_1 A_2/(A_1 + A_2), \qquad (3)$$

причём A_1 и A_2 — массы ядер, измеренные в а. е. м. (m_u).

Условие протекания эндоэнергетических реакций можно записать в виде $E > |Q|$. Из этого неравенства с помощью (2) можно получить в лабораторной системе координат, где, например, частица с массой m_2 покоится, а частица с массой m_1 налетает на неё с кинетической энергией E_1, необходимое условие для протекания эндоэнергетической реакции:

$$E_1 > |Q|\,(1 + m_1/m_2). \qquad (4)$$

Такое возрастание порога реакции в лабораторной системе координат объясняется тем, что часть кинетической энергии, связанная с движением центра масс, остаётся бесполезной для ядерной реакции.

Сечение и скорость ядерной реакции

Рассмотрим реакцию между частицами двух типов (1 и 2). Предположим для простоты, что частицы 1 покоятся, а частицы 2 налетают на них со скоростью v. Тогда скорость реакции P_{12}, т. е. число реакций в единицу времени в единице объёма, будет пропорциональна произведению $n_1 j$, где $j = n_2 v$ — число частиц 2, проходящих через единицу площади в единицу времени (поток частиц 2), а n_1 и n_2 — числа частиц 1 и 2 в единице объёма. Коэффициент пропорциональности σ имеет размерность площади и называется сечением ядерной реакции. Выражение $P_{12} = n_1 n_2 \sigma v$ остаётся справедливым и в том случае, когда движутся оба типа частиц; тогда v — скорость взаимного сближения частиц, т. е. их относительная скорость.

Сечения ядерных реакций, вообще говоря, зависят от скорости (кинетической энергии) реагирующих частиц. Кроме того, в астрофизических объектах (например, в звёздном веществе) обычно представлены частицы с различными скоростями. Поэтому для нахождения полного числа реакций в единице объёма необходимо усреднить приведённое выше выражение для P_{12} по распределению относительных скоростей частиц:

$$P_{12} = n_1 n_2 \langle \sigma v \rangle / (1 + \delta_{12}), \qquad (5)$$

где угловыми скобками обозначено среднее значение и введена величина δ_{12}, равная 0 или 1 в зависимости от того, различны или тождественны частицы 1 и 2. Введение величины δ_{12} связано с тем, что в описанном выше способе подсчёта числа реакций в случае тождественных частиц участие каждой частицы в реакции учитывается дважды: один раз — когда эта частица рассматривается как мишень, а в другой раз — как бомбардирующая частица.

Скорость выделения энергии ε, рассчитанная на единицу массы вещества с плотностью ρ, находится из соотношения

$$\varepsilon = QP_{12}/\rho. \qquad (6)$$

Теория ядерных взаимодействий вместе с данными экспериментальной ядерной физики позволяет рассчитать сечения ядерных реакций, а с ними и две основные используемые в астрофизике характеристики этих реакций — P_{12} и ε.

Радиус действия ядерных сил, кулоновский и центробежный энергетические барьеры

Ядерные силы короткодействующие. Поэтому для эффективного протекания ядерных реакций частицы должны подойти достаточно близко друг к другу. Характерное расстояние R, в пределах которого ядерные силы оказываются существенными (его называют радиусом ядерного взаимодействия), определяется соотношением

$$R \approx R_0\,(A_1^{1/3} + A_2^{1/3}), \qquad (7)$$

где A_1 и A_2 — массовые числа реагирующих ядер, а $R_0 \approx 1{,}5 \cdot 10^{-13}$ см.

В цепочке ядерных превращений, которая заканчивается синтезом в звёздах ядер тяжёлых элементов из первичных водорода и гелия, ключевыми звеньями оказываются реакции протонов и α-частиц между собой и с более тяжёлыми ядрами, а также некоторых ядер с ядрами того же сорта и с подобными им. В таких реакциях сближению частиц на малые расстояния препятствуют силы электростатического отталкивания, и поэтому реагирующие частицы должны преодолеть кулоновский энергетический барьер.

Зависимость кулоновской потенциальной энергии V_c от расстояния между частицами r имеет вид

$$V_c(r) = e^2 Z_1 Z_2/r, \qquad (8)$$

где Z_1 и Z_2 — заряды частиц в единицах заряда электрона e. Высота кулоновского энергетического барьера E_c получается при подстановке $r = R$ в (8): $E_c = V_c(R)$. На бо́льших расстояниях ($r > R$) взаимодействие заряженных частиц определяется кулоновским потенциалом (8). Область ядерного взаимодействия ($r < R$) приближённо можно описать некоторым эффективным потенциалом. Для многих целей оказывается достаточным считать, что потенциал имеет вид прямоугольной ямы с глубиной $V_0 = -40$ МэВ. Крутые края такой ямы описывают интенсивное притяжение между атомными ядрами на расстоянии $r \approx R$.

В общем случае относительное движение частиц характеризуется моментом импульса, который, согласно квантовой механике, может принимать лишь дискретные значения $\hbar\sqrt{l(l+1)}$, определяемые орбитальным квантовым числом $l = 0, 1, 2, \ldots, l_{макс}$, где $l_{макс} \approx R/\lambda\!\!\!^{-}$ и $\lambda\!\!\!^{-} = \hbar/Mv$. При $l = 0$ момент импульса равен нулю, что соответствует лобовому столкновению частиц. Когда частицы подходят близко друг к другу с сохранением момента импульса, кинетическая энергия их относительного вращения быстро возрастает. Поэтому для попадания в область действия ядерных сил заряженным частицам необходимо преодолеть не только кулоновский, но в случае $l > 0$ ещё и центробежный энергетический барьер: $E_R = l(l+1)\hbar^2/2MR^2$. При взаимодействии нейтронов с ядрами кулоновский барьер отсутствует, и остаётся только центробежный барьер (для $l > 0$). Существенно, что в случае $l = 0$ центробежный барьер отсутствует. Кроме того, для нейтронов даже при $l = 1$ высота центробежного барьера оказывается большой по сравнению с энергией, которую они могут иметь в звёздном веществе: с увеличением l высота центробежного барьера растёт как $l(l+1)$.

Поэтому нейтроны эффективно реагируют с ядрами лишь при лобовых столкновениях в отсутствие центробежного барьера (при $l = 0$). При взаимодействии ядер друг с другом высота центробежного барьера может уже не быть столь большой (велико MR^2). Однако в этом случае значительно более важную роль играет кулоновский энергетический барьер. Именно он определяет зависимость сечения ядерной реакции от энергии взаимодействия частиц, тогда как суммарный вклад центробежных барьеров при различных $l \geqslant 1$ сводится лишь к умножению сечения реакции при $l = 0$ на слабо зависящий от энергии коэффициент, который входит в общий множитель, обычно определяемый из данных эксперимента. Таким образом, при характерных для звёздного вещества энергиях взаимодействия центробежный энергетический барьер имеет второстепенное значение.

В классической механике попадание частиц в область $r < R$ возможно лишь при условии, что энергия взаимодействия (2) превышает высоту энергетического барьера, т. е. когда $E > E_c$ для заряженных частиц. Однако в квантовой механике существует конечная вероятность сближения

частиц до расстояний $r < R$ даже в случае $E \ll E_c$ (туннельный эффект). Такой подбарьерный переход не означает нарушения закона сохранения энергии, полная энергия системы после перехода в точности равна энергии до перехода. Именно этот случай реализуется в звёздах: они светят миллиарды лет благодаря освобождению запасов ядерной энергии при постепенном «просачивании» ядра сквозь энергетический барьер. Расчёт вероятности подбарьерного перехода показывает, что она резко понижается как с увеличением высоты потенциального барьера, так и с уменьшением энергии взаимодействия при фиксированной высоте барьера. Именно этим объясняется сильная зависимость сечений ядерных реакций между заряженными частицами от энергии (и в конечном счёте скоростей реакций от температуры), а также от зарядов Z реагирующих ядер.

Следует отметить важное обстоятельство: вероятность подбарьерного перехода не зависит от направления движения частицы, т. е. от того, преодолевает ли частица энергетический барьер, проникая в ядро, или, наоборот, стремится с такой же энергией покинуть ядро.

Механизмы ядерных реакций. Термоядерные реакции

Попадание частиц в область действия ядерных сил является необходимым, но, вообще говоря, не достаточным условием протекания данной ядерной реакции. С той или иной вероятностью эта реакция может развиваться разными путями, т. е. пойти по различным каналам. Результат реакции во многом зависит от механизма её протекания. По механизму ядерные реакции подразделяют на две основные группы: прямые реакции и реакции, протекающие через составное ядро. (Мы не рассматриваем обусловленные слабым взаимодействием реакции электронов, позитронов и нейтрино с ядрами.) В прямых ядерных реакциях энергия частиц передаётся за короткое ядерное время $\sim 10^{-22}$ с (время прохождения реагирующими частицами расстояния, равного размеру ядра) непосредственно одному или группе из нескольких нуклонов, которые и образуют продукты реакции. Примером могут служить (p, n)- и (n, p)-реакции при энергиях порядка нескольких десятков МэВ.

Внутри звёзд характерные энергии частиц значительно меньше (≤1 МэВ). При таких энергиях большинство ядерных реакций идёт через составное ядро. В процессе взаимодействия энергия постепенно распределяется между всеми нуклонами реагирующих частиц, которые объединяются на промежуточной стадии реакции в одно сравнительно долгоживущее (до 10^{-14} с) составное ядро. На заключительной стадии реакции составное ядро с определённой вероятностью распадается на продукты реакции по одному из возможных каналов:

$$^{12}C + {}^{12}C \to {}^{24}Mg^* \to \begin{cases} {}^{20}Ne + \alpha + 4{,}62\ \text{МэВ} \\ {}^{23}Na + p + 2{,}24\ \text{МэВ} \\ {}^{23}Mg + n - 2{,}60\ \text{МэВ} \end{cases} \quad (9)$$

Составное ядро — возбуждённое ядро $^{24}Mg^*$ — распадается по нескольким возможным каналам, число которых тем больше, чем сильнее возбуждение. В (9) указаны три основных способа распада, соответствующих энергиям частиц внутри звёзд. Каналы с испусканием α-частиц и протонов примерно равновероятны, поскольку выделяемые энергии сравнимы с высотой кулоновских барьеров для вылетающих частиц. Канал с испусканием нейтрона сильно эндоэнергетичен и поэтому обладает небольшой вероятностью (она достигает нескольких процентов лишь при взрывном горении углерода на конечных стадиях звёздной эволюции, когда температура превышает $3 \cdot 10^9$ K). Вероятности распада составного ядра зависят лишь от энергии возбуждения и не зависят от способа его образования, так как составное ядро слишком долго «живёт» в ядерных масштабах времени и поэтому «забывает» историю своего происхождения.

Реакции, идущие через составное ядро, делятся в свою очередь на резонансные и нерезонансные. Составное ядро, как и всякая квантовая система, может находиться только в состояниях, характеризуемых дискретными значениями энергии (уровнями энергии). Если энергия реагирующих частиц такова, что энергия возбуждения составного ядра оказывается близкой к какому-либо его изолированному энергетическому уровню, то вероятность образования составного ядра, а следовательно, и сечение реакции резко возрастают (резонанс). В этом случае скорость реакции определяется теми частицами, которые взаимодействуют с энергией E, близкой к энергии E_r, соответствующей возникновению резонанса. Однако с ростом энергии возбуждения, а также с увеличением массовых чисел реагирующих ядер резко возрастает число уровней, и расстояния (по энергии) между ними становятся сравнимыми с их шириной. Уровни перекрываются, и зависимость сечения образования составного ядра от энергии уже не имеет вид далеко отстоящих резких максимумов, а представляет собой, хотя и волнообразную, но в среднем плавно меняющуюся функцию.

В таких условиях в полную скорость ядерной реакции вносят вклад частицы в широком интервале энергий, реакция протекает нерезонансным образом. Кроме того, резонансная энергия может оказаться трудно достижимой в ядерной реакции. Например, ближайший изолированный уровень составного ядра может располагаться столь высоко, что в звёздном веществе практически не будет частиц с нужной высокой энергией. В случае экзоэнергетических реакций составное ядро может, наоборот, иметь минимальную энергию возбуждения (т. е. энергию возбуждения при энергии взаимодействия $E = 0$), превышающую энергию изолированного уровня. В обоих случаях ядерная реакция, тем не менее, может идти с некоторой скоростью, поскольку при отличии энергии реакции от резонансной всё-таки имеется не равная нулю вероятность образования составного ядра. Зависимость сечения такой реакции от энергии плавная. Говорят, что реакция идёт на крыльях резонанса, но нерезонансным образом.

Прямые ядерные реакции также носят нерезонансный характер.

Расчёт сечения нерезонансных экзоэнергетических реакций между заряженными частицами приводит к следующему результату:

$$\sigma(E) = (C/\sqrt{E})\sqrt{E_G/E}\exp(-\sqrt{E_G/E}) = \\ = (S/E)\exp(-\sqrt{E_G/E}), \quad (10)$$

где $E_G = (M/2)(2\pi e^2 Z_1 Z_2/\hbar)^2$ — так называемая энергия Гамова, а C и S — параметры, которые слабо зависят от E. Множитель в квадратных скобках в (10) описывает вероятность прохождения частицы сквозь кулоновский энергетический барьер и называется проницаемостью барьера. Множитель $C\sqrt{E}$ в первом приближении можно представить как произведение геометрического сечения столкновения, пропорционального R^2, на вероятность осуществления ядерной реакции, когда частицы находятся в пределах действия ядерных сил, т. е. на расстояниях $r < R$. Эта последняя равна произведению вероятности образования составного ядра, которая пропорциональна времени пребывания частиц в области $r < R$, т. е. величине $R/v \sim 1/\sqrt{E}$, и вероятности распада составного ядра по интересующему нас каналу, слабо зависящей от E.

При ядерных реакциях с участием во входном канале нейтральных частиц (нейтронов, фотонов) сближение частиц не затруднено кулоновским энергетическим барьером. Для теории происхождения химических элементов важна реакция радиационного захвата нейтрона (n, γ). Интересны также реакции (n, p) и (n, α), но скорость их обычно меньше, чем (n, γ), особенно на тяжёлых ядрах, поскольку вылетающим протонам и α-частицам приходится преодолевать кулоновский барьер. Однако в некоторых экзоэнергетических реакциях нейтронов с лёгкими и средними ядрами кулоновский барьер для вылетающих частиц не очень высок, а энерговыделение в реакции столь велико, что энергии протонов и α-частиц оказываются сравнимыми с высотой кулоновского барьера. Такие реакции могут поэтому идти с довольно

большой скоростью. Например, реакция $^{14}N(n, p)^{14}C + 0{,}63$ МэВ играет роль сильного поглотителя нейтронов на стадии горения водорода в звёздах. Высокой скоростью и особенно большим энерговыделением обладают реакция (n, p) на неустойчивых к позитронному распаду ядрах:

$^{11}C(n, p)^{11}B + 2{,}77$ МэВ,

$^{26}Al(n, p)^{26}Mg + 4{,}79$ МэВ и др.

Даже при очень малых энергиях интенсивно протекают некоторые (n, α)-реакции, например,

$^{6}Li(n, \alpha)^{3}H + 4{,}78$ МэВ,

$^{10}B(n, \alpha)^{7}Li + 2{,}79$ МэВ, а также

$^{11}C + n \to 3\alpha + 11{,}4$ МэВ.

При низких энергиях сечение нерезонансного поглощения нейтронов в экзоэнергетических реакциях (n, γ), (p, γ), (n, α) и др. подчиняется знаменитому (подтверждённому многочисленными экспериментами и теоретическими оценками) «закону $1/v$», т. е. сечение обратно пропорционально относительной скорости нейтронов и ядер или корню квадратному из энергии взаимодействия

$$\sigma(E) = C_1/v = C/\sqrt{E}, \qquad (11)$$

где коэффициент C несколько изменяется с энергией нейтронов.

Экзоэнергетические нерезонансные реакции между заряженными частицами отличаются от реакций между ядрами и нейтронами в основном наличием в сечении дополнительного множителя, учитывающего проницаемость кулоновского барьера: величина $C\sqrt{E}$ в (11) имеет тот же физический смысл, что и в (10).

В резонансных реакциях плавные зависимости (10) и (11) сечения от E нарушаются появлением резких максимумов (резонансов) значений коэффициентов S и C при таких значениях $E = E_r$, для которых энергия возбуждения составного ядра равна энергии какого-либо его изолированного энергетического уровня. Зависимость сечения от энергии вблизи изолированного резонанса описывается как для нейтральных, так и для заряженных частиц формулой Брейта–Вигнера (см. учебники по ядерной физике).

Энергию, необходимую для протекания ядерных реакций, частицы звёздного вещества приобретают в результате столкновений в процессе хаотического теплового движения. Ядерные реакции, эффективные лишь при достаточно высокой температуре вещества, называют термоядерными реакциями. Для определения скорости термоядерной реакции (число актов за единицу времени в единице объёма) необходимо усреднить произведение σv с учётом распределения частиц по относительным скоростям v, которое получается из распределения Максвелла заменой массы первой или второй частиц на приведённую массу M. С учётом того, что v^2 связано с E в системе центра инерции соотношением (2), вклад ΔP_{12} всех частиц 1 и 2, имеющих энергию относительного движения между E и $E + \Delta E$, в полную скорость P в соответствии с (5) равен

$$\Delta P_{12} = \frac{n_1 n_2}{1+\delta_{12}} \frac{2}{kT} \sqrt{\frac{2}{\pi MkT}} \left[E \cdot \sigma(E) e^{-E/kT}\right] \Delta E. \qquad (12)$$

Полная скорость реакции P_{12} находится суммированием всех ΔP_{12}, т. е. интегрированием (12) по всем значениям E от 0 до ∞. Сравнение полученного таким путём P_{12} с (5) даёт искомое выражение для $\langle \sigma v \rangle$.

Скорость термоядерной реакции между заряженными частицами очень мала как при низких энергиях частиц $E \lesssim kT$ (вследствие трудности преодоления кулоновского энергетического барьера), так и при высоких энергиях $E \gg kT$ (вследствие малого числа частиц с такими энергиями в случае максвелловского распределения частиц по скоростям). Поэтому существует определённый интервал энергий, в котором частицы взаимодействуют достаточно эффективно. Зависящая от энергии часть формулы (12) (выделена квадратными скобками) представляет собой с учётом (10) произведение двух экспонент — увеличивающейся с ростом E «барьерной» и уменьшающейся «максвелловской». При некоторой энергии E_0 это произведение достигает максимума (слабая зависимость $S(E)$ не меняет существа дела), который называют барьерным пиком. Основной вклад в полную скорость P вносят частицы с энергиями в интервале $E \pm \Delta E_0$. Согласно вычислениям

$$E_0 = kT(E_G/4kT)^{1/3};$$
$$\Delta E_0 \approx 4kT(E_0/3kT)^{1/2}. \qquad (13)$$

Структура барьерного пика такова, что интегрированием (12) методом «перевала» удаётся получить для $\langle \sigma v \rangle$ аппроксимационную формулу высокой точности:

$$\langle \sigma v \rangle \approx \frac{4S_3}{kT} \sqrt{\frac{2E_0}{3M}} e^{-3E_0/kT} \sim T^{-2/3} \exp(-C/T^{1/3}), \qquad (14)$$

где S_3 — эффективное значение слабо меняющейся функции $S(E)$.

Особенность барьерного пика в том, что при характерных для недр звёзд физических условиях он располагается в области энергий, значительно превышающих среднюю тепловую энергию частиц ($E \gtrsim 10kT$), и является довольно широким, поскольку ΔE_0 сравнимо по величине с E_0.

В случае нерезонансного взаимодействия нейтронов с ядрами выражение в квадратных скобках в (12) с учётом (11) достигает максимума при $E = kT/2$. Ширина этого максимума $\Delta E \approx 2kT$. Поэтому наиболее интенсивно реагируют нейтроны с энергиями, близкими к характерной тепловой энергии kT.

При взаимодействии заряженных частиц вклад резонансов в скорость термоядерной реакции особенно существен тогда, когда их энергии попадают в интервал ΔE_0 (вблизи E_0), в то время как при взаимодействии нейтронов наиболее эффективны резонансы с энергиями, близкими к kT.

При больших плотностях звёздного вещества, достигаемых в процессе эволюции звёзд, скорости ядерных реакций увеличиваются за счёт экранирования положительного заряда ядра отрицательно заряженными электронами. Электронное экранирование приводит к эффективному снижению кулоновского барьера и тем самым облегчает сближение ядер. Этот эффект особенно значителен при плотностях $\rho \geqslant 10^6$ г/см^3, когда в недрах звёзд, несмотря на высокую температуру, электронный газ становится вырожденным (сильное экранирование). При отсутствии вырождения экранирование не столь эффективно (слабое экранирование). В случае очень больших плотностей эффект экранирования оказывается столь значительным, что ядерные реакции идут уже в основном не за счёт высокой температуры, а благодаря снижению кулоновского барьера. Такие реакции иногда называют пикноядерными.

Статически равновесные ядерные реакции

В недрах обычных звёзд экзоэнергетические ядерные реакции — источники звёздной энергии — протекают при температурах, для которых средняя энергия теплового движения частиц ниже как энергетического выхода реакции, так и высоты кулоновского барьера ($kT \ll Q, E_C$). Поэтому скорость обратных пороговых реакций ничтожно мала — в звёздном веществе практически отсутствуют частицы с энергиями больше Q. Однако на заключительных стадиях эволюции достаточно массивных звёзд, а также в процессе гравитационного коллапса звёздных ядер температура достигает значений $T > (3–6) \cdot 10^9$ К, при которых в веществе имеется уже довольно много частиц с энергиями, необходимыми для быстрого протекания как прямых, так и обратных реакций. Особенно интенсивно идут реакции (p, γ), (n, γ), (α, γ) и обратные им реакции фотоотщепления нуклонов и α-частиц от ядер. Достаточно эффективными оказываются также прямые и обратные реакции типа (p, n), (n, α), (p, α) и др.

Путём последовательных фотоотщеплений нуклонов и α-частиц, а также обратных радиационных захватов ядра с одними значениями (A, Z) превращаются в ядра с другими (A, Z) и наоборот. В веществе появляются практически отсутствовавшие при более низких температурах свободные нейтроны, протоны и α-частицы. Устанавливаются вполне определённые равновесные концентрации различных ядер (NSE). Массовую концентрацию ядер принято обозначать через $X_{A,Z} \equiv A n_{A,Z} m_u/\rho$, где $n_{A,Z}$ — число ядер (A, Z) в единице объёма. В условиях NSE концентрация

ядер любого вида связана с концентрациями свободных нейтронов X_n и протонов X_p соотношением, аналогичным известной формуле Саха для определения равновесной ионизации компонентов газа:

$$X_{A,Z} = \omega_{A,Z} A^{5/2} \frac{1}{2^A} \left(\frac{2\pi\hbar^2}{m_u kT} \right)^{\frac{3}{2}(A-1)} \times \times \left(\frac{\rho}{m_u} \right)^{A-1} X_n^{A-Z} X_p^Z \exp\left(\frac{Q_{A,Z}}{kT} \right) \quad (15)$$

Здесь A – массовое число (количество нуклонов в ядре). Через $Q_{A,Z}$ обозначена абсолютная величина связи атомного ядра (A,Z), а через $\omega_{A,Z}$ – его статистический вес:

$$\omega_{A,Z} = (2I_0 + 1) + \sum_r (2I_r + 1) \exp(-E_r/kT), \quad (16)$$

где I_0 – спин основного состояния, а суммирование производится по возбуждённым состояниям с энергиями возбуждения E_r. Концентрация атомных ядер (A,Z), находящихся в каком-либо определённом возбуждённом состоянии $X^r_{A,Z}$, задаётся формулой (15) с заменой $\omega_{A,Z}$ на $(2I_r+1)\exp(-E_r/kT)$, где для основного состояния $r=0$ и $E_0=0$.

Ещё до установления NSE (на более ранних стадиях эволюции звёзд) возникают такие условия, когда не все, а лишь некоторые ядерные реакции уравновешиваются обратными реакциями. Иначе говоря, осуществляется частичное равновесие по ядерным реакциям. Примером может служить предшествующий NSE α-процесс (см. следующий раздел), а также реакция синтеза углерода из гелия. Если какая-либо реакция в точности уравновешивается обратной ей реакцией, то концентрации частиц, вступающих в реакцию, и частиц – продуктов реакции оказываются связанными определённым соотношением, которое можно получить с помощью (15). Именно такое соотношение используется при расчёте скорости синтеза углерода, осуществляющегося в две стадии:

$$3^4\mathrm{He} \to {}^{12}\mathrm{C}^* - 0{,}379 \text{ МэВ}, \quad (17)$$

$${}^{12}\mathrm{C}^* \to {}^{12}\mathrm{C} + 7{,}654 \text{ МэВ}. \quad (18)$$

В реакции (17) из трёх α-частиц образуется возбуждённое ядро углерода $^{12}C^*$ ($I_r=0$ и $E_r=7{,}654$ МэВ). Эта реакция фактически является результатом двух последовательных резонансных ядерных реакций, в которых возникает неустойчивое ядро ^{8}Be: $2^4\mathrm{He} \to {}^8\mathrm{Be}$ и $^4\mathrm{He} + {}^8\mathrm{Be} \to {}^{12}\mathrm{C}^*$. В подавляющем большинстве случаев $^{12}C^*$ распадается (через ^{8}Be) на исходные α-частицы. Лишь в одном из 2500 случаев после испускания γ-фотонов и электрон-позитронных пар $^{12}C^*$ переходит в конечный продукт гелиевых реакций – ядро ^{12}C в основном состоянии. Поэтому с большой точностью можно считать реакцию (17) равновесной и воспользоваться (15) для нахождения n^*_{12} – числа ядер $^{12}C^*$ в единице объёма:

$$n^*_{12} = X^*_{12} \frac{\rho}{12 m_u} = 3^{3/2} \left(\frac{\pi\hbar^2}{m_u kT} \frac{X_{\mathrm{He}} \rho}{8 m_u} \right)^3 e^{Q/kT}, \quad (19)$$

где $Q=-0{,}379$ МэВ, а X_{He} – концентрация исходного гелия.

Термоядерная эволюция звёзд

Термоядерные реакции в звёздах приводят к постепенному изменению химического состава звёздного вещества, что вызывает перестройку звезды и её продвижение по эволюционному пути. Первый этап эволюции заканчивается истощением водорода в центральных областях звезды. Затем после повышения температуры, вызванного сжатием центральных слоёв звезды, лишённых источников энергии, становятся эффективными термоядерные реакции горения гелия, которые сменяются реакциями горения C, O, Si и последующих элементов – вплоть до Fe и Ni. Вследствие сильной зависимости подбарьерных термоядерных реакций от температуры, на каждом очередном этапе горения температура звёздного вещества остаётся примерно постоянной. После истощения очередного ядерного горючего происходит повышение температуры и плотности до тех пор, пока не включаются новые термоядерные реакции между ядрами – продуктами предыдущего этапа эволюции. Следовательно, каждому этапу звёздной эволюции соответствуют определённые термоядерные реакции.

Первыми в цепи таких ядерных реакций стоят водородные термоядерные реакции. Они протекают двумя путями в зависимости от начальной температуры T_c в центре звезды, которая связана с её массой M в момент достижения главной последовательности. При $T_c < 1{,}7 \cdot 10^6$ K ($M \le 1{,}2\, M_\odot$) основной оказывается цепочка реакций водородного цикла, тогда как при более высоких температурах преобладают реакции углеродного цикла. Наиболее медленную реакцию каждого цикла (точнее, имеющую наименьшее значение $\langle \sigma v \rangle$) называют главной реакцией, поскольку именно она определяет темп горения водорода и связанного с ним энерговыделения. От скоростей остальных, более быстрых реакций зависят лишь значения устанавливающихся квазистационарных концентраций участвующих в них ядер, а также характеристики сопутствующего нейтринного излучения. Главная реакция водородного цикла – первичная реакция:

$${}^1\mathrm{H} + {}^1\mathrm{H} \to {}^2\mathrm{D} + e^+ + \nu, \quad (20)$$

в которой происходит позитронный распад одного из протонов в момент сближения двух протонов на расстояние действия ядерных сил. Сечение этой реакции определяется лишь теоретическим путём, так как из-за её крайне малой вероятности невозможно выполнить соответствующие измерения в лаборатории. Для грубой оценки сечения этого сложного процесса можно воспользоваться формулой, имеющей ясный физический смысл:

$$\sigma \approx \left(4\pi b^2\right) \left(\sqrt{E_G/E} \cdot e^{-\sqrt{E_G/E}} \right) \left(\frac{2b}{v} \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \right), \quad (21)$$

где первый сомножитель равен сечению соударения ($b = 4{,}3 \cdot 10^{-13}$ см – радиус дейтрона), второй описывает вероятность подбарьерного перехода, а третий – вероятность β-процесса, которая равна произведению времени соударения $2b/v$ на вероятность β-процесса за единицу времени ($t_{1/2}$ – время полураспада нейтрона). Третий сомножитель чрезвычайно мал: $\sim 10^{-23}$ при $t_{1/2} = 630$ с и $v \approx 10^8$ см/с. С учётом того, что $v \sim E^{1/2}$, формулу (21) можно записать в стандартном виде (10).

В связи с проблемой солнечных нейтрино сечение реакции (20) вычислялось самым тщательным образом с учётом различных поправок (радиационных, мезонных и др.). Для реакции (20)

$$\langle \sigma v \rangle_{1,1} = 6{,}33 \cdot 10^{-39} T_9^{-2/3} e^{-3{,}38/T_9^{1/3}} \times \times (1 + 0{,}123\, T_9^{1/3} + 1{,}09\, T_9^{2/3} + 0{,}938\, T_9) \text{ см}^3/\text{с}, \quad (22)$$

где $T_9 = T/10^9$ K. Выражение в скобках учитывает слабую зависимость $S(E)$. Приближенное выражение (21) даёт примерно в 3 раза большее значение $\langle \sigma v \rangle_{1,1}$ по сравнению с (22), что позволяет пользоваться (21) при грубых оценках.

Синтез гелия из водорода в реакциях углеродного цикла протекает при участии катализаторов, роль которых играют малые примеси изотопов C, N и O в первоначальном звёздном веществе. Главная реакция в этом случае ^{14}N(p, γ)^{15}O настолько медленнее остальных реакций с участием C и O, что все первоначально имевшиеся изотопы C и O успевают быстро (по сравнению с характерным временем эволюции звезды) превратиться в ^{14}N. При температурах $(20–40) \cdot 10^6$ K, типичных для звёзд главной последовательности, реакция ^{14}N(p, γ)^{15}O идёт нерезонансным образом.

Общий результат водородного или углеродного цикла можно записать в виде

$$4^1\mathrm{H} \to {}^4\mathrm{He} + 2\nu + 26{,}73 \text{ МэВ} \quad (6{,}4 \cdot 10^{14} \text{ Дж/кг}). \quad (23)$$

Часть освобождающейся в реакции (23) энергии уносят нейтрино: ≈0,6 МэВ в водородном цикле и ≈1,7 МэВ в углеродном цикле на один образовавшийся атом гелия. Остальная энергия постепенно просачивается к поверхности звезды и поддерживает её свечение многие миллионы и миллиарды лет.

Последующий синтез химических элементов из гелия и возможной в звёздных условиях примеси к нему водорода сильно затруднён. Дело в том, что в природе не существует ядра ^{5}Li, и поэтому

столкновения между протонами и α-частицами к синтезу ядер не приводят.

Химические элементы тяжелее ^{4}He начинают синтезироваться лишь после полного выгорания водорода в центральной области звезды, когда температура поднимается до $(2–3)\cdot10^8$ K, а плотность увеличивается на 2–3 порядка и достигает $10^3–10^4$ г/см^3. В таких условиях становятся эффективными реакции (17) и (18), итог которых можно представить в виде

$$3^4\text{He} \to {}^{12}\text{C} + 7{,}28\ \text{МэВ}\ (5{,}85\cdot10^{13}\ \text{Дж/кг}). \quad (24)$$

В астрофизической литературе этот процесс принято называть 3α-реакцией. Его скорость, т. е. число актов в единице объёма в единицу времени, равна отношению равновесной концентрации n_{12}^* из (19) к определённому из эксперимента времени жизни $t^* = 1{,}8\cdot10^{-13}$ с ядра ^{12}C* по отношению к распаду (18):

$$P_{3\alpha} = n_{12}^*/\tau^* \approx 4{,}37\cdot10^{13}\left(\frac{Y_{\text{He}}\rho}{T_9}\right)^3 e^{-4{,}40/T_9}$$

актов/(см^{3}с). (25)

Одновременно с 3α-реакцией в звёздах может идти реакция

$$^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \to {}^{16}\text{O} + \gamma + 7{,}16\ \text{МэВ}. \quad (26)$$

Её скорость определяется нерезонансным вкладом уровней 7,12 и 6,92 МэВ составного ядра ^{16}O. Соотношение между ^{12}C и ^{16}O – продуктами горения ^{4}He – зависит от соотношений скоростей процессов (24) и (26). В наиболее массивных звёздах ($M \geqslant 40\,M_\odot$) горение гелия происходит при относительно низкой плотности и более высокой температуре по сравнению с менее массивными звёздами, поэтому в таких массивных звёздах скорость реакции (26) относительно велика. В этом случае за 3α-реакцией всегда следует реакция (26), и весь синтезированный в 3α-реакции углерод превращается в кислород:

$$4^4\text{He} \to {}^{16}\text{O} + 14{,}44\ \text{МэВ}\ (8{,}7\cdot10^{13}\ \text{Дж/кг}). \quad (27)$$

В результате в массивной звезде образуется кислородная сердцевина (кислородное звёздное ядро). В синтезированном кислороде возможна небольшая примесь ^{20}Ne и ^{24}Mg, появляющихся в реакциях ^{16}O(α, γ)^{20}Ne и ^{20}Ne(α, γ)^{24}Mg.

В звёздах средних масс (от 10 до 30 $M_\odot$) скорость реакции (26) не так велика, чтобы весь углерод успел превратиться в кислород – к моменту исчерпания гелия концентрации ^{12}C и ^{16}O сравнимы. Внутри таких звёзд образуются углеродно-кислородные (CO-) звёздные ядра. В звёздах малых масс ($< 10 M_\odot$) реакция (26) малоэффективна, и гелий превращается преимущественно в углерод.

Дальнейший ход термоядерной эволюции связан с реакциями горения углерода и кислорода. Электронный газ в CO-ядрах звёзд малых масс сильно вырожден, и поэтому горение углерода в ядерной реакции (9) обладает рядом особенностей. Во-первых, эффект сильного электронного экранирования способствует значительному увеличению скорости реакции, во-вторых, термоядерная реакция протекает в веществе с малой теплоёмкостью, и, в-третьих, давление вещества слабо зависит от температуры. Два последних обстоятельства приводят к тому, что после того как при $T \sim 10^9$ K начинается выделение энергии в реакции (9), температура быстро поднимается до $\sim 10^{10}$ K, скорость реакции резко увеличивается, а её продукты начинают взаимодействовать между собой и с исходными ^{12}C и ^{16}O; в результате горение углерода приобретает взрывной характер. Инициированная реакцией (9) разветвлённая цепь термоядерных реакций заканчивается образованием наиболее сильно связанных ядер группы железа (см. *Энергия связи*) с выделением энергии $\sim 10^{14}$ Дж/кг. Горение углерода в вырожденных звёздных ядрах считается наиболее вероятным механизмом взрывов по крайней мере части сверхновых звёзд. В массивных звёздах горение углерода происходит в невырожденном (или слабовырожденном) веществе, температура которого стабилизируется условиями гидростатического равновесия на уровне $(5–7)\cdot10^8$ K. Появляющиеся в реакции (9) α-частицы и протоны сразу же вступают в термоядерные реакции с ^{12}C, ^{16}O, ^{20}Ne, ^{23}Na и продуктами этих реакций. В конечном счёте, ядра ^{12}C превращаются преимущественно в ^{24}Mg с примесью ^{16}O, ^{20}Ne, ^{28}Si и некоторых других изотопов. Итог углеродных реакций можно грубо представить в виде

$$2^{12}\text{C} \to {}^{24}\text{Mg} + 13{,}93\ \text{МэВ}$$
$$(5{,}60\cdot10^{13}\ \text{Дж/кг}). \quad (28)$$

Последующее горение кислорода начинается при температуре $T \approx 2\cdot10^9$ K реакциями

$$^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} \to \begin{cases} ^{28}\text{Si} + \alpha + 9{,}59\ \text{МэВ} \\ ^{32}\text{S}^* \to {}^{31}\text{P} + \text{p} + 7{,}68\ \text{МэВ} \\ ^{31}\text{S} + \text{n} + 1{,}45\ \text{МэВ}. \end{cases} \quad (29)$$

Некоторый вклад могут вносить также другие каналы распада составного ядра ^{32}S*, например

$$^{32}\text{S}^* \to {}^{30}\text{Si} + 2\text{p},$$
$$^{32}\text{S}^* \to {}^{24}\text{Mg} + 2\alpha.$$

Цепочка вызванных процессом (29) ядерных превращений заканчивается образованием серы ^{32}S с примесью ^{28}Si и ^{36}Ar, Конечный результат можно приближённо записать в виде

$$2^{16}\text{O} \to {}^{32}\text{S} + 16{,}54\ \text{МэВ}$$
$$(4{,}99\cdot10^{13}\ \text{Дж/кг}). \quad (30)$$

После того как горение кислорода заканчивается и температура поднимается до $3\cdot10^9$ K, начинается заключительный этап термоядерной эволюции. Из-за большого кулоновского барьера между двумя ядрами ^{32}S их взаимодействие оказывается неэффективным. Однако при таких температурах γ-фотоны уже достаточно быстро (в звёздном масштабе времени) отщепляют от ^{32}S и других изотопов нейтроны, протоны и α-частицы, которые снова захватываются ядрами.

Вскоре после начала фоторасщепления серы в заметной концентрации в звёздном веществе остаётся наиболее устойчивый по отношению к фоторасщеплению изотоп ^{28}Si. Все остальные изотопы оказываются распределёнными в широком интервале массовых чисел A вплоть до элементов группы железа, причём их концентрации уменьшаются с ростом A. Характерное время термоядерной эволюции на этом этапе определяется скоростью фоторасщепления кремния. В звёздном веществе устанавливается состояние промежуточного равновесия (квазиравновесия) по ядерным реакциям: имеющиеся в небольших концентрациях протоны, нейтроны и α-частицы интенсивно реагируют с различными изотопами в реакциях типа (p, γ), (n, γ), (α, γ), (p, n), (p, α), (n, α), причём каждая из реакций такого типа с участием какого-либо изотопа (кроме ^{28}Si) приблизительно компенсируется обратной реакцией. В результате при заданной концентрации ^{28}Si концентрации других изотопов оказываются связанными с концентрациями n, p и α-частиц определёнными соотношениями (см. раздел «Статически равновесные ядерные реакции»).

По мере фоторасщепления ^{28}Si продолжается выделение энергии, температура возрастает, и в квазиравновесии всё большее значение приобретают изотопы группы железа. Этот процесс обычно называют α-процессом, поскольку наибольшие концентрации в условиях квазиравновесия имеют α-частичные изотопы, такие, как ^{28}Si, ^{32}S, ^{36}Ar, ^{40}Ca, ^{56}Ni и др., и в первом приближении его можно представить как перераспределение α-частиц между различными изотопами.

К концу α-процесса температура поднимается до $(4–5)\cdot10^9$ K и наступает конечное состояние термоядерной эволюции массивных звёзд – ядерное статистическое равновесие (NSE). Суммарное энерговыделение при переходе от ^{32}S к NSE составляет $\approx 2{,}5\cdot10^{17}$ эрг/г.

Внутри массивных звёзд образуются железные звёздные ядра, которые в конце концов теряют устойчивость и переходят в состояние гравитационного коллапса, заканчивающегося образованием нейтронных звёзд и, возможно, чёрных дыр. Первостепенную роль при этом начинают играть управляемые слабым взаимодействием реакции электронов, позитронов и нейтрино с ядрами, нейтронами и протонами. Такие ядерные реакции описываются теорией слабых взаимодействий. На свойства звёздного вещества начинают существенно влиять два обстоятельства:

вырождение электронного газа и присутствие ядер в различных возбуждённых состояниях. Эти обстоятельства учитываются при решении таких астрофизических проблем, как, например, происхождение химических элементов, нейтронизация звёздного вещества и нейтринное излучение звёзд.

Заключение

Термодинамические реакции, происходящие в глубоких недрах звёзд, обусловливают их эволюцию от стадии звёздообразования до конечных стадий взрыва и коллапса. Но существуют и другие физические условия, в которых ядерные реакции могут быть также источником энергии и причиной многих космических явлений. К таким явлениям относятся, например, вспышки новых звёзд, рентгеновские и гамма-барстеры. Их объясняют аккрецией вещества, состоящего главным образом из водорода и гелия, на поверхность белого карлика (новые звёзды) или на поверхность нейтронной звезды (барстеры). Попавшее на поверхность белого карлика или нейтронной звезды вещество сжимается и нагревается. В конце концов происходит термоядерная вспышка или даже взрыв с выбросом вещества – продуктов взрыва – в межзвёздное пространство. Ядерные реакции синтеза в рассматриваемом случае в основном совпадают с описанными выше реакциями, играющими основную роль в энергетике эволюционирующих звёзд. Тем не менее имеются отличия.

Ядерные реакции водородного горения в таких вспышках и взрывах протекают при существенно более высоких температурах. В этом случае горение водорода уже не ограничивается образованием ядер гелия, а изотопы элементов C, N, O теряют свою специфическую роль катализаторов. Водородное горение продолжается до образования элементов железного пика, а оба цикла – водородный и углеродный – утрачивают свой циклический характер. Это происходит, если температура вещества в начале водородного горения превышает $4 \cdot 10^8$ K. Несмотря на усложнение картины термоядерного горения, основные методы вычисления скоростей реакций синтеза в этих случаях остаются прежними. Сравнение расчётов термоядерных вспышек с наблюдениями новых звёзд показывает, в частности, что аккрецирующее вещество должно содержать в повышенной концентрации ядра C, N, O (более 15% весовой концентрации против менее 1% в солнечном веществе). У рентгеновских барстеров вспышка обусловлена термоядерным горением гелия, так что в аккрецирующем веществе существенно преобладает гелиевый компонент.

Кинетическая энергия частиц, необходимая для осуществления ядерных реакций, конечно, не обязательно связана с тепловым движением частиц. Тем более не обязательно равновесное (максвелловское) распределение частиц по скоростям. Если не ограничиваться рассмотрением только глубоких звёздных недр, то в определённых астрофизических условиях, в особенности в разреженных оболочках и атмосферах звёзд, могут действовать неравновесные газодинамические и электродинамические процессы «холодного» ускорения ядер и элементарных частиц. Приобретя достаточно большую энергию, ускоренные частицы могут осуществить ядерную реакцию синтеза не термоядерного характера.

Не исключены в астрофизических условиях и ядерные реакции деления. Процессы деления ядер играют, по-видимому, существенную роль при выбросе вещества из глубоких слоёв нейтронных звёзд на определённых стадиях их эволюции. Это связано с тем, что вещество внутри нейтронных звёзд состоит, по всей вероятности, из свободных нейтронов, сильно нейтронизованных ядер (с очень большими значениями массовых чисел A) и релятивистских вырожденных электронов. Попав при выбросе в разреженное вещество, эти ядра после нескольких последовательных β-распадов оказываются неустойчивыми по отношению к делению. Такой процесс может быть существенным в природе гамма-барстеров, а также в нуклеосинтезе самых тяжёлых из существующих атомных ядер. В синтезе тяжёлых элементов, расположенных за железным пиком, очень важную роль играют ядерные реакции с нейтронами.

ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ – силы, действующие между нуклонами, т. е. протонами и нейтронами – частицами, из которых состоят атомные ядра. Ядерные силы представляют собой проявление сильного взаимодействия – одного из фундаментальных взаимодействий элементарных частиц. Сведения о ядерных силах получены из данных о рассеянии нуклонов на нуклонах, а также из исследований свойств атомных ядер (связанных состояний нуклонов).

Само существование атомных ядер заставляет предположить, что в ядерных силах имеется существенное притяжение, которое и обеспечивает энергию связи нуклонов в ядрах порядка нескольких МэВ на нуклон. Кроме того, с увеличением числа нуклонов A в ядре энергия связи на нуклон остаётся примерно постоянной, а объём ядра растёт пропорционально A. Про системы с такими свойствами говорят, что в них имеется насыщение сил, и потому ядерные силы называют насыщающими. Они приводят к возможности существования ядерной материи (*см. Нейтронные звёзды*), плотность энергии которой не зависит от полного числа нуклонов и составляет примерно 16 МэВ на нуклон (если пренебречь кулоновским и гравитационным взаимодействиями). Грубо можно представить себе, что ядерные силы – это притяжение только между нуклонами – ближайшими соседями, поэтому и энергия связи ядра пропорциональна числу нуклонов в ядре.

Обычно предполагают, что потенциал ядерных сил в произвольной системе нуклонов можно свести к сумме потенциалов парных сил, т. е. сил, действующих между парой нуклонов (влиянием всех остальных нуклонов на данную пару пренебрегают). Хотя кроме парных взаимодействий нуклонов наверняка существуют многочастичные нуклонные взаимодействия, последние проявляются значительно слабее, и их пока нельзя однозначно выделить в эксперименте. Поэтому под ядерными силами обычно подразумевают парные ядерные силы.

Совершенно иная ситуация возникает в системе, где действуют преимущественно кулоновские или гравитационные силы. Из-за того, что потенциал этих сил очень медленно спадает с расстоянием r между частицами (как $1/r$), во взаимодействии с данной частицей принимают участие не только ближайшие соседи, но и все частицы системы. Поэтому энергия взаимодействия растёт гораздо быстрее, чем число частиц, и насыщения сил не возникает. Ненасыщенные свойства гравитационной силы и служат причиной гравитационного коллапса массивных звёзд.

Ядерные силы описывают при помощи потенциала, который является функцией расстояния между нуклонами. Но ядерный потенциал зависит от r гораздо сложнее, чем кулоновский или гравитационный. Например, на расстоянии 1 ферми ($=10^{-13}$ см) ядерное притяжение максимально и превышает кулоновское взаимодействие (потенциал) в несколько десятков раз, а гравитационное – в 10^{38} раз, однако с увеличением расстояния до $r=6$ ферми ядерное притяжение убывает в 200 раз, тогда как кулоновское и гравитационное – только в 6 раз.

Из-за такого различия ядерных, кулоновских и гравитационных сил их относительный эффект зависит от полного числа частиц в системе. В ядрах с $A \leqslant 300$ гравитационные силы несущественны, а кулоновские силы отталкивания пропорциональны квадрату числа протонов (Z^2) и уменьшают полную энергию связи примерно на 25% для средних и тяжёлых ядер ($A \geqslant 100$, $Z \sim A/2$). Кулоновские силы приводят также к спонтанному делению тяжёлых ядер, потому что суммарная кулоновская энергия отталкивания в ядрах – продуктах деления – меньше, чем в исходном ядре. Эти же кулоновские силы делают невозможным существование равновесной ядерной материи с примерно одинаковым числом протонов и нейтронов, поскольку энергия связи за счёт ядерных

сил растёт как A, а отталкивание за счёт кулоновских сил — как $Z^2 \sim A^2$.

Нейтронная ядерная материя в отсутствие гравитационных сил не может существовать, так как, по теоретическим оценкам, притяжения между нейтронами чуть-чуть не хватает для образования связанного состояния. С ростом числа нуклонов в системе, а следовательно, её массы, гравитационные силы становятся всё более важными. При суммарной массе нуклонов, сравнимой с массой нейтронной звезды ($\sim M_\odot$), гравитационная энергия превышает 15% массы покоя всех нуклонов (в энергетическом выражении); при этом гравитационные силы создают давление, необходимое для существования нейтронной материи в центре нейтронной звезды.

Ещё одно свойство потенциала ядерных сил состоит в том, что если кулоновский и гравитационный потенциалы в нерелятивистском приближении зависят только от зарядов и масс частиц соответственно, то потенциал ядерных сил зависит от гораздо большего числа переменных. Определим эти переменные. Нуклоны обладают спином, зарядом Q и движутся относительно друг друга с орбитальным моментом импульса L. Кроме того, за счёт ядерных сил возможен обмен зарядом между протонами (p) и нейтронами (n). Количество различных членов в потенциале ядерных сил зависит от всех комбинаций переменных, но уменьшается за счёт изотопической и вращательной инвариантности потенциала ядерных сил. Согласно изотопической инвариантности, существуют два различных типа ядерного взаимодействия: одно для симметричных по заряду состояний пары нуклонов pp или nn (ему соответствует так называемый изоспин $I=1$), другое для антисимметричных (np, ему соответствует изоспин $I=0$).

Согласно вращательной инвариантности, потециал ядерных сил зависит от ориентации спинов нуклонов относительно друг друга и определённого направления в системе: спины могут быть параллельными или антипараллельными, соответственно суммарный спин S равен единице или нулю. При $S=1$ в потенциале ядерных сил имеется зависимость от ориентации спина относительно направления линии, соединяющей нуклоны. Соответствующий член в потенциале ядерных сил называют потенциалом тензорных сил. Кроме того, спин $S=1$ может быть по-разному ориентирован относительно плоскости орбиты нуклонов. Член в потенциале, содержащий эту зависимоть, называют потенциалом спин-орбитальных сил. Таким образом, основные составляющие части потенциала ядерных сил включают четыре типа потенциала центральных сил (т. е. зависящих только от r — расстояния между нуклонами, но не от направления их движения): два по значению полного спина и два по значению изоспина. Имеются также два тензорных потенциала ($I=0, 1$) и два спин-орбитальных ($I=0, 1$). Кроме того, потенциал ядерных сил может зависеть от L^2 и от P^2 — квадрата импульса нуклонов.

Прямое экспериментальное определение парных ядерных сил состоит в опытах по рассеянию нуклонов (протонов или нейтронов) на нуклонной мишени. Для определения зависимости ядерных сил от ориентации спинов требуются опыты с поляризованными нуклонами и поляризованными мишенями. Эти опыты выполнены, и имеются прецизионные данные в интервале энергий до 1000 МэВ (в лабораторной системе отсчёта — системе координат, связанной с покоящимся нуклоном). На основании экспериментальных данных можно утверждать следующее.

1. Все члены в потенциале ядерных сил сравнимы по величине. Главным остаётся потенциал центральных сил; спин-орбитальные и тензорные силы оказываются меньше, но всего в несколько раз. Для сравнения заметим, что для кулоновских сил в атоме зависящая от спинов часть потенциала составляет около 1% от центральной части ($\sim Q_1 Q_2 / r$).

2. Ядерные силы обладают конечным радиусом действия, поэтому их называют короткодействующими по сравнению с кулоновскими или гравитационными.

3. На расстоянии 1–1,5 ферми центральная часть взаимодействия является притягивающей — глубина потенциала притяжения (потенциальной ямы) составляет 30–50 МэВ, однако по законам квантовой механики энергия связанного состояния оказывается гораздо меньше (она отличается от глубины ямы на среднюю кинетическую энергию, равную примерно $\hbar^2/mr_0^2$, где r_0 — ширина ямы притяжения, m — масса нуклона). Из-за малого радиуса действия ядерных сил (1,5–2 ферми) притяжение оказывается достаточным для возникновения только одного связанного состояния протона и нейтрона с параллельными спинами (дейтрон или дейтон) с энергией связи 2,2 МэВ. Два нейтрона (или два протона) вообще не образуют связанного состояния. Для сравнения укажем, что в молекуле водорода над основным состоянием возникает целый спектр возбуждённых колебательных и вращательных состояний.

Заметим ещё, что энергию ядер или ядерной материи нельзя определить как энергию связи пары (2,2 МэВ), умноженную на полное число пар или число возможных связей; правильный расчёт гораздо сложнее и, например, приводит к большой энергии связи среднего по массе ядра, даже когда энергия связи пары равна нулю.

4. При больших энергиях нуклонов в экспериментах по рассеянию частиц (что эквивалентно малым расстояниям, $r<1$ ферми) все компоненты ядерных сил дают сильное отталкивание («кор», от англ. *core* — сердцевина). Величина потенциала ядерных сил на достигнутых малых расстояниях составляет около 1000 МэВ = 1 ГэВ. Наличие кора оказывается решающим фактором для насыщения ядерных сил. Если бы величина отталкивающей части потенциала в коре была всего в три раза меньше, то нуклоны могли бы коллапсировать на один или несколько центров, и ядерной материи в обычном понимании не существовало бы. Поведение потенциала центральных сил V_r как функции r несколько напоминает поведение потенциала двух нейтральных атомов, отталкивающихся на малом расстоянии и притягивающихся на большом. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что нуклоны взаимодействуют как весьма сложные объекты.

Теоретическая интерпретация экспериментов по исследованию ядерных сил осложнена тем, что ещё не создана последовательная теория сильных взаимодействий. Разработка теории ядерных сил была начата в 1935 г. японским физиком Х. Юкавой, который предположил, что эти силы возникают за счёт того, что нуклоны обмениваются π-мезоном с массой 140 МэВ (π-мезон был открыт 10 лет спустя). Такой механизм объясняет конечный радиус действия ядерных сил (он оказывается равным около $\hbar/m_\pi c \approx 1{,}4$ ферми) и приблизительную величину притяжения на больших расстояниях ($r > 1{,}5$ ферми).

В течение 1960-х гг., когда были открыты более тяжёлые мезоны (ρ и ω), их также включили в схему обмена между нуклонами. Это позволило качественно объяснить возникновение спин-орбитальных сил и отталкивательного кора.

Для объяснения притяжения нужной силы на расстоянии около 1 ферми вводятся гипотетические скалярные мезоны. В настоящее время вместо скалярных мезонов вводится обмен парой скоррелированных π-мезонов.

Расчёт энергий связи ядер ^{3}H, ^{3}He, ^{4}He с использованием парных потенциалов проводится теперь с точностью около 3%. Оказалось, что такой расчёт систематически приводит к недосвязанности ядер (по сравнению с экспериментом). Например, для ^{3}H и ^{3}He расчёт даёт энергию связи на 20% меньше экспериментальной величины, для ^{4}He — на 30–40% меньше. Расчёты сечений реакций в трёх-четырёхнуклонных системах в среднем лучше согласуются с опытом в области малых энергий (до 20 МэВ).

Всё это в сочетании с трудностью теоретического объяснения величины кора заставляет признать теоретическую кар-

тину ядерных сил не вполне удовлетворительной.

Развитая в последние десятилетия кварк-глюонная картина строения частиц, участвующих в сильных взаимодействиях (адронов), представляет нуклон как систему из трёх валентных кварков, взаимодействующих за счёт обмена глюонами и находящихся внутри некоторого «пузыря» (обычно называемого кварковым мешком), окружённого давящим на него снаружи вакуумом. В такой картине ядерных сил на малых расстояниях доминирует механизм слипания двух нуклонных мешков с образованием общего шестикваркового мешка. Поэтому два нуклона не могут быть рядом, на расстоянии, меньшем размеров общего мешка, что позволяет просто и количественно точно объяснить возникновение отталкивательного кора в ядерных силах, а также и ряд других характеристик ядерных сил. Несомненно, кварк-глюонная картина ядерных сил наиболее фундаментальна, однако нуждается в дальнейшем развитии.

ЯДРО АТОМНОЕ – центральная массивная часть атома. Всякий атом состоит из ядра, содержащего основную долю массы атома, и электронной оболочки. У наиболее лёгкого изотопа атома водорода ядро представляет собой элементарную частицу протон, а у всех остальных элементов (включая тяжёлые изотопы водорода – дейтерий и тритий; см. ниже) ядра состоит из нуклонов – протонов и нейтронов. Основными характеристиками атомного ядра служат массовое число A, равное общему числу нуклонов, и положительный электрический заряд Z, равный числу протонов (если заряд выражать в единицах элементарного заряда, т. е. заряда электрона). Число нейтронов в ядре $N=A-Z$.

Число Z определяет атомный номер элемента (его место в периодической системе элементов Менделеева). Ядра атомов с одинаковыми Z, но различными A называют изотопами. Например, изотопами являются водород (^{1}H), дейтерий (^{2}H или D) и тритий (^{3}H или T) с $Z=1$. Ядра атомов с одинаковыми A, но различными Z, например ^{3}He и ^{3}H, называют изобарами. Все разновидности атомных ядер называют нуклидами.

В текстах и формулах атомные ядра принято представлять химическими символами соответствующих элементов с двумя численными индексами, верхний из которых указывает массовое число, а нижний – атомный номер (заряд ядра). Индексы эти принято писать слева от символа элемента, например, $^4_2$He. Впрочем, нижний индекс часто опускают (^{4}He), так как химический символ (соответствующий элементу с определённым порядковым номером в таблице Менделеева) сам по себе уже указывает заряд ядра.

Протоны и нейтроны в ядре атома связаны ядерными силами. Радиус действия ядерных сил имеет тот же порядок величины, что и размеры ядра ($\sim 10^{-13}$ см). Плотность вещества атомного ядра $\sim 10^{14}$ г/см^3. Наряду с ядерными силами, связывающими нуклоны в ядро, между протонами действуют электрические силы отталкивания. Они малы в лёгких ядрах и значительны в тяжёлых (с большим числом протонов). Ядра характеризуются энергией связи $\Delta E_{св}$, равной по абсолютной величине ΔMc^2, где ΔM – дефект массы. Средняя энергия связи на нуклон для средних и тяжёлых ядер составляет 7–8 МэВ. При этом энергия, необходимая для отделения одного нуклона от ядра, меняется от 4 до 11–14 МэВ и обнаруживает заметную периодичность: ядра с числом нейтронов (или протонов) 2, 8, 20, 28, 50, 82 и 126 имеют наибольшую энергию связи, наиболее устойчивы в ядерных реакциях, наиболее распространены в природе. Их называют магическими ядрами. Существование магических атомных ядер нашло объяснение в оболочечной модели ядер, основанной на квантовой теории движения нуклонов в ядре.

Атомное ядро, подобно элементарным частицам, обладает собственным моментом количества движения – спином, значение которого может быть целочисленным (в частности, нулём) – при чётном A или полуцелым – при нечётном A, и магнитным моментом. Взаимодействием магнитного момента ядра с магнитным полем электронов атома объясняется так называемая сверхтонкая структура линий атомных спектров (расщепление линий на ряд очень близко расположенных компонентов).

Все ядра атомов делятся на стабильные и нестабильные (радиоактивные). Нестабильные ядра характеризуются временем жизни или периодом полураспада. Для разных ядер возможны β^-- и β^+-распады, K-захват, α-распад, спонтанное деление. Возбуждённые ядра, получившие дополнительную энергию в результате, например, столкновения с другими частицами, в ряде случаев приобретают способность к распаду. Столкновение лёгких ядер, обладающих достаточной энергией для преодоления действующих между ними сил электрического отталкивания (кулоновского барьера), может привести к слиянию ядер и выделению значительной энергии (*см. Ядерные реакции*). Реакции слияния ядер (синтеза новых ядер) играют важнейшую роль как источники энергии звёзд. Ядерные реакции на ранних стадиях эволюции Вселенной, а затем в звёздах и космической среде положены в основу современной теории происхождения химических элементов.

ЯДРО ГАЛАКТИКИ – центральная область крупной спиральной или эллиптической галактики, выделяющаяся высокой яркостью. Точного определения этот термин не имеет. Первоначально астрономы называли «ядром» центральный звездообразный источник света, заметный на фотографиях некоторых крупных галактик. У близких галактик это область размером порядка 10 пк. Позже специалисты разных профилей стали понимать под ядром области разного размера – от долей парсека до килопарсеков, в зависимости от применяющейся наблюдательной техники и изучаемых с её помощью процессов. Поэтому, говоря о ядре галактики, необходимо уточнять, область какого размера имеется в виду.

Основная масса ядра галактики, как правило, содержится в звёздах. Очень часто в ядрах наблюдаются газовые диски радиусом в сотни парсеков, вращающиеся вокруг центра галактики. Многие ядра галактик (в том числе и нашей Галактики) являются областями интенсивного звёздообразования. У ряда сравнительно близких галактик найдена очень высокая концентрация массы в ядре, позволяющая предположить существование там сверхмассивных чёрных дыр с массой до нескольких миллиардов масс Солнца. Несколько процентов всех спиральных и эллиптических галактик обладает активными ядрами. К ним относятся, например, сейфертовские галактики и радиогалактики. Активность ядер галактик имеет различные проявления и связана с выделением большого количества энергии в форме мощного электромагнитного излучения, энергичных элементарных частиц и бурных движений облаков газа со скоростями в тысячи км/с. Природа активности ядер галактик до конца не разгадана. Предполагают, что она связана с накоплением межзвёздного газа в ядре и его аккрецией на сверхмассивную чёрную дыру.

ЯНСКИЙ (jansky, Jy) – внесистемная единица спектральной плотности потока излучения, применяемая в астрономии (в основном в радиоастрономии). Названа в честь американского инженера Карла Янского (1905–1950), открывшего в 1931 г. космическое радиоизлучение. 1 Ян = 10^{-26} Вт/(м^2·Гц); 1 Jy = 10^{-26} W m^{-2} Hz^{-1}. Эта единица была принята в 1970 г. Международным астрономическим союзом (IAU). В радиоастрономии часто используют дольную единицу «миллиянский»: 1 мЯн = 10^{-29} Вт/(м^2·Гц).

ЯНСКИЙ, Карл Гут (Jansky, Karl Guthe) (22.10.1905, Норман, шт. Оклахома, США, – 14.02.1950, Ред-Бэнк, шт. Нью-Джерси, США) – американский радиоинженер, первооткрыватель космического радиоизлучения. В 1927 г. окончил Висконсинский университет, затем преподавал там же. С 1928 г. инженер в лабораториях телефонной компании «Белл» в Нью-

Джерси. В 1931 г., изучая на Холмделском полигоне фирмы «Белл» атмосферные радиопомехи в метровом диапазоне волн (14 м), обнаружил постоянный радиошум неизвестного происхождения, источник которого он отождествил в апреле 1933 г. с Млечным Путём. В июле 1935 г. представил статью, в которой указывал, что «звёздный шум» имеет наибольшую интенсивность, когда антенна направлена на центральную часть Млечного Пути. Эта работа не получила отклика ни среди астрономов, ни среди радиоинженеров, и в 1938 г. он прекратил дальнейшие исследования в этой области. Занимался разработкой микроволновой радиоаппаратуры. Пионерские радиоастрономические работы Янского были продолжены в начале 1940-х гг. Г. Ребером, Дж. С. Хеем, Дж. Сатуортом и др. Радиоастрономия окончательно оформилась как одна из важнейших отраслей астрономии лишь после окончания Второй мировой войны.

Именем Янского названа единица спектральной плотности потока излучения, применяемая в основном в радиоастрономии. Его имя занесено на карту Луны.

ЯНУС (S X, Janus) — естественный спутник Сатурна. Автор открытия — Одуен Дольфюс (Audouin Dollfus). Большая полуось орбиты 151,46 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,694660342 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0068. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,163°. Размер 203×185×153 км. Масса $1{,}9 \cdot 10^{18}$ кг. Средняя плотность 0,63 г/см^3. Ускорение свободного падения у поверхности около 1,5 см/с^2. Альбедо около 70%. Блеск $14{,}4^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 24″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 78 К.

Датой открытия Януса считают 15 декабря 1966 г., когда его заметил французский астроном О. Дольфюс, и спутник получил предварительное обозначение S/1966 S2. Правда, его изображение обнаружилось на снимках, которые ещё 29 октября 1966 г. получил другой французский астроном Jean Texereau, но он не заметил спутник. Затем 18 декабря 1966 г. американец Ричард Уокер (R. Walker) тоже наблюдал спутник на орбите Януса, но что это был за спутник? Дело в том, что Янус движется практически по той же орбите, что и другой спутник Сатурна — Эпиметей. Принято считать, что Дольфюс открыл Янус, а Уокер — Эпиметей.

В октябре 1978 г. в работе Стива Ларсона (Stephen M. Larson) и Джона Фонтейна (John W. Fountain) было показано, что это два разных спутника, движущихся по почти совпадающим орбитам, радиусы которых различаются примерно на 100 км, т. е. меньше, чем на размер самих спутников. Но они не сталкиваются, а просто обмениваются при сближении орбитами за счёт взаимного тяготения: один ускоряется, другой тормозится. Этот обмен происходит раз в 4 года (земных). Поэтому Ларсон и Фонтейн наряду с Уокером считаются авторами открытия этих двух спутников. Более того, окончательно проблема была решена только благодаря наблюдениям межпланетных зондов: 1 сентября 1979 г. детекторы космических частиц «Пионера-11» отметили «тень» от Януса, а прямые снимки спутников в 1980 г. передал «Вояджер-1».

ЯПЕТ (S VIII, Iapetus) — естественный спутник Сатурна. Джованни Доменико Кассини открыл его 25 октября 1671 г. Впервые заметив спутник с западной стороны от Сатурна, Кассини надеялся обнаружить его через несколько месяцев с восточной стороны, но не смог. На следующий год история повторилась: с западной стороны от планеты спутник был виден, а с восточной — нет. Наконец, в 1705 г. с помощью более сильного телескопа Кассини смог увидеть этот странный спутник и на востоке, где его блеск оказался почти на 2 звёздные величины тусклее.

Уже в наше время выяснилось, что Япет движется вокруг Сатурна подобно Луне вокруг Земли: его осевое вращение и орбитальное обращение происходят с одинаковой угловой скоростью, т. е. к Сатурну всегда обращено одно и то же полушарие спутника. Поэтому и относительно направления движения по орбите он тоже ориентирован постоянно: одно полушарие ведущее (переднее), а второе — ведомое (заднее, или отстающее). Орбитальное движение у спутника прямое — он движется по орбите в направлении вращения планеты, а значит — в направлении вращения Солнечной системы в целом. Поэтому, наблюдая Япет к востоку от Сатурна, мы видим его ведущее полушарие, а к западу — ведомое. Существенная разница в блеске говорит о том, что эти два полушария сильно различаются по яркости: у заднего полушария светлая поверхность, а у переднего — тёмная. Этой «двуликостью» Япет отличается от других спутников.

Большая полуось орбиты Япета 3560,82 тыс. км. Орбитальный период 79,321 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0286. Наклонение орбиты к экватору планеты 15,5°. Размеры 1492×1492×1424 км. Масса $1{,}8 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,09 г/см^3. Альбедо от 0,05 до 0,5. Видимый блеск $10{,}2–11{,}9^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 9′36″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. По данным инфракрасных камер «Кассини», температура поверхности у экватора днём в тёмных областях 129 К, а в светлых 113 К. Ускорение свободного падения у поверхности около 22 см/с^2. Вторая космическая скорость у поверхности 573 м/с.

Главная загадка этого спутника — его двуцветная раскраска. Одно полушарие как будто бы покрыто чёрной копотью, а второе — свежевыпавшим снегом. Правда, тёмные и светлые области распределены не совсем по полушариям: светлым веществом покрыты ещё и полярные области спутника, а тёмное вещество вдоль экваториальной зоны заходит в заднее, светлое, полушарие. Так что правильнее было бы сравнить спутник с теннисным мячом, сшитым из двух кусков разного цвета — белого и чёрного. Впрочем, тёмное вещество не совсем чёрное: оно имеет красновато-коричневый оттенок и, возможно, органический состав.

Остаётся неясным, возникло ли тёмное вещество вследствие процессов на самом Япете, или же попало извне. Одна из основных теорий образования двух различных видов поверхности Япета — самоподдерживающийся процесс испарения водяного пара с тёмной половины спутника и выпадение этого пара в качестве инея на светлой его стороне. Температура тёмного полушария около −144 °C. Такая температура даёт возможность для медленной сублимации водяного льда (прямого перехода из кристаллического состояния в газообразное). Пары воды образуют разреженную атмосферу вокруг всего спутника, А поскольку в светлом полушарии Япета температура ниже, пары воды тонким слоем инея оседают на поверхность, делая её ещё более светлой. Наличие белых полярных шапок не требует объяснения. А различие полушарий в экваториальной области могло возникнуть как результат небольшой начальной разницы в альбедо под действием положительной обратной связи (тёмные участки нагреваются Солнцем сильнее светлых).

У Япета немало и других загадок. Например, в декабре 2004 г. «Кассини» передал снимки Япета, на которых виден уникальный горный хребет, кольцом опоясывающий экватор спутника. Его высота достигает 13 км, ширина — 20 км, протяжённость — около 1300 км. Из-за этого хребта Япет напоминает грецкий орех или целлулоидный мячик, склеенный из двух одинаковых половинок. Происхождение этого горного кольца не ясно. Согласно одной из гипотез, у Япета был собственный небольшой спутник, который оказался разорван приливным влиянием Япета: из этого вещества сформировалось кольцо, которое постепенно осело на экватор Япета.

ЯРКОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА — параметр, характеризующий спектральную плотность потока излучения тел, имеющих непрерывный спектр. Яркостная температура (T_ν или T_b) равна температуре абсолютно чёрного тела того же углового разме-

ра Ω, что и излучающее тело, и дающего такой же поток излучения на данной длине волны λ. В общем случае яркостная температура определяется по формуле Планка. В спектральной области, где применим закон Рэлея–Джинса излучения, $T_я = \lambda^2 F_\lambda/(2k\Omega)$, где F_λ – спектральная плотность потока излучения на волне λ.

В случае теплового излучения яркостная температура связана с термодинамической температурой излучающего тела T соотношением: $T_я = T[1 - \exp\{-\tau(\lambda)\}]$, где $\tau(\lambda)$ – оптическая толща. Если на данной длине волны излучающее тело непрозрачно ($\tau \gg 1$), то яркостная температура равна T. Для прозрачных излучающих тел $T_я < T$. Понятие яркостной температуры применяют при изучении Солнца, звёзд, газовых туманностей межзвёздной среды, планет и других космических объектов.

Примеры: яркостная температура Солнца на волне λ = 450 нм около 6200 К, на волне λ = 650 нм около 6000 К. Собственное излучение областей нейтрального водорода межзвёздной среды соответствует $T_я \sim 100$ К (λ = 21 см). Для Венеры $T_я \approx 600$ К (λ = 3,15 см), для Юпитера $T_я \approx 200$ К (λ = 8–14 мкм). Яркостные температуры источников нетеплового излучения могут быть очень велики: например, у пульсаров они достигают 10^{31} К.

ЯРКОСТЬ – фотометрическая величина, характеризующая излучательную способность протяжённых тел в определённом направлении. Яркость тела в данном направлении определяется энергией, излучаемой в единицу времени внутри единичного телесного угла элементом поверхности тела, проекция которого на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению, имеет единичную площадь. Единицей яркости в Международной системе единиц СИ служит «нит» (сокр. от лат. *niteo* – блещу, сверкаю; обозначение: нт, nt) – это яркость поверхности, каждый квадратный метр которой излучает в перпендикулярном к ней направлении в пределах угла 1 стерадиан (ср) поток, равный 1 люмену. Фактически нит – это другое название единицы СИ измерения яркости, имеющей размерность «кандела на квадратный метр»: 1 нт = 1 кд/1 м^2. Например, типичная яркость дисплея компьютера заключена в пределах от 200 до 300 нитов. Связь с другими единицами (стильб, ламберт) такова: 1 нт = $9{,}95 \cdot 10^{-5}$ сб = $3{,}13 \cdot 10^{-4}$ Лб.

В астрономии яркость часто измеряют видимой звёздной величиной поверхности с телесным углом площадью в 1 квадратную секунду дуги (= $2{,}35 \cdot 10^{-11}$ ср). Яркость ночного неба составляет $m_V \approx 21{,}6$ с квадратной секунды, т. е. $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ нит.

ЯРНСАКСА (S L, Jarnsaxa) – естественный спутник Сатурна. Его открыли Скотт Шеппард и др. в 2006 г. Большая полуось орбиты 18,557 млн км. Орбитальный период 914,292 сут. Эксцентриситет орбиты 0,192. Наклонение орбиты к эклиптике 163°. Орбитальное движение обратное (против направления вращения планеты). Размер около 6 км. Видимый блеск $24{,}7^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты 59′ 13″ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты.

ЯРЧАЙШИЕ ЗВЁЗДЫ – самые яркие звёзды на ночном небе, хорошо видимые невооружёнными глазом. Их ещё называют навигационными звёздами, поскольку они видны даже не в самые тёмные ночи или сквозь слабую дымку облаков, что облегчает ориентацию по ним. Почти все ярчайшие звёзды имеют собственные имена (главным образом, арабского происхождения), дошедшие до нас с глубокой древности. Пять самых ярких из них: Сириус (α Большого Пса), Канопус (α Киля), Толиман (α Кентавра), Арктур (α Волопаса) и Вега (α Лиры).

ЯСЛИ – рассеянное звёздное скопление, расположенное в созвездии Рак. Латинское название этого скопления – Praesepe – имеет несколько значений: стойло, хлев, ясли, кабак, притон. Другие его названия и обозначения – Улей, Beehive Cluster, M44, NGC 2632, Cr 189. Скопление расположено на расстоянии около 180 пк (590 св. лет) от Солнца. В нём насчитывается более 200 звёзд, самые яркие из которых имеют блеск приблизительно шестой звёздной величины (точнее $6{,}3^m$), т. е. они с трудом различимы невооружённым глазом. Интегральная звёздная величина скопления, т. е. суммарный блеск всех его звёзд, составляет $3{,}1^m$, но поскольку на небе это скопление занимает большую площадь (угловой диаметр 1,5°), сильного впечатления оно не производит. По многим параметрам Ясли похожи на Гиады, например имеют одинаковый с ними возраст (660 млн лет), а также направление и скорость движения в пространстве. Это может означать, что оба скопления сформировались в одном межзвёздном облаке.

ЯЧЕИСТАЯ СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ – крупномасштабная неоднородность пространственного распределения галактик и скоплений галактик, большая часть которых сосредоточена в «стенках ячеек», практически пустых внутри. Характерный размер ячеек около 100 Мпк, толщина стенок 3–4 Мпк. Отдельные фрагменты ячеистой структуры иногда называют сверхскоплениями галактик. Часто сверхскопления имеют сильно вытянутую форму, наподобие нитей, поскольку образованы пересечением стенок ячеек. Наиболее крупные и богатые скопления галактик располагаются в узлах, образованных пересечением нитей (рёбер) ячеек. Самые протяжённые области высокой пространственной плотности галактик обычно называют «великими стенами». Например, в середине 1980-х гг. обзор красных смещений тысяч галактик, предпринятый Гарвард-Смитсоновским астрофизическим центром (США), выявил первую Великую стену длиной не менее 700 млн св. лет (215 Мпк). К концу 1990-х гг. Слоановский цифровой обзор неба (SDSS) охватил значительно бóльшую область Вселенной и, в частности, выявил вторую Великую стену длиной более миллиарда св. лет (307 Мпк).

ЯЩЕРИЦА – небольшое северное созвездие. Расположено между Лебедем и Андромедой; ярких звёзд не имеет, хотя северная его часть лежит в Млечном Пути. Очень необычный объект нашёл в этом созвездии в 1929 г. немецкий астроном Куно Гоффмейстер (1892–1968), основатель Зоннебергской обсерватории, персонально открывший около 10 тыс. переменных звёзд! Вначале и этот объект он принял за переменную звезду и обозначил как BL Lac. Но выяснилось, что это очень далёкая галактика, активностью своего ядра напоминающая квазары, но, в отличие от них, не имеющая линий в спектре и демонстрирующая очень сильную (до 100 раз) переменность блеска. Позже были открыты и другие объекты такого рода; некоторые из них (RW Tau, AP Lib и др.) тоже сначала считались переменными звёздами. Астрономы подозревают, что это активные ядра очень крупных эллиптических галактик. Теперь объекты такого типа называют лацертидами (от латинского названия созвездия – Lacerta).

Телескопы

Крупнейшие телескопы-рефракторы (с объективами от 30 дюймов)

Телескоп / обсерватория	Место	Диаметр, см	Фокус, м	Год начала работы	Примечания
Великий телескоп Парижской выставки (горизонтальный)	Париж, Всемирная выставка 1900 г.	125	57	1900	С 2-метровым сидеростатом. Неудачный. Разобран в 1900 г.
40-дюймовый, Йеркская обсерватория	Уильямс-Бэй, шт. Висконсин, США	102	19	1897	Крупнейший действующий
Шведский солнечный телескоп (вертикальный, вакуумный)	о. Пальма (Канарские о-ва), Испания	100	15	2002	Однолинзовый кварцевый неахроматический объектив; система адаптивной оптики
36-дюймовый «Джеймс Лик», Ликская обсерватория	Гора Гамильтон, Калифорния	91	17	1888	
Большой рефрактор Парижской обсерватории	Медон, Франция	83	16	1891	Двойной (83 см + 62 см)
Потсдамский рефрактор, Астрофизическая обсерватория	Потсдам, Германия	80	12	1899	Двойной (80 см + 50 см)
30-дюймовый «Уильям Зо», Аллегенская обсерватория	Питтсбург, Пенсильвания, США	76	14	1914	Фотографический
30-дюймовый, Пулковская обсерватория	Санкт-Петербург, Россия	76	14	1885	Разрушен в 1941 г. Сохранился объектив работы А. Кларка
30-дюймовый «Бишофсгейм». Обсерватория Кот-д'Азур	Ницца, Франция	76	18	1886	

Примечание: более полный список см. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_refracting_telescopes.

Крупнейшие телескопы-рефлекторы (эквивалентный диаметр от 4 м)

Диаметр, м	Телескоп / Обсерватория		Место	Год начала работы	Примечания
8,4×2=11,8	Большой бинокулярный телескоп (Large Binocular Telescope, LBT)		Маунт-Грэхем, Аризона, США	2008	Два сотовых зеркала на одной монтировке
10,4	Большой Канарский телескоп (Gran Telescopio Canarias, GTC)		О-в Пальма, Канарские острова, Испания	2006	Составное зеркало из 36 сегментов
10,0	«Кек-2» (Keck II)	Могут работать как интерферометр	Мауна-Кеа, Гавайи, США	1996	Составные зеркала из 36 сегментов
10,0	«Кек-1» (Keck I)			1993	
9,2	Южно-африканский большой телескоп (Southern African Large Telescope, SALT)		Сазерлэнд, Южная Африка	2005	Составное зеркало из 91 сегмента, размер 11×9,8 м
9,2	«Хобби-Эберли» Hobby-Eberly Telescope (HET)		Обсерватория Мак-Дональд, Техас, США	1997	Составное зеркало из 91 сегмента, размер 11×9,8 м
8,3	Субару (Subaru, NLT) Национальная обсерватория Японии		Мауна-Кеа, Гавайи, США	1999	Зеркало — тонкий мениск
8,2	Антy (Antu)	Very Large Telescope (VLT), European Southern Observatory (ESO)	Серро-Паранал (Чили), Европейская южная обсерватория	1998	Зеркало — тонкий мениск. Все телескопы на одной площадке, могут работать как интерферометр
8,2	Куйен (Kueyen)			1999	
8,2	Мелипаль (Melipal)			2000	
8,2	Йепун (Yepun)			2001	
8,1	Джемини-Север (Gemini North)		Мауна-Кеа, Гавайи	1999	Зеркало — тонкий мениск. Международная кооперация
8,1	Джемини-Юг (Gemini South)		Серро-Пачон, Чили	2001	
6,5	«В. Бааде», Магеллан-1 (Magellan 1)		Лас-Кампанас, Чили. Обсерватория США	2000	Зеркала сотовые. Телескопы стоят рядом
6,5	«Л. Клэй», Магеллан-2 (Magellan 2)			2002	
6,5	MMT (Multiple Mirror Telescope), новый, обсерватория «Фред Уиппл»		Маунт-Хопкинс, Аризона	2000	Зеркало — тонкий мениск. Аризонский университет
6,0	Большой телескоп альт-азимутальный (БТА), Специальная астрофизическая обсерватория (САО) РАН		Близ горы Пастухова, Сев. Кавказ, Россия	1976	Толстое зеркало; ситалл
6,0	Большой зенитный телескоп, Large Zenith Telescope (LZT)		Близ г. Ванкувер, Канада	2006	Жидкая ртуть. Вращается. Университет Британской Колумбии
5,1	«Хейл» (Hale), 200-дюймовый, Паломарская обсерватория		Маунт-Паломар, Калифорния	1950	Толстое сотовое зеркало, пирекс
4,9	Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope (LAMOST)		Xinglong, Пекинская обсерватория, Китай	2008	Меридианная камера Шмидта с зеркальным корректором. Оба зеркала составные

Крупнейшие телескопы-рефлекторы *(продолжение)*

Диаметр, м	Телескоп / Обсерватория	Место	Год начала работы	Примечания
1,8×6 = 4,5	Многозеркальный телескоп — Multiple Mirror Telescope (MMT), старый, демонтированный	Маунт-Хопкинс, Аризона	1979–1998	6 круглых зеркал на одной монтировке
4,2	«В. Гершель» (WHT), Обсерватория Рока-де-лос-Мучачос	о. Пальма, Канарские острова, Испания	1987	Толстое зеркало, сервит
4,1	Southern Observatory for Astrophysical Research (SOAR)	Серро-Пачон (Чили), США, Бразилия, Чили	2002	Зеркало — тонкий мениск, ULE
4,1	Visible & Infrared Survey Telescope for Astronomy (VISTA)	Серро-Паранал (Чили), ESO	2009	Обзоры в ближнем ИК. Скоро вступит в строй
4,0	«Виктор Бланко» (Victor M. Blanco) Межамериканская обсерватория	Серро-Тололо (Чили), США	1976	Толстое зеркало, сервит

Крупнейшие зеркально-линзовые телескопы (камеры Шмидта)

Диаметр коррекционной пластинки (меньшее число) и зеркала, м	Обсерватория	Местонахождение	Год сооружения/реконструкции
1,3–2,0	Карла Шварцшильда	Таутенбург, Германия	1960
1,2–1,8	Паломарская	Гора Паломар, Калифорния	1948/1975
1,2–1,8	Англо-Австралийская	Сайдинг-Спринг, Австралия	1973
1,1–1,5	Астрономическая	Токио, Япония	1975
1,0–1,6	Европейская южная	Ла-Силья, Чили	1971
0,95–1,4	«Кеплер», NASA	Гелиоцентрическая орбита Земли	2009

Планеты

Элементы орбит планет Солнечной системы

Гелиоцентрические оскулирующие (моментальные) элементы орбит планет для начала 2001 г. (JD = 2451920,5) по отношению к средней эклиптике и точке равноденствия эпохи J 2000.0

Планета	Среднее расстояние от Солнца a		Сидерический период обращения P		Синодический период, S, сут.	Среднее угловое движение n, град./сут.
	а. е.	млн км	тропических лет*	суток		
Меркурий	0,38710	57,9	0,24085	87,969	115,85	4,092356
Венера	0,72333	108,2	0,61521	224,70	583,93	1,602136
Земля**	1,00000	149,6	1,00004	365,26	–	0,985593
Марс	1,52363	227,9	1,88078	686,94	779,91	0,524062
Юпитер	5,20441	778,6	11,8677	4 334,6	398,87	0,0830528
Сатурн	9,58378	1 433,7	29,6661	10 835,3	378,09	0,0332247
Уран	19,18722	2 870,4	84,048	30 697,8	369,66	0,0117272
Нептун	30,02090	4 491,1	164,491	60 079,0	367,49	0,00599211
(Плутон)	39,23107	5 868,9	245,73	89 751,9	366,72	0,00401106

* Тропический год = 365,242190 суток по 86 400 секунд СИ.

** Данные для Земли относятся к барицентру системы Земля–Луна.

Планета	Наклонение орбитальной плоскости i, °	Эксцентриситет орбиты e	Долгота восходящего узла Ω, °	Долгота перигелия, ϖ°	Средняя долгота в начальную эпоху L, °	Средняя скорость орбитального движения, км/с
Меркурий	7,005	0,20564	48,330	77,460	348,9226	47,9
Венера	3,395	0,00676	76,678	131,709	63,5825	35,0
Земля	0,0002	0,01672	173,7	102,834	110,5560	29,8
Марс	1,850	0,09344	49,561	335,997	192,2291	24,1
Юпитер	1,304	0,04890	100,508	15,389	65,5419	13,1
Сатурн	2,486	0,05689	113,630	91,097	62,6852	9,6
Уран	0,772	0,04634	73,924	169,016	317,8806	6,8
Нептун	1,769	0,01129	131,791	51,589	307,4124	5,4
(Плутон)	17,165	0,24448	110,249	223,654	240,4311	4,8

Физические характеристики планет Солнечной системы

Планета	Масса (с атмосферой, но без спутников)		Средний экваториальный радиус		Сплюснутость $(R_{экват.}-R_{полар.})/R_{экват.}$	Средняя плотность, г/см^3
	10^{24} кг	⊕ = 1	км	⊕ = 1		
Меркурий	0,33022	0,055274	2 439,7	0,3825	0	5,43
Венера	4,8690	0,815005	6 051,8	0,9488	0	5,24
Земля	5,9742	1,000000	6 378,14	1,0000	0,003354	5,515
(Луна)	0,073483	0,012300	1 737,4	0,2724	0,0017	3,34
Марс	0,64191	0,10745	3 397	0,5326	0,006476	3,94
Юпитер	1898,8	317,83	71 492**	11,209	0,064874	1,33
Сатурн	568,50	95,159	60 268**	9,4491	0,097962	0,69
Уран	86,625	14,500	25 559	4,0073	0,022927	1,27
Нептун	102,78	17,204	24 764	3,8826	0,017081	1,64
(Плутон)	0,013	0,0022	1 151	0,1807	0	2,0

** На уровне атмосферного давления 1 бар.

Планета	Период вращения вокруг оси, сут.	Наклон экватора к орбите, °	Координаты полюса вращения		Альбедо геометрическое	Максимальный блеск	Максимальный угловой диаметр
			α, °	δ, °			
Меркурий	58,6462	0,01	281,0	61,5	0,106	$-2{,}2^m$	11″
Венера	−243,0185	177,36	272,8	67,2	0,65	−4,7	60
Земля	0,99726963	23,44	0,0	0,0	0,367	–	–
(Луна)	27,321661	6,7	≈270	≈67	0,12	−12,7	1864
Марс	1,02595675	25,19	317,7	52,9	0,150	−2,0	25
Юпитер	0,41354	3,13	268,1	64,5	0,52	−2,7	47
Сатурн	0,44401	26,73	40,6	83,5	0,47	+0,7	20
Уран	−0,71833	97,77	257,3	−15,2	0,51	+5,5	3,9
Нептун	0,67125	28,32	299,4	43,0	0,41	+7,8	2,3
(Плутон)	−6,3872	122,54	313,0	6,2	0,50–0,65	+14	0,1

Примечание: параметры сидерического вращения вокруг оси указаны на 0,0 января 2001 г. Периоды указаны в сутках длительностью 86 400 с СИ. Для Юпитера и Сатурна указан период вращения в системе III (связанной с магнитным полем). Знак периода указывает направление вращения. Блеск и угловой диаметр планет даны для наблюдателя на Земле. Блеск верхних планет (Марс–Плутон) указан в их среднюю оппозицию.

Планета	Момент инерции (I/MR^2)	Гравитационное ускорение (⊕=1)	Критическая скорость на поверхности, км/с	Температура, К		Атмосфера
				эффективная	поверхности	
Меркурий	0,324	0,38	4,2	435	90–690	практически отсутствует
Венера	0,333	0,90	10,4	228	735	CO_2, N_2
Земля	0,330	1,0	11,2	247	190–325	N_2, O_2
(Луна)	0,395	0,17	2,4	275	40–395	практически отсутствует
Марс	0,377	0,38	5,0	216	150–260	CO_2, N_2
Юпитер	0,20	2,53	59,5	134		H_2, He
Сатурн	0,22	1,06	35,5	97		H_2, He
Уран	0,23	0,90	21,3	59		H_2, He
Нептун	0,26	1,14	23,5	59		H_2, He
(Плутон)	0,39	0,07	1,2	32	33–55	Временная: N_2, CO, CH_4

Примечание: гравитационное ускорение на поверхности равно GM/R_e^2. Критическая (вторая космическая) скорость дана на уровне твёрдой поверхности или (для газовых гигантов) на уровне атмосферного давления 1 бар и без учета сопротивления атмосферы.

Условия солнечного облучения и средняя продолжительность солнечных суток на планетах

Планета	Расстояние от Солнца, а. е.	Угловой диаметр Солнца	Облучение Солнцем			Солнечные сутки (сут.)
			относительно Земли	световое (1000 лк)	зв. величина Солнца	
Меркурий	0,387	1° 22′ 39″	6,68	901	−28,8	175,9421
Венера	0,723	44′ 15″	1,91	258	−27,4	116,7490
Земля	1,000	31′ 59″	1,00	135	−26,7	1,0000
Марс	1,524	20′ 59″	0,431	58,2	−25,8	1,0275
Юпитер	5,204	6′ 09″	0,0370	4,98	−23,1	0,41358
Сатурн	9,584	3′ 20″	0,0110	1,48	−21,8	0,44403
Уран	19,187	1′ 40″	0,0027	0,366	−20,3	0,71835
Нептун	30,021	1′ 04″	0,0011	0,148	−19,3	0,67126
(Плутон)	39,231	49″	0,0006	0,088	−18,7	6,38766

Спутники планет

Номер	Название		Большая полуось орбиты, тыс. км	Орбитальный период, сутки	Эксцентриситет	Диаметр или размеры, км	Блеск, звёздная величина
	русское	латинское или предварительное					
			Земля				
	Луна	Luna	384,4	27,3217	0,0554	3475	−12,7
			Марс				
I	Фобос	Phobos	9,38	0,31891	0,0151	27×22×18	11,3
II	Деймос	Deimos	23,46	1,26244	0,0002	15×12×10	12,4
			Юпитер				
XVI	Метида	Metis	128	+0,295	0,0000	60×40×34	17,5
XV	Адрастея	Adrastea	129	+0,298	0,0015	20×16×14	18,7
V	Амальтея	Amalthea	181	+0,498	0,0032	250×146×128	14,1
XIV	Теба	Thebe	222	+0,675	0,0175	116×98×84	16,0
I	Ио	Io	422	+1,769	0,0041	3643	5,0
II	Европа	Europe	671	+3,551	0,0094	3122	5,3
III	Ганимед	Ganymede	1070	+7,155	0,0011	5262	4,6
IV	Каллисто	Callisto	1883	+16,69	0,0074	4821	5,7
XVIII	Фемисто	Themisto	7393	+129,9	0,2115	8	21,0
XIII	Леда	Leda	11 188	+241,8	0,1673	16	20,2
VI	Гималия	Himalia	11 452	+250,4	0,1513	170	14,8
X	Лиситея	Lysithea	11 741	+259,9	0,1322	36	18,2
VII	Элара	Elara	11 778	+261,1	0,1948	86	16,6
XLVI	Карпо	Carpo	17 145	+458,6	0,4297	3	23,0
		S/2003 J12	17 740	−482,7	0,6056	1	23,9
XXXIV	Эвпорие	Euporie	19 088	−538,8	0,1432	2	23,1
		S/2003 J3	19 622	−561,5	0,1970	2	23,4
		S/2003 J18	19 813	−569,7	0,0148	2	23,4
		S/2011 J1	20 155	−582,2	0,296	1	23,6
		S/2010 J2	20 307	−588,1	0,307	1	23,9
XLII	Тельксиное	Thelxinoe	20 454	−697,6	0,2206	2	23,5
XXXIII	Эванте	Euanthe	20 465	−698,1	0,2321	3	22,8
XLV	Гелике	Helike	20 540	−601,4	0,1558	4	22,6
XXXV	Ортозие	Orthosie	20 568	−602,6	0,2808	2	23,1
XXIV	Иокасте	Iocaste	20 723	−609,4	0,2160	5	21,8
		S/2003 J16	20 744	−610,4	0,2245	2	23,3
XXVII	Праксидике	Praxidike	20 824	−613,9	0,2308	7	21,2
XXII	Гарпалике	Harpalyke	21 064	−624,5	0,2268	4	22,2
XL	Мнеме	Mneme	21 130	−627,5	0,2273	2	23,3
XXX	Гермиппе	Hermippe	21 182	−629,8	0,2096	4	22,1
XXIX	Тионе	Thyone	21 406	−639,8	0,2286	4	22,3
XII	Ананке	Ananke	21 455	−642,0	0,2435	28	18,9
L	Герсе	Herse	22 134	−672,8	0,2379	2	23,4
XXXI	Этне	Aitne	22 285	−679,6	0,2643	3	22,7
XXXVII	Кале	Kale	22 409	−685,3	0,2599	2	23,0
XX	Тайгете	Taygete	22 439	−686,7	0,2525	5	21,9
		S/2003 J19	22 709	−699,1	0,2557	2	23,7
XXI	Халдене	Chaldene	22 713	−699,3	0,2519	4	22,5
		S/2003 J15	22 721	−699,7	0,1916	2	23,5
		S/2003 J10	22 731	−700,1	0,4295	2	23,6
		S/2003 J23	22 740	−700,5	0,2714	2	23,6
XXV	Эриноме	Erinome	22 986	−712,0	0,2665	3	22,8
XLI	Аойде	Aoede	23 044	−714,7	0,4322	4	22,5
XLIV	Каллихоре	Kallichore	23 112	−717,8	0,2640	2	23,7
XXIII	Калике	Kalyke	23 181	−721,0	0,2465	5	21,8

Номер	Название		Большая полуось орбиты, тыс. км	Орбитальный период, сутки	Эксцентриситет	Диаметр или размеры, км	Блеск, звёздная величина
	русское	латинское или предварительное					
XI	Карме	Carme	23 198	−721,8	0,2533	46	18,0
XVII	Каллирое	Callirrhoe	23 215	−722,6	0,2828	9	20,8
XXXII	Эвридоме	Eurydome	23 231	−723,4	0,2759	3	22,7
XXXVIII	Пазите	Pasithee	23 307	−726,9	0,3288	2	23,2
		S/2010 J1	23 314	−723,2	0,320	2	23,3
		S/2011 J2	23 330	−725,1	0,3867	1	23,6
XLIX	Коре	Kore	23 345	−776,0	0,1951	2	16,7
XLVIII	Киллене	Cyllene	23 396	−731,1	0,4115	2	16,2
XLVII	Эвкеладе	Eukelade	23 484	−735,2	0,2828	4	22,6
		S/2003 J4	23 571	−739,3	0,3003	2	23,0
VIII	Пасифе	Pasiphaë	23 609	−741,1	0,3743	60	17,0
XXXIX	Гегемоне	Hegemone	23 703	−745,5	0,4077	3	22,8
XLIII	Архе	Arche	23 717	−746,2	0,1492	3	22,8
XXVI	Исоное	Isonoe	23 801	−750,1	0,1775	4	22,5
		S/2003 J9	23 858	−752,8	0,2761	1	23,7
		S/2003 J5	23 974	−758,3	0,3070	4	22,4
IX	Синопе	Sinope	24 058	−762,3	0,2750	38	18,3
XXXVI	Спонде	Sponde	24 253	−771,6	0,4431	2	23,0
XXVIII	Автоное	Autonoe	24 264	−772,2	0,3690	4	22,0
XIX	Мегаклите	Megaclite	24 687	−792,4	0,3077	5	21,7
		S/2003 J2	30 291	−981,6	0,1882	2	16,6
			Кольца				
		S/2009 S1	117	0,47	0,0	≈0,3	28
XVIII	Пан	Pan	133,6	+0,575	0,000	34×31×20	19,4
XXXV	Дафнис	Daphnis	136,5	+0,594	0,0	9×8×6	24
XV	Атлант	Atlas	137,7	+0,602	0,0012	41×35×19	19,0
XVI	Прометей	Prometheus	139,4	+0,613	0,0022	136×79×59	15,8
XVII	Пандора	Pandora	141,7	+0,629	0,0042	104×81×64	16,4
XI	Эпиметей	Epimetheus	151,4	+0,694	0,0098	130×114×106	15,6
X	Янус	Janus	151,5	+0,695	0,0068	203×185×153	14,4
LIII	Эгеон	Aegaeon	167,5	+0,808	0,0002	≈ 0,5	27
I	Мимас	Mimas	185,4	+0,942	0,0202	416×393×381	12,9
XXXII	Метона	Methone	194,4	+1,010	0,0001	3,2 ± 1,2	25
XLIX	Анфа	Anthe	197,7	+1,037	0,001	≈1	26
XXXIII	Паллена	Pallene	212,3	+1,154	0,0040	≈5	25
II	Энцелад	Enceladus	238,0	+1,370	0,0047	513×503×497	11,7
III	Тефия	Tethys	294,6	+1,888	0,0001	1 077×1053	10,2
XIII	Телесто	Telesto	294,6	+1,888	0,000	33×24×20	18,5
XIV	Калипсо	Calypso	294,7	+1,888	0,000	30×23×14	18,7
IV	Диона	Dione	377,4	+2,737	0,0022	1 123	10,4
XII	Елена	Helene	377,4	+2,737	0,0022	43×38×26	18,4
XXXIV	Полидевк	Polydeuces	377,4	+2,737	0,0192	3×2×1	25
V	Рея	Rhea	527,1	+4,518	0,0013	1 527	9,7
VI	Титан	Titan	1 221,9	+15,945	0,0288	5151	8,3
VII	Гиперион	Hyperion	1 481,0	+21,277	0,1230	360×226×205	14,4
VIII	Япет	Iapetus	3 560,8	+79,322	0,0286	1 491×1 424	11,1
XXIV	Кивиок	Kiviuq	11 294,8	+448,16	0,3288	≈16	22,0
XXII	Иджирак	Ijiraq	11 355,3	+451,77	0,3161	≈12	22,6
IX	Феба	Phoebe	12 869,7	−545,09	0,1562	219×217×204	16,5
XX	Паллиак	Paaliaq	15 103,4	+692,98	0,3631	19	21,3
XXVII	Скади	Skadi	15 672,5	−732,52	0,246	≈8	23,6
XXVI	Альбиорикс	Albiorix	16 266,7	+774,58	0,477	≈32	20,5

Спутники планет *(продолжение)*

Номер	Название		Большая полуось орбиты, тыс. км	Орбитальный период, сутки	Эксцентриситет	Диаметр или размеры, км	Блеск, звёздная величина
	русское	латинское или предварительное					
		S/2007 S2	16 560,0	−792,96	0,242	≈6	24,4
XXXVII	Бефинд	Bebhionn	17 153,5	+838,77	0,333	≈6	24,1
XXVIII	Эррипо	Erriapus	17 236,9	+844,89	0,4724	≈10	23,0
XLVII	Сколл	Skoll	17 473,8	−862,37	0,418	≈6	24,5
XXIX	Сиарнак	Siarnaq	17 776,6	+884,88	0,2496	≈40	20,1
LII	Таркек	Tarqeq	17 910,6	+894,86	0,1081	≈7	23,9
		S/2004 S13	18 056,3	−905,85	0,261	≈6	24,5
LI	Грейп	Greip	18 065,7	−906,56	0,3735	≈6	24,4
XLIV	Гирроккин	Hyrrokkin	18 168,3	−914,29	0,3604	≈8	23,5
L	Ярнсакса	Jarnsaxa	18 556,9	−943,78	0,1918	≈6	24,7
XXI	Тарвос	Tarvos	18 562,8	+944,23	0,5305	≈15	22,1
XXV	Мундилфари	Mundilfari	18 725,8	−956,70	0,198	≈7	23,8
		S/2006 S1	18 930,2	−972,41	0,1303	≈6	24,6
		S/2004 S17	19 099,2	−985,45	0,226	≈4	25,2
XXXVIII	Бергельмир	Bergelmir	19 104,0	−985,83	0,152	≈6	24,2
XXXI	Нарви	Narvi	19 395,2	−1008,45	0,320	≈7	24,0
XXIII	Суттунг	Suttung	19 579,0	−1022,82	0,131	≈7	23,9
XLIII	Хати	Hati	19 709,3	−1033,05	0,291	≈6	24,4
		S/2004 S12	19 905,9	−1048,54	0,396	≈5	24,8
XL	Фарбаути	Farbauti	19 984,8	−1054,78	0,209	≈5	24,7
XXX	Трюм	Thrymr	20 278,1	−1078,09	0,453	≈7	23,9
XXXVI	Эгир	Aegir	20 482,9	−1094,46	0,237	≈6	24,4
		S/2007 S3	20 518,5	≈ −1100	0,130	≈5	24,9
XXXIX	Бестла	Bestla	20 570,0	−1101,45	0,77	≈7	23,8
		S/2004 S7	20 576,7	−1101,99	0,530	≈6	24,5
		S/2006 S3	21 076,3	−1142,37	0,471	≈6	24,6
XLI	Фенрир	Fenrir	21 930,6	−1212,53	0,131	≈4	25,0
XLVIII	Сурт	Surtur	22 288,9	−1242,36	0,368	≈6	24,8
XLV	Кари	Kari	22 321,2	−1245,06	0,341	≈7	23,9
XIX	Имир	Ymir	22 429,7	−1254,15	0,335	≈18	21,7
XLVI	Логи	Loge	22 984,3	−1300,95	0,139	≈6	24,6
XLII	Форньот	Fornjot	24 504,9	−1432,16	0,186	≈6	24,6
VI	Корделия	Cordelia	49,75	0,335	0,0003	50×36	23,6
VII	Офелия	Ophelia	53,76	0,376	0,0099	54×38	23,3
VIII	Бианка	Bianca	59,17	0,435	0,0009	64×46	22,5
IX	Крессида	Cressida	61,77	0,464	0,0004	92×74	21,6
X	Дездемона	Desdemona	62,66	0,474	0,0001	90×54	22,0
XI	Джульетта	Juliet	64,36	0,493	0,0007	150×74	21,1
XII	Порция	Portia	66,10	0,513	0,0001	156×126	20,4
XIII	Розалинда	Rosalind	69,93	0,558	0,0001	72±12	21,8
XXVII	Купидон	Cupid	74,80	0,618	0,0013	≈18	25
XIV	Белинда	Belinda	75,26	0,624	0,0001	128×64	21,5
XXV	Пердита	Perdita	76,42	0,638	0,0012	30±6	24,0
XV	Пак	Puck	86,00	0,762	0,0001	162±4	19,8
XXVI	Маб	Mab	97,73	0,923	0,0025	≈10	26
V	Миранда	Miranda	129,39	1,413	0,0013	481×468×466	15,8
I	Ариэль	Ariel	191,02	2,520	0,0012	1158	13,7
II	Умбриэль	Umbriel	266,30	4,144	0,0039	1169	14,5
III	Титания	Titania	435,91	8,706	0,0011	1577	13,5
IV	Оберон	Oberon	583,52	13,463	0,0014	1523	13,7

Номер	Название		Большая полуось орбиты, тыс. км	Орбитальный период, сутки	Эксцентриситет	Диаметр или размеры, км	Блеск, звёздная величина
	русское	латинское или предварительное					
XXII	Франциско	Francisco	4276,0	−266,56	0,146	≈22	25,0
XVI	Калибан	Caliban	7231,0	−579,73	0,159	≈72	22,4
XX	Стефано	Stephano	8004,0	−677,36	0,229	≈32	24,1
XXI	Тринкуло	Trinculo	8504,0	−749,24	0,220	≈18	25,4
XVII	Сикоракса	Sycorax	12 179	−1288,30	0,522	≈150	20,8
XXIII	Маргарита	Margaret	14 345	1687,01	0,661	≈20	25,2
XVIII	Просперо	Prospero	16 256	−1978,29	0,445	≈50	23,2
XIX	Сетебос	Setebos	17 418	−2225,21	0,591	≈48	23,3
XXIV	Фердинанд	Ferdinand	20 901	−2805,51	0,368	≈20	25,1
III	Наяда	Naiad	48,23	0,294	0,0004	96×60×52	24,2
IV	Таласса	Thalassa	50,08	0,311	0,0002	108×100×52	23,4
V	Деспина	Despina	52,53	0,335	0,0002	180×148×128	22,0
VI	Галатея	Galatea	61,95	0,429	0,0000	204×184×144	22,0
VII	Ларисса	Larissa	73,55	0,555	0,0014	216×204×168	21,5
VIII	Протей	Proteus	117,65	1,122	0,0005	436×416×402	20,0
I	Тритон	Triton	354,8	−5,877	0,0000	2705	13,2
II	Нереида	Nereid	5513,4	360,14	0,7512	340±50	19,2
IX	Галимеда	Halimede	15 728	−1879,71	0,5711	≈62	24,5
XI	Сао	Sao	22 422	2914,07	0,2931	≈44	25,4
XII	Лаомедея	Laomedeia	23 571	3167,85	0,4237	≈42	25,4
X	Псамафа	Psamathe	46 695	−9115,91	0,4499	≈40	25,5
XIII	Несо	Neso	48 387	−9373,99	0,4945	≈60	24,6
I	Харон	Charon	19,41	6,387	0,0022	1207±3	17,3
V		S/2012 P1	≈42	20,2		17±7	27
II	Никс	Nix	48,7	24,856	0,0030	90±40	23,4
IV		S/2011 P1	≈59	32,1	≈0	23±10	26,1
III	Гидра	Hydra	64,7	38,206	0,0051	110±50	23,0

Звёзды

Собственные имена, обозначения и блеск наиболее известных звёзд

Имя	Обозначение	Блеск, зв. вел.	Имя	Обозначение	Блеск, зв. вел.	Имя	Обозначение	Блеск, зв. вел.
Акрукс	α Cru	0,8	Беллатрикс	γ Ori	1,6	Мира	o Cet	3,1–12
Алгениб	γ Peg	2,8	Бенетнаш	η UMa	1,9	Мирах	β And	2,1
Алголь	β Per	2,1–3,4	Бетельгейзе	α Ori	0,5	Мицар	ζ UMa	2,1
Алиот	ε UMa	1,8	Вега	α Lyr	0,03	Плейона	28 Tau	5,1
Альбирео	β Cyg	3,0	Гемма	α CrB	2,2	Поллукс	β Gem	1,1
Альдебаран	α Tau	0,9	Денеб	α Cyg	1,3	Полярная	α UMi	2,0
Альдерамин	α Cep	2,5	Денебола	β Leo	2,1	Процион	α CMi	0,4
Алькор	80 UMa	4,0	Дубхе	α UMa	1,8	Регул	α Leo	1,4
Альтаир	α Aql	0,8	Канопус	α Car	−0,7	Ригель	β Ori	0,2
Альциона	η Tau	2,9	Капелла	α Aur	0,1	Сириус	α CMa	−1,5
Антарес	α Sco	1,0	Кастор	α Gem	1,6	Спика	α Vir	1,0
Арктур	α Boo	−0,04	Майя	20 Tau	3,9	Тайгета	19 Tau	4,3
Астеропа	21 Tau	5,3	Маркаб	α Peg	2,5	Толиман	α Cen	−0,3
Атлас	27 Tau	3,6	Мерак	β UMa	2,4	Фомальгаут	α PsA	1,2
Ахернар	α Eri	0,5	Меропа	23 Tau	4,2	Электра	17 Tau	3,7

Ярчайшие звёзды

M_V – абсолютная звёздная величина в фильтре V; $L_V/L_\odot$ – светимость (L_V) в фильтре V в единицах светимости Солнца ($L_\odot$).

Имя звезды и её обозначение в созвездии		Блеск в фильтре V в звёздных величинах*	Спектральный класс с классом светимости**	Параллакс, "	Расстояние, пк	M_V	$L_V/L_\odot$
Солнце	–	$-26{,}74^m$	G2V	–	–	+4,8	1
Сириус	α CMa	−1,47	A1Vm	0,379	2,6	+1,5	21
Канопус	α Car	−0,72	F0II	0,010	100	−5,7	16 000
Толиман	α Cen	−0,29	G2V+K1V	0,742	1,3	+4,1	1,9
Арктур	α Boo	−0,04	K1.5IIIp	0,089	11,2	−0,3	110
Вега	α Lyr	+0,03 v?	A0Va	0,129	7,8	+0,6	50
Капелла	α Aur	+0,08	G5III+G0III	0,077	13,0	−0,5	134
Ригель	β Ori	+0,12 v?	B8Ia	0,004	250	−6,8	45 000
Процион	α CMi	+0,34	F5IV–V	0,286	3,5	+2,7	7,3
Ахернар	α Eri	+0,50	B3Vpe	0,023	43,5	−2,7	1 000
Бетельгейзе	α Ori	+0,58 v	M2Iab	0,008	125	−5,0	8 400
Хадар	β Cen	+0,61 v?	B1III	0,006	170	−5,5	14 000
Акрукс	α Cru	+0,76	B0.5IV+B1V	0,010	100	−4,2	4 200
Альтаир	α Aql	+0,77	A7V	0,194	5,2	+2,2	11
Альдебаран	α Tau	+0,85 v	K5III	0,050	20	−0,7	160
Антарес	α Sco	+0,91 v	M1.5Iab+B4Ve	0,005	200	−5,5	4 000
Спика	α Vir	+0,96 v	B1III–IV+B2V	0,012	83	−3,6	2 400
Поллукс	β Gem	+1,14	K0IIIb	0,097	10,3	+1,1	31
Фомальгаут	α PsA	+1,16	A3V	0,130	7,7	+1,7	17
Мимоза	β Cru	+1,25 v?	B0.5III	0,009	110	−4,0	3 200
Денеб	α Cyg	+1,25 v?	A2Ia	0,001	1000	−8,8	270 000

* После числа отмечена значительная переменность блеска (v) или его слабая переменность (v?).

** У двойных звёзд с компонентами сравнимой светимости в спектре видны две системы линий.

Ближайшие к Солнцу звёзды (до 4,1 пк)

Звезда	Координаты J2000,0		m_V	Спектр	Параллакс	M_V	$L_V/L_\odot$	Примечания
	α	δ						
Проксима Кентавра	$14^h29{,}7^m$	−62° 41′	$11{,}1^m$	M5,5Ve	0,769"	$15{,}5^m$	0,00005	α Cen C
α Кентавра A	14 39,6	−60 50	0,0	G2V	0,742	4,3	1,6	HD 128620
α Кентавра B	14 39,6	−60 50	1,4	K1V	0,742	5,7	0,44	HD 128621
Звезда Барнарда	17 57,8	+04 42	9,5	M5V	0,549	13,2	0,00043	Gliese 699
Вольф 359	10 56,5	+07 01	13,5	M6,5Ve	0,419	16,6	0,00002	Gliese 406, CN Leo
BD+36°2147	11 03,3	+35 58	7,5	M2,1V	0,392	10,5	0,0055	Lalande 21185
Сириус A	6 45,1	−16 43	−1,4	A1Vm	0,379	1,5	22,3	HD 48915
Сириус B	6 45,1	−16 43	8,4	DA2	0,379	11,3	0,0025	Белый карлик
Лейтен 726-8 A	1 39,0	−17 57	12,6	M5,5Ve	0,373	15,4	0,000058	BL Cet
Лейтен 726-8 B	1 39,0	−17 57	13,0	M5,5Ve	0,373	15,8	0,00004	UV Cet
Росс 154	18 49,8	−23 50	10,4	M3,6Ve	0,336	13,0	0,00054	Gliese 729, V1216 Sgr
Росс 248	23 41,9	+44 10	12,3	M5,5Ve	0,316	14,8	0,00011	Gliese 905, HH And
ε Эридана	3 32,9	−09 27	3,7	K2V	0,311	6,2	0,29	HIP 16537, HD 22049
CD−36°15693	23 05,9	−35 51	7,4	M2V	0,304	9,8	0,011	Lacaille 9352
Росс 128	11 47,7	+00 48	11,1	M5V	0,300	13,5	0,00034	Gliese 447, FI Vir
Лейтен 789-6 = ABC	22 38,6	−15 18	12,3	M5,5V	0,290	14,6	0,00012	EZ Aquarii
61 Лебедя A	21 06,9	+38 45	5,2	K5V	0,287	7,5	0,086	HD 201091
61 Лебедя B	21 06,9	+38 44	6,1	K7V	0,285	8,3	0,039	HD 201092
Процион A	7 39,3	+05 14	0,4	F5IV-V	0,286	2,7	7,2	α CMi, HD 61421
Процион B	7 39,3	+05 14	10,7	DF	0,286	13,0	0,00054	Белый карлик
BD+59°1915 A	18 42,8	+59 38	8,9	M3,5V	0,280	11,2	0,0029	ADS 11632 AB
BD+59°1915 B	18 42,8	+59 38	9,7	M4V	0,284	12,0	0,0014	Struve 2398AB
Groombridge 34A	0 18,4	+44 01	8,1	M2V	0,280	10,3	0,0063	GX And, BD+43°44 A

Звезда	Координаты J2000,0		m_V	Спектр	Параллакс	M_V	$L_V/L_\odot$	Примечания
	α	δ						
Groombridge 34B	$0^h18{,}4^m$	+44°01′	11,1	M4V	0,280″	13,3	0,00039	GQ And, BD+43°44 B
G 51-15	8 29,8	+26 47	14,8	M6,5Ve	0,276	17,0	0,000013	G = Giclas, DX Cnc
ε Ind = A, Ba, Bb	22 03,4	−56 47	4,7	K4Ve	0,276	6,9	0,15	Ba, Bb — коричневые карлики
τ Cet	1 44,1	−15 56	3,5	G8V	0,274	5,7	0,45	HIP 8102, HD 10700
Лейтен 372-58	3 36,0	−44 31	13,0	M4,5V	0,273	15,2	0,00007	GJ1061, LHS 1565
Лейтен 725-32	1 12,5	−17 00	12,1	M5,5Ve	0,269	14,3	0,00017	Gl 54.1, YZ Cet
Звезда Лейтена	7 27,4	+05 14	9,8	M4V	0,263	12,0	0,0013	BD+5°1668, Gl 273
Звезда Тигардена	2 53,0	+16 53	15,4	M6,5V	0,259	17,5	0,000008	SO025300.5+ 165258
SCR 1845-6357 = A, B	18 45,1	−63 58	17,4	M8,5V	0,259	19,4	0,000002	B — коричневый карлик
Звезда Каптейна	5 11,7	−45 01	8,9	M1V	0,255	10,9	0,0037	CD-45°1841
CD−39°14192	21 17,3	−38 52	6,7	M2Ve	0,253	8,7	0,028	AX Mic, Lacaille 8760
Крюгер 60 A	22 28,0	+57 42	9,8	M3,5V	0,248	11,8	0,002	HD 239960
Крюгер 60 B	22 28,0	+57 42	11,4	M4,0Ve	0,248	13,4	0,00041	DO Cep, Gl 860B
DEN 1048-3956	10 48,2	−39 56	17,4	M9V	0,248	19,4	0,000002	Коричневый карлик
Росс 614 A	6 29,4	−02 49	11,2	M4,5Ve	0,244	13,1	0,00051	HIP 30920, Gl 234A
Росс 614 B	6 29,4	−02 49	14,2	M5,5V	0,244	16,2	0,00003	Gl 234B, V577 Mon

Яркие планетарные туманности

Обозначения: m_{pg} — полный фотографический блеск; m_V — визуальный (или в фильтре B) блеск центральной звезды. Данные по: Sky Catalogue 2000. Тип по Б. А. Воронцову-Вельяминову: 1 — звездоподобная; 2 — ровный диск или овал (a — с поярчанием к центру; b — однородный; c — с поярчанием к краю); 3 — неправильный диск или овал (a — очень неоднородное распределение яркости; b — прослеживается кольцевая структура); 4 — кольцеобразная; 5 — неправильная, похожая на диффузную туманность; 6 — аномальная (в форме «S» или «8» и т. п.). Более сложные формы характеризуются суммой типов.

NGC	Координаты J2000,0		Туманность			Центральная звезда		Расстояние, кпк	Примечания
	α	δ	диаметр, ″	m_{pg}	тип	m_V	спектр		
40	$0^h13{,}0^m$	+72°32′	>37	$10{,}7^m$	3b+3	$11{,}6^m$	WC8	0,9	
246	0 47,0	−11 53	225	8,0	3b	11,9	OV+I+K	0,4	
650−1	1 42,4	+51 34	65×290	12,2	3+6	16,1B		1,1	M 76
1535	4 14,2	−12 44	18×44	9,6	4+2c	12,2	O5		
2022	5 42,1	+09 05	>18	12,4	4+2	15,2	Contin.	2,1	
IC 2149	5 56,3	+46 07	>8	11,2	3b+2	11,6	O7.5p	1,0	
2392	7 29,2	+20 55	13×44	9,9	3b+3b	10,5	O7f	0,9	«Эскимос»
2438	7 41,8	−14 44	>66	10,1	4+2	17,7	Contin.	0,9	
2440	7 41,9	−18 13	14×32	10,8	5+3	14,3	$T=2\cdot10^5$ K	1,1	
2867	9 21,4	−58 19	11	9,7	4	13,6B	WC	1,7	
3132	10 07,0	−41 27	>47	8,2	4+2	10,1	A2V+sdO	0,8	«Южное кольцо»
3242	10 24,8	−18 38	35×40	8,6	4+3b	12,0		0,8	«Призрак Юпитера»
3587	11 14,8	+55 01	194	12,0	3a	15,9		0,4	M 97, «Сова»
4361	12 24,5	−18 48	45×110	10,3	3a+2	13,2	O6	0,8	
IC 4406	14 22,4	−44 09	>28	10,6	4+3	14,7B	WR	1,5	«Сетчатка»
6210	16 44,5	+23 49	>14	9,3	2+3b	12,9	O3?	1,1	
6543	17 58,6	+66 38	18×350	8,8	3a+2	11,4	O7+WR	1,1	«Кошачий глаз»
6572	18 12,1	+06 51	8	9,0	2a	13,6	Of+WR	0,6	
6720	18 53,6	+33 02	70×150	9,7	4+3	14,8	Contin.	0,6	M 57, «Кольцо»
6818	19 44,0	−14 09	>17	9,9	4	13,1	WNb?	1,6	
6826	19 44,8	+50 31	30×140	9,8	3a+2	10,4	O6fp	1,0	
6853	19 59,6	+22 43	350×910	7,6	3+2	13,9	O7	0,3	M 27, «Гантель»
7009	21 04,2	−11 22	25×100	8,3	4+6	11,5	Contin.	0,9	«Сатурн»
7293	22 29,6	−20 48	>769	7,5	4+3	13,5		0,2	«Улитка» (Helix)
7662	23 25,9	+42 33	20×130	9,2	4+3	13,2	Contin.	1,2	«Голубой снежок»

Полные солнечные затмения в XXI веке

T – максимальная продолжительность полной фазы в минутах.

Дата	*T*	Область видимости
2001, 21 июня	5	Южная Атлантика, Африка (Ангола, Замбия, Мозамбик), остров Мадагаскар
2002, 4 декабря	2	Юг Африки (Ангола, Ботсвана, Зимбабве), Индийский океан, Южная Австралия
2003, 23 ноября	2	Восточная Антарктика. Частное затмение – в Австралии, Чили, Аргентине
2005, 8 апреля	1	Тихий океан (острова Баунти, Франц. Полинезия), Венесуэла, Колумбия, Панама
2006, 29 марта	4	Атлантика, Африка (Нигерия, Ливия), Турция, Грузия, Россия, Казахстан
2008, 1 августа	2	Арктика, Россия (Западная Сибирь, Алтай), Монголия, Китай
2009, 22 июля	7	Центральная и Северо-Восточная Индия, Бутан, Бангладеш, Мьянма, Китай, Тихий океан
2010, 11 июля	5	Юг Тихого океана (Полинезия), юг Чили, юг Аргентины
2012, 13 ноября	4	Северная Австралия, Новая Зеландия, юг Тихого океана
2013, 3 ноября	2	Атлантика, Центральная Африка (Габон, Конго, Уганда, Кения, Эфиопия)
2015, 20 марта	3	Северная Атлантика, Арктика (Северный полюс)
2016, 9 марта	4	Индонезия (острова Суматра, Калимантан), Микронезия (Маршалловы острова)
2017, 21 августа	3	Тихий океан, США (от штата Орегон до штата Южная Каролина), Центральная Атлантика
2019, 2 июля	5	Юг Тихого океана (архипелаг Туамоту), Чили, Центральная Аргентина
2020, 14 декабря	2	Тихий океан (Кирибати, Полинезия), юг Чили, Аргентина, Атлантика
2021, 4 декабря	2	Антарктика. Частное затмение видно в Южной Африке
2023, 20 апреля	1	Индийский океан, Индонезия (остров Новая Гвинея), Тихий океан
2024, 8 апреля	4	Тихий океан, Мексика, США (от Техаса до Нью-Йорка), Восточная Канада, Атлантика
2026, 12 августа	2	Арктика, Гренландия, Исландия, Испания. Частное затмение – Европа
2027, 2 августа	6	Юг Испании, Северная Африка (Марокко, Алжир, Ливия, Египет), юг Аравийского полуострова
2028, 22 июля	5	Австралия, Новая Зеландия. Частное затмение – Юго-Восточная Азия, Индия
2030, 25 ноября	4	Южная Африка (Ботсвана), Индийский океан, Австралия
2031, 14 ноября	1	Центральный Тихий океан, Панама. Частное затмение – юг США
2033, 30 марта	3	Россия (Чукотка), Берингов пролив, Аляска, Северный Ледовитый океан
2034, 20 марта	4	Африка (Нигерия, Камерун, Египет), Саудовская Аравия, Афганистан, Китай
2035, 2 сентября	3	Северный Китай, Корея, Япония, Тихий океан
2037, 13 июля	4	Австралия, Новая Зеландия. Частное затмение – Восточная Индия
2038, 26 декабря	2	Австралия, Новая Зеландия. Частное затмение – Юго-Восточная Азия
2039, 15 декабря	2	Антарктида. Частное затмение – юг Южной Америки
2041, 30 апреля	2	Атлантика, Африка (Ангола, Конго, Уганда, Кения, Сомали)
2042, 20 апреля	5	Малайзия, Индонезия, Филиппины, север Тихого океана
2043, 9 апреля	1	Северо-восток России (Магадан, Камчатка). Нецентральное затмение, на восходе
2044, 23 августа	2	Гренландия, север Канады, США (Монтана, Северная Дакота)
2045, 12 августа	6	Юг США, остров Гаити, Южная Америка (Венесуэла, Гайяна, Суринам, Бразилия)
2046, 2 августа	5	Бразилия, Атлантика, Африка (Ангола, Намибия, Ботсвана, Свазиленд, Мозамбик)
2048, 5 декабря	3	Южная Америка (Чили, Аргентина), Атлантика, Африка (Намибия, Ботсвана)
2049, 25 ноября	1	Аравийский полуостров (Саудовская Аравия, Йемен), Индийский океан, Индонезия
2050, 20 мая	1	Южная часть Тихого океана. Частное затмение – Новая Зеландия, Южная Америка
2052, 30 марта	4	Центральная часть Тихого океана, Мексика, США, центральная часть Атлантики
2053, 12 сентября	3	Африка (Марокко, Алжир, Тунис, Ливия, Египет), Саудовская Аравия, Индонезия
2055, 24 июля	3	Юг Атлантики, Южная Африка, юг Индийского океана
2057, 05 января	2	Юг Атлантики, юг Индийского океана. Частное затмение – Африка, Австралия
2057, 26 декабря	2	Антарктика. Частное затмение – Австралия
2059, 11 мая	2	Центральная часть Тихого океана, Эквадор, Перу, Бразилия
2060, 30 апреля	5	Африка (Гана, Того, Нигерия, Чад, Ливия, Египет), Турция, Казахстан, Россия
2061, 20 апреля	3	Казахстан, Россия (Астрахань, Оренбург, Урал, остров Новая Земля), остров Шпицберген
2063, 24 августа	6	Китай, Монголия, Япония, центральная часть Тихого океана
2064, 12 августа	4	Центральная часть Тихого океана, Чили, Аргентина
2066, 17 декабря	3	Австралия, Новая Зеландия, южная часть Тихого океана

Дата	T	Область видимости
2068, 31 мая	1	Австралия, Новая Зеландия. Частное затмение – Индия, Антарктика
2070, 11 апреля	4	Шри-Ланка, Мьянма, Таиланд, Лаос, Вьетнам, Филиппины
2071, 23 сентября	3	Мексика, Колумбия, Венесуэла, Гайяна, Суринам, Французская Гайяна, Бразилия
2072, 12 сентября	3	Россия (Арктика, остров Северная Земля, полуостров Таймыр, Якутия)
2073, 3 августа	2	Чили, Аргентина. Частное затмение – Южная Америка, Антарктика
2075, 16 января	3	Чили, Аргентина, Парагвай, Бразилия. Частное затмение – Новая Зеландия
2076, 6 января	2	Антарктика. Частное затмение – Австралия, Южная Америка
2077, 22 мая	3	Австралия. Частное затмение – Индия, Новая Зеландия
2078, 11 мая	6	Мексика, США. Частное затмение – Северная Америка и Южная Америка
2079, 1 мая	3	США, Канада, Гренландия. Частное затмение – Европа, Африка, Азия
2081, 3 сентября	6	Центр. Европа, Турция, Сирия, Ирак, Кувейт, Катар, ОАЭ, Саудовская Аравия, Оман
2082, 24 августа	4	Индонезия, Новая Гвинея, южная часть Тихого океана
2084, 27 декабря	3	южная часть Атлантики, Индийский океан
2086, 11 июня	2	Намибия, Ботсвана, Южная Африка. Частное затмение – Южная Америка
2088, 21 апреля	4	Африка (Мавритания, Алжир, Тунис), Греция, Турция, Россия, Казахстан, Китай
2089, 4 октября	3	Китай, центральная часть Тихого океана. Частное затмение – Индия, Австралия
2090, 23 сентября	4	Канада, Гренландия, Великобритания, Франция.
2091, 15 августа	2	Антарктика (в океане, близ берегов Антарктиды)
2093, 27 января	3	Австралия. Частное затмение – Индия, Новая Зеландия, Антарктика
2094, 16 января	2	Антарктика. Частное затмение – Южная Америка, Новая Зеландия
2095, 2 июня	3	Африка (Намибия, Ботсвана, Замбия, Мозамбик), остров Мадагаскар
2096, 22 мая	6	Индонезия, центральная часть Тихого океана, Филиппины
2097, 11 мая	3	США (Аляска), Россия. Частное затмение – Северная Америка, Северная Европа
2099, 14 сентября	5	Канада, США, центральная Атлантика. Частное затмение – Африка
2100, 4 сентября	4	Центральная Африка, остров Мадагаскар

Каталог Мессье

M	NGC	Созвездие	Тип	Координаты (эпоха J2000,0)		Видимая визуальная звёздная величина m_V	Видимый (угловой) диаметр или размер	Расстояние, тыс. св. лет
				α	δ			
1	1952	Tau	Остаток сверхновой	$05^h\,34{,}5^m$	+22° 01′	8,4	6×4′	6,3
2	7089	Aqr	Шаровое скопление	21 33,5	−00 49	6,5	12,9	36,2
3	5272	Cvn	Шаровое скопление	13 42,2	+28 23	6,2	16,2	30,6
4	6121	Sco	Шаровое скопление	16 23,6	−26 32	5,6	26,3	6,8
5	5904	Ser	Шаровое скопление	15 18,6	+02 05	5,6	17,4	22,8
6	6405	Sco	Рассеянное скопление	17 40,1	−32 13	5,3	25,0	2
7	6475	Sco	Рассеянное скопление	17 53,9	−34 49	4,1	80,0	0,8
8	6523	Sgr	Диффузная туманность	18 03,8	−24 23	6,0	90×40	5,2
9	6333	Oph	Шаровое скопление	17 19,2	−18 31	7,7	9,3	26,4
10	6254	Oph	Шаровое скопление	16 57,1	−04 06	6,6	15,1	13,4
11	6705	Sct	Рассеянное скопление	18 51,1	−06 16	6,3	14,0	6
12	6218	Oph	Шаровое скопление	16 47,2	−01 57	6,7	14,5	17,6
13	6205	Her	Шаровое скопление	16 41,7	+36 28	5,8	16,6	22,8
14	6402	Oph	Шаровое скопление	17 37,6	−03 15	7,6	11,7	27,4
15	7078	Peg	Шаровое скопление	21 30,0	+12 10	6,2	12,3	32,6
16	6611	Ser	Рассеянное скопление	18 18,8	−13 47	6,4	7,0	7
17	6618	Sgr	Шаровое скопление	18 20,8	−16 11	7,0	11,0	5
18	6613	Sgr	Рассеянное скопление	18 19,9	−17 08	7,5	9,0	4,9
19	6273	Oph	Шаровое скопление	17 02,6	−26 16	6,8	13,5	27,1
20	6514	Sgr	Диффузная туманность	18 02,6	−23 02	9,0	28,0	5,2
21	6531	Sgr	Рассеянное скопление	18 04,6	−22 30	6,5	13,0	4,25

Каталог Мессье *(продолжение)*

M	NGC	Созвездие	Тип	Координаты (эпоха J2000,0)		Видимая визуальная звёздная величина m_V	Видимый (угловой) диаметр или размер	Расстояние, тыс. св. лет
				α	δ			
22	6656	Sgr	Шаровое скопление	$18^h36{,}4^m$	−23°54′	5,1	24,0′	10,1
23	6494	Sgr	Рассеянное скопление	17 56,8	−19 01	6,9	27,0	2,15
24	6603	Sgr	«Облачко» Млечного Пути	18 16,9	−18 29	4,6	90	10
25	IC 4725	Sgr	Рассеянное скопление	18 31,6	−19 15	6,5	40,0	2
26	6694	Sct	Рассеянное скопление	18 45,2	−09 24	8,0	15,0	5
27	6853	Vul	Планетарная туманность	19 59,6	+22 43	7,4	8,0×5,7	1,25
28	6626	Sgr	Шаровое скопление.	18 24,5	−24 52	6,8	11,2	17,9
29	6913	Cyg	Рассеянное скопление	20 23,9	+38 32	7,1	7,0	4,0
30	7099	Cap	Шаровое скопление.	21 40,4	−23 11	7,2	11,0	24,8
31	224	And	Спиральная галактика	00 42,7	+41 16	3,4	178×63	2900
32	221	And	Эллиптическая галактика	00 42,7	+40 52	8,1	8×6	2900
33	598	Tri	Спиральная галактика	01 33,9	+30 39	5,7	73×45	3000
34	1039	Per	Рассеянное скопление	02 42,0	+42 47	5,5	35,0	1,4
35	2168	Gem	Рассеянное скопление	06 08,9	+24 20	5,3	28,0	2,8
36	1960	Aur	Рассеянное скопление	05 36,1	+34 08	6,3	12,0	4,1
37	2099	Aur	Рассеянное скопление	05 52,4	+32 33	6,2	24,0	4,4
38	1912	Aur	Рассеянное скопление	05 28,4	+35 50	7,4	21,0	4,2
39	7092	Cyg	Рассеянное скопление	21 32,2	+48 26	5,2	32,0	0,825
40	Win4	UMa	Двойная звезда	12 22,4	+58 05	8,4	0,8	0,51
41	2287	CMa	Рассеянное скопление	06 46,0	−20 44	4,6	38,0	2,3
42	1976	Ori	Диффузная туманность	05 35,4	−05 27	4,0	85×60	1,6
43	1982	Ori	Диффузная туманность	05 35,6	−05 16	9,0	20×15	1,6
44	2632	Cnc	Рассеянное скопление	08 40,1	+19 59	3,7	95,0	0,577
45	—	Tau	Рассеянное скопление	03 47,0	+24 07	1,6	110,0	0,38
46	2437	Pup	Рассеянное скопление	07 41,8	−14 49	6,0	27,0	5,4
47	2422	Pup	Рассеянное скопление	07 36,6	−14 30	5,2	30,0	1,6
48	2548	Hya	Рассеянное скопление	08 13,8	−05 48	5,5	54,0	1,5
49	4472	Vir	Эллиптическая галактика	12 29,8	+08 00	8,4	9×7,5	60 000
50	2323	Mon	Рассеянное скопление	07 03,2	−08 20	6,3	16,0	3
51	5194	CVn	Спиральная галактика	13 29,9	+47 12	8,4	11×7	37 000
52	7654	Cas	Рассеянное скопление	23 24,2	+61 35	7,3	13,0	5,0
53	5024	Com	Шаровое скопление	13 12,9	+18 10	7,6	12,6	56,4
54	6715	Sgr	Шаровое скопление	18 55,1	−30 29	7,6	9,1	82,8
55	6809	Sgr	Шаровое скопление	19 40,0	−30 58	6,3	19,0	16,6
56	6779	Lyr	Шаровое скопление	19 16,6	+30 11	8,3	7,1	31,6
57	6720	Lyr	Планетарная туманность	18 53,6	+33 02	8,8	1,4×1,0	4,1
58	4579	Vir	Спиральная галактика	12 37,7	+11 49	9,7	5,5×4,5	60 000
59	4621	Vir	Эллиптическая галактика	12 42,0	+11 39	9,6	5×3,5	60 000
60	4649	Vir	Эллиптическая галактика	12 43,7	+11 33	8,8	7×6	60 000
61	4303	Vir	Спиральная галактика	12 21,9	+04 28	9,7	6×5,5	60 000
62	6266	Oph	Шаровое скопление	17 01,2	−30 07	6,5	14,1	21,5
63	5055	CVn	Спиральная галактика	13 15,8	+42 02	8,6	10×6	37 000
64	4826	Com	Спиральная галактика	12 56,7	+21 41	8,5	9,3×5,4	19 000
65	3623	Leo	Спиральная галактика	11 18,9	+13 05	9,3	8×1,5	35 000
66	3627	Leo	Спиральная галактика	11 20,2	+12 59	8,9	8×2,5	35 000
67	2682	Cnc	Рассеянное скопление	08 50,4	+11 49	6,1	30,0	2,7
68	4590	Hya	Шаровое скопление	12 39,5	−26 45	7,8	12,0	32,3
69	6637	Sgr	Шаровое скопление	18 31,4	−32 21	7,6	7,1	26,7
70	6681	Sgr	Шаровое скопление	18 43,2	−32 18	7,9	7,8	28,0
71	6838	Sge	Шаровое скопление	19 53,8	+18 47	8,2	7,2	11,7

M	NGC	Созвездие	Тип	Координаты (эпоха J2000,0)		Видимая визуальная звёздная величина m_V	Видимый (угловой) диаметр или размер	Расстояние, тыс. св. лет
				α	δ			
72	6981	Aqr	Шаровое скопление	$20^h53{,}5^m$	−12°32′	9,3	5,9′	52,8
73	6994	Aqr	Астеризм	20 58,9	−12 38	9,0	2,8	–
74	628	Psc	Спиральная галактика	01 36,7	+15 47	9,4	10,2×9,5	35 000
75	6864	Sgr	Шаровое скопление	20 06,1	−21 55	8,5	6,0	57,7
76	650	Per	Планетарная туманность	01 42,4	+51 34	10,1	2,7×1,8	3,4
77	1068	Cet	Спиральная галактика	02 42,7	−00 01	8,9	7×6	60 000
78	2068	Ori	Диффузная туманность	05 46,7	+00 03	8,3	8×6	1,6
79	1904	Lep	Шаровое скопление	05 24,5	−24 33	7,7	8,7	41,1
80	6093	Sco	Шаровое скопление	16 17,0	−22 59	7,3	8,9	27,4
81	3031	UMa	Спиральная галактика	09 55,6	+69 04	6,9	21×10	12 000
82	3034	UMa	Неправильная галактика	09 55,8	+69 41	8,4	9×4	12 000
83	5236	Hya	Спиральная галактика	13 37,0	−29 52	7,6	11×10	15 000
84	4374	Vir	Линзовидная галактика	12 25,1	+12 53	9,1	5,0	60 000
85	4382	Com	Линзовидная галактика	12 25,4	+18 11	9,1	7,1×5,2	60 000
86	4406	Vir	Линзовидная галактика	12 26,2	+12 57	8,9	7,5×5,5	60 000
87	4486	Vir	Эллиптическая галактика	12 30,8	+12 24	8,6	7,0	60 000
88	4501	Com	Спиральная галактика	12 32,0	+14 25	9,6	7r4	60 000
89	4552	Vir	Эллиптическая галактика	12 35,7	+12 33	9,8	4,0	60 000
90	4569	Vir	Спиральная галактика	12 36,8	+13 10	9,5	9,5×4,5	60 000
91	4548	Com	Спиральная галактика	12 35,4	+14 30	10,2	5,4×4,4	60 000
92	6341	Her	Шаровое скопление	17 17,1	+43 08	6,4	11,2	26,4
93	2447	Pup	Рассеянное скопление	07 44,6	−23 52	6,0	22,0	3,6
94	4736	CVn	Спиральная галактика	12 50,9	+41 07	8,2	7×3	14 500
95	3351	Leo	Спиральная галактика	10 44,0	+11 42	9,7	4,4×3,3	38 000
96	3368	Leo	Спиральная галактика	10 46,8	+11 49	9,2	6×4	38 000
97	3587	UMa	Планератная туманность	11 14,8	+55 01	9,9	3,4×3,3	2,6
98	4192	Com	Спиральная галактика	12 13,8	+14 54	10,1	9,5×3,2	60 000
99	4254	Com	Спиральная галактика	12 18,8	+14 25	9,9	5,4×4,8	60 000
100	4321	Com	Спиральная галактика	12 22,9	+15 49	9,3	7×6	60 000
101	5457	UMa	Спиральная галактика	14 03,2	+54 21	7,9	22,0	27 000
102?	5457	UMa	Спиральная галактика	14 03,2	+54 21	7,9	22,0	27 000
102?	5866	Dra	Линзовидная галактика	15 06,5	+55 46	9,9	5,2×2,3	40 000
103	581	Cas	Рассеянное скопление	01 33,2	+60 42	7,4	6,0	8
104	4594	Vir	Спиральная галактика	12 40,0	−11 37	8,0	9×4	50 000
105	3379	Leo	Эллиптическая галактика	10 47,8	+12 35	9,3	2,0	38 000
106	4258	CVn	Спиральная галактика	12 19,0	+47 18	8,4	19×8	25 000
107	6171	Oph	Шаровое скопление	16 32,5	−13 03	7,9	10,0	19,6
108	3556	UMa	Спиральная галактика	11 11,5	+55 40	10,0	8×1	45 000
109	3992	UMa	Спиральная галактика	11 57,6	+53 23	9,8	7×4	55 000
110	205	And	Эллиптическая галактика	00 40,4	+41 41	8,5	17×10	2 900

Каталог Колдуэлла

Интегральная видимая звёздная величина (m_V) измеряется путём суммирования света по всей площади объекта. Поэтому компактный объект с большей звёздной величиной иногда выглядит ярче и отыскивается легче, чем протяжённый диффузный объект меньшей звёздной величины. В качестве размера в таблице указана наибольшая протяжённость объекта.

Объекты расположены в порядке уменьшения склонений. Патрик Мур считает, что так удобнее. Жителям Северного полушария доступны для наблюдения все объекты от начала каталога до места, обусловленного географической широтой точки наблюдения и условиями видимости.

C	NGC	Тип	Координаты (эпоха J2000,0)		Созвездие	m_V	Размер	Примечание
			α	δ				
1	188	Рассеянное скопление	00^h44^m	85,3°	Cep	8,1	14′	Очень старое скопление
2	40	Планетарная туманность	00 13	72,5	Cep	10,7	0,6	
3	4236	Спиральная галактика	12 17	69,5	Dra	9,7	19	
4	7023	Отражательная туманность	21 02	68,2	Cep	7,0	18	

Каталог Колдуэлла *(продолжение)*

C	NGC	Тип	Координаты (эпоха J2000,0)		Созвездие	m_V	Размер	Примечание
			α	δ				
5	IC 342	Спиральная галактика	03^h47^m	68,1°	Cam	9,1	18′	
6	6543	Планетарная туманность	17 59	66,6	Dra	8,8	0,3/5,8	«Кошачий глаз»
7	2403	Спиральная галактика	07 37	65,6	Cam	8,4	18	
8	559	Рассеянное скопление	01 30	63,3	Cas	9,5	5	
9	Sh2–155	Эмиссионная туманность	22 57	62,6	Cep	≈9	50	«Пещера»
10	663	Рассеянное скопление	01 46	61,3	Cas	7,1	16	
11	7635	Эмиссионная туманность	23 21	61,2	Cas	8,5	15	«Пузырь»
12	6946	Спиральная галактика	20 35	60,2	Cep	8,9	11	
13	457	Рассеянное скопление	01 19	58,3	Cas	6,4	13	Скопление ϕ Cas
14	869/884	Рассеянное скопление	02 20	57,1	Per	4,3/4,4	30/30	h и χ Per
15	6826	Планетарная туманность	19 45	50,5	Cyg	9,8	0,5	«Мигающая»
16	7243	Рассеянное скопление	22 15	49,9	Lac	6,4	21	
17	147	Эллиптическая галактика	00 33	48,5	Cas	9,3	13	
18	185	Эллиптическая галактика	00 39	48,3	Cas	9,2	12	
19	IC 5146	Эмиссионная туманность	21 54	47,3	Cyg	7,2	12	«Кокон»
20	7000	Эмиссионная туманность	20 59	44,3	Cyg	5,0	120	«Северная Америка»
21	4449	Неправильная галактика	12 28	44,1	CVn	9,4	5	
22	7662	Планетарная туманность	23 26	42,6	And	9,2	0,3	«Голубой Снежок»
23	891	Спиральная галактика	02 23	42,4	And	10,0	14	
24	1275	Спиральная галактика	03 20	41,5	Per	11,6	3	Сейфертовская галактика Per A
25	2419	Шаровое скопление	07 38	38,9	Lyn	10,4	4	
26	4244	Спиральная галактика	12 18	37,8	CVn	10,2	16	
27	6888	Эмиссионная туманность	20 12	38,4	Cyg	≈11	20	«Полумесяц»
28	752	Рассеянное скопление	01 58	37,7	And	5,7	50	
29	5005	Спиральная галактика	13 11	37,1	CVn	9,8	5	
30	7331	Спиральная галактика	22 37	34,4	Peg	9,5	11	
31	IC 405	Эмиссионная туманность	05 16	34,3	Aur	≈7	30	«Пылающая звезда»
32	4631	Спиральная галактика	12 42	32,5	CVn	9,3	15	Галактика «Кит»
33	6992/5	Остаток сверхновой	20 57	31,5	Cyg	8,0	60	«Рыбачья сеть», E
34	6960	Остаток сверхновой	20 46	30,7	Cyg	8,0	70	«Рыбачья сеть», W
35	4889	Эллиптическая галактика	13 00	28,0	Com	11,4	3	
36	4559	Спиральная галактика	12 36	28,0	Com	9,9	11	
37	6885	Рассеянное скопление	20 12	26,5	Vul	5,7	7	
38	4565	Спиральная галактика	12 36	26,0	Com	9,6	16	Галактика «Игла»
39	2392	Планетарная туманность	07 29	20,9	Gem	9,9	0,7	«Эскимос»
40	3626	Спиральная галактика	11 20	18,4	Leo	10,9	3	
41		Рассеянное скопление	04 27	16,0	Tau	0,5	330	Гиады
42	7006	Шаровое скопление	21 02	16,2	Del	10,6	3	
43	7814	Спиральная галактика	00 03	16,2	Peg	10,5	6	
44	7479	Спиральная галактика	23 05	12,3	Peg	11,0	4	
45	5248	Спиральная галактика	13 38	8,9	Boo	10,2	7	
46	2261	Эмиссионная туманность	06 39	8,7	Mon	10,0	2	Переменная туманность Хаббла
47	6934	Шаровое скопление	20 34	7,4	Del	8,9	6	
48	2775	Спиральная галактика	09 10	7,0	Cnc	10,3	5	
49	2237-9	Эмиссионная туманность	06 32	5,1°	Mon	~4	80	«Розетка»
50	2244	Рассеянное скопление	06 32	4,9	Mon	4,8	24	
51	IC 161	Неправильная галактика	01 05	2,1	Cet	9,3	12	
52	4697	Эллиптическая галактика	12 49	–5,8	Vir	9,3	6	
53	3115	Линзовидная галактика	10 05	–7,7	Sex	9,2	8	«Веретено»
54	2506	Рассеянное скопление	08 00	–10,8	Mon	7,6	7	
55	7009	Планетарная туманность	21 04	–11,4	Aqr	8,3	0,6	«Сатурн»
56	246	Планетарная туманность	00 47	–11,9	Cet	8,0	4	

C	NGC	Тип	Координаты (эпоха J2000,0)		Созвездие	m_V	Размер	Примечание
			α	δ				
57	6822	Неправильная галактика	19^h45^m	−14,8°	Sgr	9,4	10′	Галактика Барнарда
58	2360	Рассеянное скопление	07 18	−15,6	CMa	7,2	13	
59	3242	Планетарная туманность	10 25	−18,6	Hya	8,6	0,6	«Призрак Юпитера»
60	4038	Спиральная галактика	12 02	−18,9	Crv	10,7	3	«Антенны»
61	4039	Спиральная галактика	12 02	−18,9	Crv	10,7	3	«Антенны»
62	247	Спиральная галактика	00 47	−20,8	Cet	8,9	20	
63	7293	Планетарная туманность	22 30	−20,8	Aqr	7,4	13	«Улитка»
64	2362	Рассеянное скопление	07 19	−25,0	CMa	4,1	8	Скопление τ CMa
65	253	Спиральная галактика	00 48	−25,3	Scl	7,1	25	Галактика Скульптора
66	5694	Шаровое скопление	14 40	−26,5	Hya	10,2	4	
67	1097	Спиральная галактика	02 46	−30,3	For	9,3	9	
68	6729	Отражательная туманность	19 02	−37,0	CrA	~11	1	R CrA
69	6302	Планетарная туманность	17 14	−37,1	Sco	12,8	0,8	«Букашка»
70	300	Спиральная галактика	00 55	−37,7	Scl	8,7	20	
71	2477	Рассеянное скопление	07 52	−38,6	Pup	5,8	27	
72	55	Спиральная галактика	00 15	−39,2	Scl	7,9	32	
73	1851	Шаровое скопление	05 14	−40,1	Col	7,3	11	
74	3132	Планетарная туманность	10 08	−40,4	Vel	8,2	1	«Южное кольцо»
75	6124	Рассеянное скопление	16 26	−40,7	Sco	5,8	29	
76	6231	Рассеянное скопление	16 54	−41,8	Sco	2,6	15	
77	5128	Галактика	13 26	−43,0	Cen	7,0	18	Радиогалактика Cen A
78	6541	Шаровое скопление	18 08	−43,7	CrA	6,6	13	
79	3201	Шаровое скопление	10 18	−46,4	Vel	6,8	18	
80	5139	Шаровое скопление	13 27	−47,5	Cen	3,7	36	ω Cen
81	6352	Шаровое скопление	17 26	−48,4	Ara	8,2	7	
82	6193	Рассеянное скопление	16 41	−48,8	Ara	5,2	15	
83	4945	Спиральная галактика	13 05	−49,5	Cen	8,6	20	
84	5 286	Шаровое скопление	13 46	−51,4	Cen	7,6	9	
85	IC 2391	Рассеянное скопление	08 40	−53,1	Vel	2,5	50	
86	6397	Шаровое скопление	17 41	−53,7	Ara	5,7	26	
87	1261	Шаровое скопление	03 12	−55,2	Hor	8,4	7	
88	5823	Рассеянное скопление	15 06	−53,6	Cir	7,9	10	
89	6067	Рассеянное скопление	16 13	−54,2	Nor	5,6	13	
90	2867	Планетарная туманность	09 21	−58,3	Car	9,7	0,3	
91	3532	Рассеянное скопление	11 06	−58,7	Car	3,0	55	
92	3372	Эмиссионная туманность	10 44	−59,9	Car	2,5	120	η Киля
93	6752	Шаровое скопление	19 11	−60,0	Pav	5,4	20	
94	4755	Рассеянное скопление	12 54	−60,3	Cru	4,2	10	«Шкатулка с драгоценностями»
95	6025	Рассеянное скопление	16 04	−60,5	TrA	5,1	12	
96	2516	Рассеянное скопление	07 58	−60,9	Car	3,8	30	
97	3766	Рассеянное скопление	11 36	−61,6	Cen	5,3	12	
98	4609	Рассеянное скопление	12 42	−63,0	Cru	6,9	5	
99		Тёмная туманность	12 53	−63,0	Cru	–	350	«Угольный мешок»
100	IC 2944	Рассеянное скопление	11 37	−63,0	Cen	4,5	15	
101	6744	Спиральная галактика	19 10	−63,9	Pav	8,4	16	
102	IC 2602	Рассеянное скопление	10 43	−64,4	Car	1,9	50	Южные Плеяды
103	2070	Эмиссионная туманность	05 39	−69,1	Dor	8,2	40	«Тарантул»
104	362	Шаровое скопление	01 03	−70,9	Tuc	6,6	13	
105	4833	Шаровое скопление	13 00	−70,9	Mus	7,4	14	
106	104	Шаровое скопление	00 24	−72,1	Tuc	4,0	31	47 Tuc
107	6101	Шаровое скопление	16 26	−72,2	Aps	9,3	11	
108	4372	Шаровое скопление	12 26	−72,7	Mus	7,8	19	
109	3195	Планетарная туманность	10 10	−80,9	Cha	11,6	0,6	

Метеорные потоки

Приведены данные только о наиболее крупных метеорных потоках. Момент максимальной активности потока связан с положением Земли на орбите, поэтому более точно на него указывает не календарная дата, а эклиптическая долгота Солнца ($l_\odot$) в этот момент. *N* – зенитное часовое число; столько метеоров заметил бы наблюдатель невооружённым глазом на всей полусфере неба при идеальных атмосферных условиях, если бы радиант располагался в зените. *V* геоц. – геоцентрическая скорость метеороидов, т. е. их скорость относительно Земли.

Поток	Период активности	Максимум активности		Радиант в максимуме		*N* в макс., шт./ч	*V* геоц., км/с	Комета – родоначальница потока
		Дата	$l_\odot$, °	α	δ, °			
Квадрантиды	28 декабря –7 января	3 января	283,2	$15^h\,30^m$	+50	90	42	Астероид (196256) 2003 EH1
Лириды	19–25 апреля	22 апреля	32,1	18 16	+34	$10–10^3$	48	Тэтчера (1861 I)
η-Аквариды	24 апреля – 20 мая	4 мая	44,5	22 27	0	20	6	1P/Галлея
δ-Аквариды N	15 июля – 20 августа	29 июля	125,7	22 22	–05	10	41	
δ-Аквариды S			125,7	22 38	–16	20	4	96P/Мачхольц 1
Персеиды	20 июля – 20 августа	12 августа	139,8	3 06	+58	100	60	109P/Свифта–Тутля
Дракониды	8–10 октября	9 октября	195,4	17 28	+54	10	23	21P/Джакобини– Циннера
Ориониды	17–26 октября	21 октября	208,7	6 22	+16	30	66	1P/Галлея
Южные Тауриды	26 октября – 22 ноября	2 ноября	220,7	3 24	+14	10	28	2P/Энке
Северные Тауриды		12 ноября	230,7	3 55	+23	10	29	Астероид 2004 TG10 и др.
Леониды	9–22 ноября	18 ноября	236,3	10 15	+22	$10–10^4$	72	55P/Темпеля–Тутля
Геминиды	5–18 декабря	13 декабря	262,3	7 30	+33	90	35	Астероид 3200/Фаэтон
Урсиды (UMi)	19–25 декабря	22 декабря	270,7	14 28	+75	10–50	35	8P/Тутля

Яркие галактики

Даже ближайшие галактики удалены на сотни тысяч, а то и миллионы световых лет. Но и звёзд в них – миллиарды! Поэтому даже на таком расстоянии мы замечаем некоторые галактики без особого труда: в небольшой телескоп, бинокль, а в исключительных случаях – и невооружённым глазом. В этой таблице, составленной на основе «Каталога ярких галактик» Х. Шепли и А. Эймс, приведены данные о 17 наиболее ярких галактиках нашего неба (до 9-й звёздной величины), доступных наблюдению в обычный бинокль. Большинство среди них – спиральные системы, но есть и эллиптические, и даже неправильные. Самые яркие из них относятся к Местной группе галактик, в которую входит и наша звёздная система – Млечный Путь.

У спутника галактики Андромеды (M 31) – небольшой эллипсовидной системы NGC 205 – морфологический тип неопределенный: она похожа и на линзовидную галактику, и на сильно сжатую эллиптическую систему. А галактика NGC 5128 вообще не поддается классификации, поскольку является конгломератом двух слившихся систем – эллиптической и спиральной (или неправильной).

Номер галактики указан по Новому общему каталогу (NGC) и по каталогу Мессье (M). Во втором столбце встречаются также аббревиатуры, не относящиеся к каталогу Мессье: это ММО – Малое Магелланово Облако, БМО – Большое Магелланово Облако и Cen A – радиогалактика Кентавр А. В третьем столбце указан морфологический тип галактики: S – спиральная, E – эллиптическая, I – неправильная, S0 – линзовидная, SB – пересеченная спиральная. Дополнительные маленькие буквы указывают подтип (a, b, c), схожесть с Магеллановыми Облаками (m) или необычность, пекулярность системы (p).

Галактика		Тип	Координаты (2000.0)		Расстояние		Видимые параметры		Истинные параметры	
NGC	M		α	δ	Мпк	млн св. лет	угловой размер	звёздная величина m_B	диаметр, тыс. св. лет	светимость, млрд $L_\odot$
55	–	Sc	$00^h15^m08^s$	–39°13,2′	3,1	10,1	25″×3″	8,2	73	9
205	110	S0/E5p	00 40 23	+41 41,3	0,73	2,4	8×3	8,8	6	0,3
221	32	E2	00 42 41	+40 51,9	0,73	2,4	3×3	9,0	2	0,2
224	31	Sb	00 42 45	+41 16,5	0,73	2,4	160×40	4,4	110	23
253	–	Sc	00 47 36	–25 17,4	4,2	13,7	22×6	8,1	88	18
–	ММО	Im	00 52 38	–72 48,0	0,06	0,20	216×216	2,8	13	0,5
300	–	Sc	00 54 53	–37 41,2	2,4	7,8	20×10	8,7	45	3
598	33	Sc	01 33 53	+30 39,2	0,67	2,2	60×40	6,3	38	2
–	БМО	SBm	05 23 36	–69 45,4	0,05	0,16	432×432	0,6	22	3
2403	–	Sc	07 36 54	+65 35,9	3,6	11,7	16×10	8,9	54	6
3031	81	Sb	09 55 34	+69 04,1	3,6	11,7	16×10	7,9	54	16
4258	106	Sb	12 18 57	+47 18,4	10,0	32,6	20×6	9,0	190	44
4736	94	Sab	12 50 54	+41 07,1	6,9	22,5	5×4	8,9	33	23
5128	Cen A	Ep?	13 25 29	–43 01,0	6,9	22,5	10×3	7,9	65	57
5194	51	Sbc	13 29 53	+47 11,9	11,0	35,9	12×6	8,6	125	76
5236	83	SBc	13 37 00	–29 52,0	6,9	22,5	10×8	8,5	65	33
5457	101	Sc	14 03 13	+54 21,0	7,6	24,8	22×22	8,2	160	52

Благодарности

Мы чрезвычайно признательны всем коллегам — астрономам и физикам, внесшим свой вклад в содержание этой книги. Любое справочное и энциклопедическое издание аккумулирует в себе множество предшествовавших работ, отметить каждую из которых абсолютно невозможно. Тем не менее всегда есть книги и обзоры, послужившие фундаментом для новой работы. В нашем случае ими были:

- Большая советская энциклопедия. 3-е изд. Т. 1–30. М.: Сов. энцикл., 1970–1978.
- Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звёзды / пер. под ред. Н. Н. Самуся. М.: Наука, 1990.
- Жаров В. Е. Сферическая астрономия. Фрязино: Век 2. 2006.
- Китчин К. Иллюстрированный словарь практической астрономии / пер. под ред. Н. Н. Шатского. М.: АСТ Астрель, 2006.
- Колчинский И. Г., Корсунь А. А., Родригес М. Г. Астрономы: биогр. справ. Изд. 2-е, перераб. и доп. Киев: Наукова думка, 1986.
- Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии / под ред. В. В. Иванова. Изд. 2-е, испр. М.: Едиториал УРСС. 2004.
- Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии / под ред. В. Г. Сурдина. Изд. 6-е, испр. и доп. М.: Книж. дом «ЛИБРОКОМ». 2009.
- Небо и телескоп / ред.-сост. В. Г. Сурдин. М.: Физматлит. 2008.
- Солнечная система / ред.-сост. В. Г. Сурдин. М.: Физматлит. 2008.
- Физика космоса: Маленькая энциклопедия / под ред. Р. А. Сюняева и др. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Сов. энцикл., 1986.
- Физическая энциклопедия. Т. 1–5 / под ред. А. М. Прохорова и др. М.: Сов. энцикл., 1988–1999.
- Collier's Encyclopedia. Crowell, Collier and Macmillan Pub. 1997.
- Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics / Robert A. Meyers, ed. San Diego, New York: Academic Press, Inc. 1989.
- Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics / Paul Murdin, ed. London: Institute of Physics Publishing Ltd and Nature Publishing Group. 2001.

Наш приятный долг — особо отметить имена коллег, внесших наибольший вклад в эту книгу в виде консультаций, а также материалами своих научных, обзорных и научно-популярных книг и статей. Это *Архипова В. П., Бердников Л. Н., Блинников С. И., Бисноватый-Коган Г. С., Блинов Н. С., Бочкарев Н. Г., Брагинский В. Б., Бурба Г. А., Бургин М. С., Бычков К. В., Горбацкий В. Г., Грищук Л. П., Долгов А. Д., Домогацкий Г. В., Дурлевич Р. З., Дыхне А. М., Ефремов Ю. Н., Засов А. В., Зельдович Я. Б., Каплан С. А., Кононович Э. В., Корнилов В. Г., Куимов К. В., Куликовский П. Г., Курильчик В. Н., Курт В. Г., Лозинская Т. А., Марочник Л. С., Матвеенко Л. И., Надёжин Д. К., Новиков И. Д., Павлов Г. Г., Пискунов А. Э., Прохоров М. Е., Псковский Ю. П., Расторгуев А. С., Родионова Ж. Ф., Рудницкий Г. М., Сажин М. В., Самусь Н. Н., Симонов Ю. А., Сомов Б. В., Стрельницкий В. С., Сюняев Р. А., Тоховинин А. А., Тсточава А. Г., Тутуков А. В., Уральская В. С., Усов В. В., Франк-Каменецкий Д. А., Хлопов М. Ю., Черепащук А. М., Чернин А. Д., Шандарин С. Ф., Шоломицкий Г. Б., Шустов Б. М., Щеглов П. В., Эргма Э. В., Юнгельсон Л. Р., Aller L. H., Bok B. J., Brandt J. C., Dick S. J., Kaler J. B. Lightman A. P., Moore P., Öpik E. J., Shore S. N., Thorne K. S.*

Неоценимую помощь в обзоре современных данных нам оказали также материалы, размещённые коллегами в Интернете, в особенности работы безымянных авторов статей на портале Wikipedia и на сайтах NASA.

Научно-популярное издание

БОЛЬШАЯ СОВРЕМЕННАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

Сурдин Владимир Георгиевич

БОЛЬШАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ АСТРОНОМИИ

Директор редакции Е. Кальёв
Ответственный редактор *В. Обручев*
Художественный редактор *А. Мусин*
Верстка *Н. Васильева*
Корректор *Н. Витько*

ООО «Издательство «Эксмо»
127299, Москва, ул. Клары Цеткин, д. 18/5. Тел. 411-68-86, 956-39-21.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Подписано в печать 16.08.2012.
Формат 84x108$^{1}/_{16}$. Печать офсетная. Усл. печ. л. 50,4.
Тираж 1 500 экз. Заказ 1496.

Отпечатано с электронных носителей издательства.
ОАО «Тверской полиграфический комбинат». 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34, Телефон/факс: (4822) 44-42-15.
Home page – www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) sales@tverpk.ru

ISBN 978-5-699-57087-4





Оптовая торговля книгами «Эксмо»:
ООО «ТД «Эксмо». 142700, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное,
Белокаменное ш., д. 1, многоканальный тел. 411-50-74.
E-mail: **reception@eksmo-sale.ru**

По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми покупателями *обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»*
E-mail: **international@eksmo-sale.ru**

International Sales: *International wholesale customers should contact Foreign Sales Department of Trading House «Eksmo» for their orders.*
international@eksmo-sale.ru

По вопросам заказа книг корпоративным клиентам, в том числе в специальном оформлении,
обращаться по тел. 411-68-59, доб. 2299, 2205, 2239, 1251.
E-mail: **vipzakaz@eksmo.ru**

Оптовая торговля бумажно-беловыми и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:
Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел./факс +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: **kanc@eksmo-sale.ru**, сайт: **www.kanc-eksmo.ru**

Полный ассортимент книг издательства «Эксмо» для оптовых покупателей:
В Санкт-Петербурге: ООО СЗКО, пр-т Обуховской Обороны, д. 84Е.
Тел. (812) 365-46-03/04.
В Казани: Филиал ООО «РДЦ-Самара», ул. Фрезерная, д. 5.
Тел. (843) 570-40-45/46.
В Самаре: ООО «РДЦ-Самара», пр-т Кирова, д. 75/1, литера «Е».
Тел. (846) 269-66-70.
В Екатеринбурге: ООО «РДЦ-Екатеринбург», ул. Прибалтийская, д. 24а.
Тел. +7 (343) 272-72-01/02/03/04/05/06/07/08.
В Новосибирске: ООО «РДЦ-Новосибирск», Комбинатский пер., д. 3.
Тел. +7 (383) 289-91-42. E-mail: **eksmo-nsk@yandex.ru**
В Киеве: ООО «РДЦ Эксмо-Украина», Московский пр-т, д. 6.
Тел./факс: (044) 498-15-70/71.
В Донецке: ул. Артема, д. 160. Тел. +38 (062) 381-81-05.
В Харькове: ул. Гвардейцев Железнодорожников, д. 8. Тел. +38 (057) 724-11-56.
Во Львове: ул. Бузкова, д. 2. Тел. +38 (032) 245-01-71.
Интернет-магазин: www.knigka.ua. Тел. +38 (044) 228-78-24.
В Казахстане: ТОО «РДЦ-Алматы», ул. Домбровского, д. 3а.
Тел./факс (727) 251-59-90/91. RDC-Almaty@eksmo.kz

Полный ассортимент продукции издательства «Эксмо»
можно приобрести в магазинах «Новый книжный» и «Читай-город».
Телефон единой справочной: 8 (800) 444-8-444.
Звонок по России бесплатный.

В Санкт-Петербурге в сети магазинов «Буквоед»:
«Парк культуры и чтения», Невский пр-т, д. 46. Тел. (812) 601-0-601
www.bookvoed.ru

По вопросам размещения рекламы в книгах издательства «Эксмо»
обращаться в рекламный отдел. Тел. 411-68-74.

Интернет-магазин ООО «Издательство «Эксмо»
www.fiction.eksmo.ru
Розничная продажа книг с доставкой по всему миру.
Тел.: +7 (495) 745-89-14 . E-mail: **imarket@eksmo-sale.ru**

БОЛЬШАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ АСТРОНОМИИ

«Зоопарк» астрономических терминов велик, и он постоянно расширяется: квазары, пульсары, магнитары, блазары, метеориты, метеоры, метеороиды, новые, сверхновые, гиперновые, мириды, цефеиды, персеиды, леониды. В астрономии много специфических слов. Одни обозначают типы объектов, другие — типы явлений. Обилие специфических терминов затрудняет изучение астрономии, чтение научных новостей и перевод книг и кинофильмов.

Эта энциклопедия рассчитана на школьников, студентов, учителей, журналистов и переводчиков, но будет полезна всем, кто интересуется строением Вселенной и космической физикой, кто по роду своей деятельности связан с исследованиями космоса. В ней приведены подробные толкования более чем 2500 терминов из широкого диапазона космических наук — от астробиологии до ядерной астрофизики, от изучения черных дыр до поиска темной материи и темной энергии. Приложения с картами звездного неба и последними данными о крупнейших телескопах, планетах и их спутниках, солнечных затмениях, метеорных потоках, звездах и галактиках делают ее удобным справочником.

ISBN 978-5-699-57087-4





ЭКСМО