

22.0
Б 87

СОВРЕМЕННАЯ ШКОЛЬНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

АСТРОНОМИЯ



Введение

Что делает человека человеком? Возможно, умение наделять особым смыслом, казалось бы, обычные явления окружающего мира...

Автор

Обладая даром разума, отличающим его от всех других живых существ, человек с самого начала своего существования привык смотреть вверх, в ночное небо, пытаясь найти в россыпях звезд ответы на все свои вопросы. И этим человек современный ничуть не отличается от своего далекого предка. Он продолжает всматриваться в бездонное небо — пусть и через линзы телескопа или экран радара, — стремится отправить свои космические аппараты в другие Галактики. И все лишь для того, чтобы найти ответы на свои извечные вопросы: «Кто я? Зачем я на этой земле?»

Далеко вперед ушла наука. Люди уже не видят в скоплениях звезд странных чудовищ и отважных героев, Земля не кажется окруженной несколькими вложенными друг в друга стеклянными сферами с расположенными на них Солнцем, Луной и планетами, развеян миф о неподвижности Солнца. Границы познания давно вышли за пределы Солнечной системы и нашей Галактики.

Появились новые направления: радио-, рентгеновская и гамма-астрономия, астрономия фотонов сверхвысокой энергии, нейтринная и гравитационная астрономия. Теперь у нас есть изображения, которые переносят нас на миллиарды лет назад, в эпоху, когда формировались первые галактики. Открыты уникальные небесные объекты, свойства которых необъяснимы с точки зрения традиционной лабораторной физики. Компактные звезды, нейтронные звезды, черные дыры, квазары поражают наше воображение и демонстрируют, сколь мало мы знаем о таком, казалось бы, простом и привычном ночном небе. Небо не торопится раскрывать свои тайны...

Астрономия в Древнем мире

История астрономии начинается там же, где лежат истоки истории самого человечества — где-то в необозримой глубине времен мифических, отголоски которых мы слышим в народных преданиях и легендах. Времен, когда герои сражались с древними чудовищами, сжимая в руках оружие из небесного металла...

Небо всегда влекло к себе человека, особенно ночное, усыпанное мириадами сияющих звезд. Но не всегда это влечение было связано с духовными поисками, зачастую оно носило сугубо прагматический характер — ведь в небе можно найти и ориентиры для перемещения по Земле.

Благодаря звездам можно было ориентироваться в пространстве и во времени. Например, предутренний восход одних и тех же ярких звезд сигнализировал о наступлении теплого сезона (с этой целью египтяне выделяли Сириус, майя — «Большую звезду», или Венеру). Именно астрономия, сопровождав-

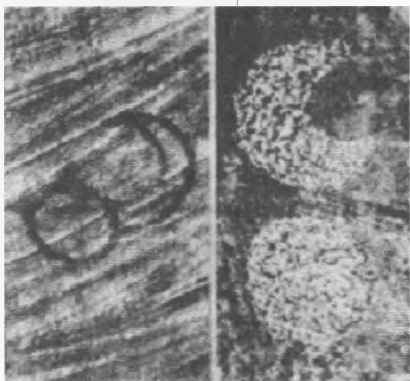
шая человека на протяжении всей его истории, может по праву именоваться древнейшей из наук.

Археологами были обнаружены упоминания об астрономических наблюдениях в самых ранних известных письменных документах, которые датируются 3-м, а по некоторым данным — даже 4-м тысячелетием до н. э. (например, в Египте). И совсем к уж невообразимым временам относят так называемые «солярные знаки» — наскальные и пещерные рисунки первобытного человека, на которых изображены небесные светила.

В отличие от сведений, сохранившихся в письменных источниках, сведения, дошедшие до наших дней лишь в виде археологических (материальных) памятников прошлого или в виде изустных преданий (фольклора), относятся к «доисторическим». Это различные астрономические мотивы в древнейших мифах,

Млечный Путь

Наскальные изображения в Аризоне. Слева — молодая Луна, сближившаяся со звездой. Справа — старая Луна и яркая звезда.



сказках, песнях, танцах, имевших когда-то ритуальный смысл. К примеру, обряд масленицы — это свидетельство поклонения древних славян Солнцу. Космологические и космогонические мотивы особенно свойственны сказкам и мифам народов Африки, Океании, Филиппин, отчасти Индии и Китая.

Практически у всех древнейших цивилизаций ученые находят следы астрономической деятельности — и в Междуречье, и в Малой Азии, и в Индии с Китаем, и в Средиземноморье. Но начнем мы свое путешествие в глубь истории с севера, а точнее — с Британских островов.

Стоунхенджи Древнего мира

«...Пошли за Пляской Великанов, что в Килларосе, на горе в Ирландии. Ибо камни эти таковы, что в нынешнем веке не мог бы их поставить никто, если только не будет ум его велик в меру его искусства. Ибо огромны камни эти, и нигде нет других наделенных равной силой, а потому, поставленные кольцом вокруг этого места, как стоят они ныне, простоят они тут до скончания века... в этих камнях скрыта тайна, и целительна сила их против многих болезней. Великаны в старину принесли их из дальних пределов Африки... и среди них нет камня, не наделенного силой волшебства».

Именно так описывает Стоунхендж (от англ. stone hedge — «каменное ограждение» или, по другой версии, — «висячие камни») британский историк Джоффри Монмутский в своем труде «Хроники британских королей» одно из самых знаменитых и загадочных сооружений, которое использовалось, помимо всего прочего, и для астрономических целей.

В центре этого древнего сооружения расположен камень размерами 4,8 x 1 x 0,5 м, вокруг которого в виде гигантской подковы поперечником около 15 м стояли пять трилитов (сейчас осталось только три). Трилиты — в переводе с греческого «сложенный из трех камней», два семиметровых столба, перекрытые плитой, общим весом около 50 т, — были охвачены кольцом из 30 вертикальных отшлифованных камней, каждый из которых имел высоту около 5,5 м, ширину 2,1 м, толщину несколько больше 1 м и массу примерно 25 т. На этих закопанных в землю на глубину 1,2 м опорах и было положено кольцо горизонтальных плит, каждая из которых имела массу примерно 7 т. Диаметр этого каменного кольца (обычно называемого «сарсеновым») равен 29,6 м. Вне его расположены:

Мегалиты (от греч. *megas* — «большой» и *lithos* — «камень») — сооружения из громадных каменных глыб и столбов, упорядоченно расположенных, обычно на обширной плоской площадке, с выделением астрономически значимых направлений. Мегалиты распространены во всем мире, преимущественно в приморских областях. Существует три основных типа мегалитических построек: дольмен (*daol* — в перев. с бретонского яз. «стол», *теп* — «камень») — сооружение из огромного камня, поставленного на несколько других камней; менгир (*теп* — «камень», *hir* — «длинный») — одиночный вертикально стоящий камень; кромлех (*cromm* — закругленный, *lech* — место) — группа менгиров, образующая круг или полукруг.

Менгир в Ирландии



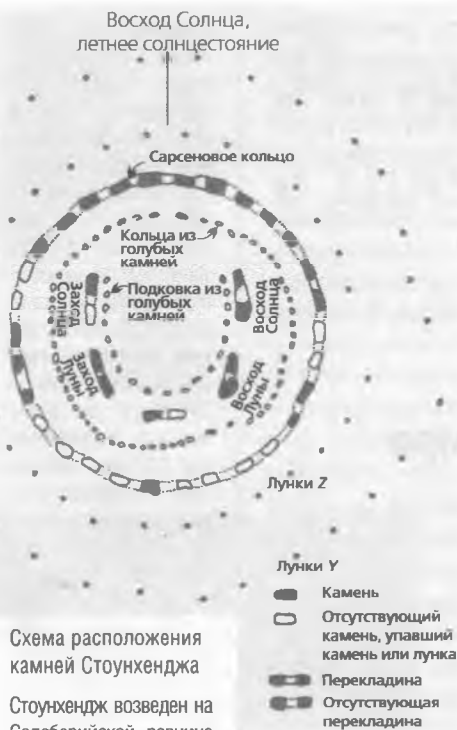


Схема расположения камней Стоунхенджа

Стоунхендж возведен на Солсберийской равнине (графство Уилтшир, Южная Англия). По мнению археологов, строительство этого поистине колоссального сооружения длилось свыше 500 лет — срок жизни 25 поколений. За это время сменилось несколько культур — в Стоунхендже найдены следы по меньшей мере трех отличных друг от друга народов, которые оказались объединены общей целью Стоунхендж

- кольцо диаметром около 40 м, состоящее из 30 лунок;
- кольцо диаметром около 53,4 м, также состоящее из 30 лунок;
- так называемое «кольцо Обри», диаметр которого равен 88 м, состоящее из 56 лунок («лунок Обри», названных в честь одного из первых исследователей Стоунхенджа XVII в. Джона Обри). Диаметры и глубины таких лунок различны — от 0,8 до 1,8 м и от 0,6 до 1,2 м соответственно.

Далее за кольцом Обри шел внутренний вал — меловое кольцо шириной около 6 м, высотой не менее 1,8 м и диаметром примерно в 100 м. Весь этот комплекс был окружен внешним валом (его диаметр 115 м, ширина насыпи 2,5 м при высоте 50–80 см), за которым было еще кольцо отдельных ям — карьеров, из которых извлекался материал для насыпания вала.

Вход в Стоунхендж (шириной около 10 м) находился с северо-востока, в сторону которого открывалась подкова трилитов.

Именно там на расстоянии примерно 85 м от центра комплекса стоит каменный столб — менгир («пяточный камень», или «алтарный камень») высотой 6 м и массой 35 т.

Археологи делят строительство Стоунхенджа на три основных этапа с дальнейшим более дробным подразделением, охватывающие в общей сложности период примерно с 2000 по 1500 г. до н. э.

Недавно с помощью компьютера ученые определили, что все сооружение представляло собой сложную лунно-солнечную обсерваторию, где древние астрономы наблюдали за движением Солнца и Луны (по другой версии, Стоунхендж был храмом Солнца). Древние строители установили камни так, что если мысленно соединить их линиями, то они сойдутся в точках восхода Солнца в дни летнего и зимнего солнцестояния. Эти линии указывают также положение Луны в определенное время года. Кроме того, кольцо Стоунхенджа использовались для предсказания тех месяцев года, в которые должны были произойти затмения.

Подобные наблюдательные площадки обнаружены и в других местах, например в Северной Америке, а также в Центральной Америке, в городах и храмах майя.



Египетские пирамиды, как и почти все линии, избороздившие пустыню Наска, тоже ориентированы по странам света. А не так давно в Амазонии была найдена древнейшая астрономическая обсерватория в Южной Америке, за свою схожесть с сооружениями близ Солсбери получившая название «Тропический Стоунхендж».

Обсерватория состоит из 127 гранитных блоков, расположенных на открытом плато. Камни расставлены с правильными интервалами по окружности, а в центре возвышаются более крупные гранитные глыбы, высота которых достигает трех метров. Возраст древней обсерватории, по оценкам ученых, может исчисляться от 500 до 2000 лет. К такому выводу помогли прийти обломки керамической посуды, найденные рядом с монолитами.



Рисунки в пустыне
Наска

Астрономия Вавилона

Одно из важнейших мест в истории астрономии занимают астрономии Вавилона и Древнего Египта, поскольку именно здесь астрономия сформировалась как наука и достигла высочайшего в Древнем мире уровня.

По мнению ученых, в долине между двумя реками — Тигром и Евфратом — уже в 5–4 тыс. до н. э. существовали города-государства загадочной цивилизации шумеров. Уже в 3 тыс. до н. э. этот народ избрал письменность, которая развивалась в клинописи, и шестидесятеричную систему счисления. Со VI тыс. по II в. до н. э. в Междуречье существовало объединенное шумеро-аккадское государство Вавилон.

Необходимость астрономических наблюдений, прежде всего, обуславливалась потребностью предсказывать разливы двух могучих рек, которые иногда принимали катастрофические масштабы. Но с VII в. до н. э. стала интенсивно развиваться вавилонская математическая астрономия — количественное изучение и описание с помощью математических методов движений светил, особенно Луны.

Немалую роль в жизни обитателей Междуречья играло и кочевое скотоводство, подразумевавшее умение хорошо ориентироваться. В начале лета огромные стада овец и коз отправлялись в горы, где можно было найти сочные пастбища и воду, а с приходом осени они возвращались обратно, на равнину. Подобный уклад жизни привел к тому, что уже к 1 тыс. до н. э. вавилоняне знали пять планет, объединяя их общим названием «биббу» («козлы», которые с древнейших времен использовались в качестве вожakov овечьих стад).

В коллекции клинописных табличек, собранной ассирийским царем Ашшурбанипалом в VII в. до н. э. в Ниневии, археологами обнаружена большая астрологическая серия «Энума Ану Энлиль», в которой были собраны предзнаменования за более чем тысячелетний период.

Клинопись. Вавилон.
1722 г. до н. э.





Плеяды (Стожары) можно увидеть невооруженным глазом даже в городе

Примерно во 2 тыс. до н. э. шумерами был изобретен лунный календарь. Он состоял из 12 синодических лунных месяцев по 29 и 30 дней поровну, так что год составляли 354 дня. Шумеры были знакомы и с солнечным тропическим годом, определяя его как промежуток времени между моментами, когда тень от гномона в полдень была наименьшей (летнее солнцестояние). Для согласования с ним лунного календаря в последнем каждые 2 года делали вставки 13-го месяца. В V в. до н. э. вавилонские астрономы открыли так называемый метонов цикл — период из 19 солнечных лет, приблизительно равный целому числу (235) синодических лунных месяцев.

Шумеры вели систематическое наблюдение неба начиная со второй половины 3 тыс. до н. э. Именно в то время ими уже были выделены и названы Сириус, Орион, Плеяды. В VII в. до н. э. в Вавилоне был создан учебник по астрономии («Муль апин»), который начал составляться еще в 3 тыс. до н. э. В этом учебнике содержатся списки созвездий северной, экваториальной и южной частей неба. Помимо прочего, в нем приведены:

- даты гелиакического восхода некоторых звезд (т.е. первого после периода невидимости восхода звезды в лучах утренней зори);
- промежутки времени между гелиакическими восходами отдельных звезд;
- списки пар звезд, одна из которых восходит, когда другая заходит;

Уже к началу VII в. до н. э. вавилоняне выделили на небе экваториально-эклиптикальный пояс созвездий — круговую зону шириной около 30°, в которой перемещались Луна, Солнце, планеты и 15 созвездий, почти все названные именами животных. Для наблюдения за Луной примерно в VI в. до н. э., подобно египтянам, вавилоняне разделили эту зону на 36 участков по 10°. Спустя два века — в IV в. до н. э. — мелкие участки были объединены по три, и вся зона оказалась разделенной на 12 участков-созвездий. Позднее подобная система разделения была заимствована древними греками, которые дали ей привычное всем нам сегодня название зодиак (с греч. «круг животных»). Вообще же разделение круга неба на 360° в Вавилоне мы обязаны шумерской шестидесятеричной системе счисления.

Огромное значение вавилоняне уделяли наблюдениям и предсказаниям солнечных и лунных затмений, после себя они оставили практически полный список затмений начиная с 763 г. до н. э. Спустя столетия эти наблюдения использовал Птолемей для улучшения теории движения Луны.

Вавилонские астрономы смогли установить, что солнечные затмения случаются лишь в начале месяца (то есть на новолуние), а лунные — в середине (в полнолуние) и что затмения происходят не каждый месяц, а с перерывами в 5–6 месяцев. Вдобавок астрономы Вавилона открыли 18-летний цикл повторений последовательности лунных затмений, который широко использовали для предсказания лунных явлений.

Особое внимание вавилонских астрономов привлекала Венера — наиболее яркое светило вечернего и утреннего неба после Луны. Еще в 3 тыс. до н. э. шумеры знали, что «вечерняя»

и «утренняя» звезда — одно и то же светило, в то время как греки вплоть до середины 1 тыс. до н. э. принимали их за два.

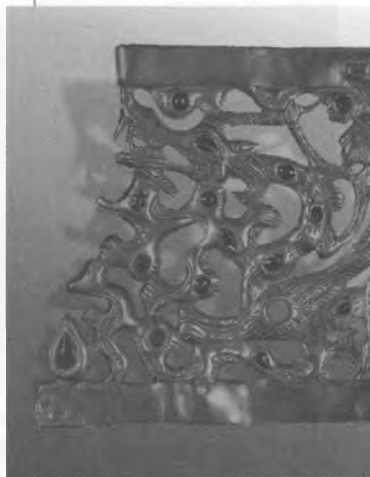
В самых древних документах положения подвижных светил отмечались просто относительно ярких звезд, чье нахождение определялось относительно второго наблюдателя, сидевшего перед первым спиной к югу. Но уже в IV в. до н. э. вавилонянами была изобретена первая система небесных координат, где измерялись в основном эклиптические долготы светил, но отсчитываемые в пределах каждого знака зодиака — от его западной границы к востоку. Лишь для Луны измерялось и отклонение от эклиптики — широта.

Имея глубокие для своего времени познания в математике (вавилоняне знали стереометрию, за сто лет до греков открыли теорему, известную нам как теорема Пифагора), вавилонские астрономы ввели в свою науку развитый математический аппарат. Например, им принадлежит открытие оригинального арифметического способа для описания неравномерного движения Луны — «линейной зигзагообразной функции». Путь Луны по созвездиям разбивали на равные участки, в пределах которых скорость принималась за постоянную, но от участка к участку она изменялась скачком. Другой способ состоял в записи изменяющейся длины синодического месяца в виде арифметической прогрессии, попеременно возрастающей и убывающей. В результате были составлены эфемериды — сборник таблиц небесных координат Луны, позволявший весьма точно предсказывать ее положения.

Благодаря колоссальному объему наблюдений за небесными светилами вавилонские астрономы установили закономерности в поведении планет. Некоторые ученые полагают, что вавилоняне сумели определить периодичность и в появлении комет, которые они считали планетоподобными светилами.

С одним из самых старых вавилонских созвездий — Драконом — связана легенда о борьбе божества-покровителя Вавилона Мардука с чудовищем женского рода Тиамат, из шкуры которого, усеянной бриллиантами, и было якобы сделано небо. Сторожить же его был приставлен Дракон. Выделение этого созвездия связано с тем, что именно ярчайшая его звезда — α Дракона — в 3 тыс. до н. э. располагалась ближе всех к северному полюсу мира.

О важности астрономических наблюдений в Древнем Вавилоне свидетельствует и тот факт, что с VII в. до н. э. в Вавилоне существо-



Небесный дракон Лун. Диадема. II—I в. до н. э. Фрагмент. Диадема найдена в погребении жрицы в урочище Каргалы под Алматы

Вавилонский зиккурат. Реконструкция



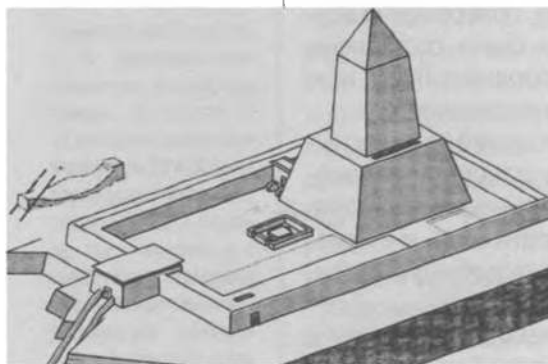
Современная наука до сих пор использует наследие вавилонских астрономов: круг, разделенный на 360 градусов (и далее — на минуты и секунды), зодиак из 12 созвездий (причем, по мнению ученых, названия большинства созвездий представляют собой всего лишь греческий перевод вавилонских) и систему астрономических координат.

вала официальная должность придворного астронома. Его задачей была систематическая запись наиболее важных изменений и явлений на небе.

При строительстве культовых сооружений (храмов) вавилоняне обязательно учитывали их ориентацию в пространстве. Каждый храм ориентировался по звезде божества-покровителя. При этом направление оси храма устанавливалось точкой пересечения с линией горизонта круга склонений (большой круг, проходящий через полюс и конкретную звезду). Сегодня установлено, что вавилонские строители использовали большой круг, проходящий через созвездие Большой Медведицы в районе звезды Мицар, через полюс мира (который в те времена располагался вблизи звезды α Дракона) и через звезду Спика.

Заканчивая рассказ о вавилонской астрономии, нельзя не сказать о том, что именно она сыграла большую, если не решающую роль в развитии древнегреческой астрономии в эллинистическую эпоху (с III в. до н. э.).

Астрономия строителей пирамид



Солнечное святилище
Ниусер-ра.
Вверху — реконструкция



Возникновение астрономии в стране сфинксов и пирамид ученые относят к 4 тыс. до н. э. — именно в этот период произошел переход к оседлой жизни. С этого момента жизнь египтян оказалась тесно переплетена с великой рекой — Нилом, от разливов которого зависело все живое. Хотя они не имели четкой периодичности, их сезонность и связь с полуденной высотой Солнца была очевидна древним наблюдателям.

Как и в Древнем Вавилоне, в Египте астрономией занимались жрецы и специальные чиновники, ведшие запись небесных явлений.

Особый интерес древнеегипетские астрономы проявляли к затмениям. Например, в начале III в. греческий писатель Диоген Лаэртский упоминал о том, что в египетских хрониках содержится информация о 373 солнечных и 332 лунных затмениях, которые древнеегипетские астрономы наблюдали в период до начала правления Александра Македонского.

Именно в Древнем Египте был открыт цикл чередования лунных и солнечных затмений — сарос (в переводе с древнеегипетского — «повторение».) Сарос составляет 18 лет 11,3 дней (или 18 лет 10,3 дней, если на указанный промежуток времени пришлось 5 високосных лет). За этот период происходит в среднем 43 солнечных и 28 лунных затмений.

Примерно во 2 тыс. до н. э. (эпоха Среднего Царства) египтяне разделили небо на 36 экваториально-эклиптических созвездий, а с конца IV в. до н. э. приняли к использованию вавилонский зодиак.

Древние египтяне оставили современной астрономии в наследство 365-дневный гражданский календарь без вставок, который практически без изменений использовался европейскими астрономами вплоть до XVI в.

Благодаря изобретению десятичной системы счета задолго до вавилонян египтяне ввели деление суток на 24 часа. Сначала было введено разделение на 10 частей светлой части суток и по одному часу добавлялось на утренние и вечерние сумерки. Позднее на 12 частей разделили и всю темную часть суток. Вначале длина ночных и дневных часов изменялась по сезонам, и лишь с конца IV в. до н. э. были введены единые «равноденственные» часы.

Еще египтяне оставили нам 30-дневные месяцы с делением на три декады, семидневную неделю (по числу подвижных светил) и планетные названия дней.

В начале III тыс. до н. э. древние египтяне создали оригинальный солнечный календарь — «сотический». Год в нем был солнечным, но не тропическим, а сидерическим, составляя промежуток между двумя соседними гелиакическими восходами Сириуса — ярчайшей звезды североафриканского неба. Также использовался и обычный календарь, в котором год принимался в 365 дней и делился на 12 (30-дневных) месяцев, которые в свою очередь состояли из трех декад. В конце года добавлялось 5 дней как «дни рождения основных богов». Использовался в Египте и лунный календарь.

Значение египетской астрономии можно проиллюстрировать простым примером: греки, заложившие фундамент научной астрономии и определившие ее развитие на многие века, называли себя всего лишь «учениками египетских астрономов».



Солнечные часы

Древнеегипетские астрономы для своих наблюдений использовали солнечные и водяные часы (которые появились в XX в. до н. э., то есть на два века позднее, чем в Вавилоне), а также угломерные инструменты.

Храм Хатхор, I в. н. э. Богиня неба Нут рождает солнце, лучи которого падают на Дендеру (изображение слева, вниз головой). Зигзагообразные линии показывают небо как водный поток, по которому плывут ладьи божеств-звезд и созвездий.



Астрономия Древнего Китая и Индии

Достижения астрономов **Древнего Китая** во многом были идентичны открытиям их коллег в Вавилоне и Египте, но из-за большой географической удаленности они стали известны европейским астрономам спустя столетия, а иногда и тысячелетия.

До наших дней дошли астрономические тексты, которые датированы XV в. до н. э., в них описываются группы ярких звезд — «Огненные» (Скорпион), «Птичьи» (Гидра) и многие другие. То, что эти тексты были вырезаны на черепаших панцирях и лопаточных костях, указывает на использование их в мантических (то есть гадательных) целях.

Самые древние китайские книги, содержащие в том числе и астрономические знания, относятся к середине 1 тыс. до н. э. «Шань хай цзин» («Книга гор и морей») датируется VIII–II в. до н. э. В этом анонимном труде описана космология Древнего Китая, а также в зашифрованном виде содержится карта звездного неба и система календарного счисления. «Шу цзин», или «Шан шу», («Книга преданий») представляет собой сборник преданий, мифов, а также описаний исторических событий, правительственных распоряжений и прочих документов по древнейшей истории Китая в период с 2357 по 627 гг. до н. э. и является наиболее почитаемым древнекитайским литературным памятником. «Ши цзин» («Книга песен») составлена в X–VI вв. до н. э. и представляет собой поэтическое собрание китайской древности. К слову, редакцией «Книги преданий» и «Книги песен» в более поздние времена занимался сам Кун-цзы, более известный нам под именем Конфуция (551–479 гг. до н. э.). В перечисленных выше трудах указывается, что уже во времена легендарной династии Ся (конец 3 тыс. — начало 2 тыс. до н. э.) при дворе правителя существовали две официальные должности астрономов-чиновников.

Во 2 тыс. до н. э. для слежения за движением Луны китайские астрономы разделили область неба, в которой перемещались Солнце, Луна и планеты, на 28 участков-созвездий и, кроме того, на четыре «сезонных» участка по три созвездия в каждом (своеобразный китайский зодиак). В VI в. до н. э. они выделили Млечный Путь как некое явление неизвестной природы. Его называли Молочным Путем, Серебряной Рекой, Небесной Рекой и т. д.

Вообще в Древнем Китае было совершено много крупнейших астрономических открытий. Например, в I в. н. э. здесь была обнаружена неравномерность движения Луны, а также с высокой точностью (с ошибкой всего около минуты) измерен период возвращения ее к точке наиболее медленного движения (аномалистический месяц). Еще раньше, в IV в. до н. э., был измерен сидерический период Юпитера, а спустя



Чжан Хэн

С III в. до н. э. в Китае использовались солнечные и водяные часы. В это же время китайцами был изобретен компас. Великий древнекитайский астроном Чжан Хэн сконструировал армиллярную сферу, приводимую во вращение специальным гидромеханическим механизмом. Рядом со сферой стояло искусственное дерево-календарь, с которого ежедневно падало по одному листу. В конце месяца упавшие листья снова водворялись на дерево.

всего столетие китайские астрономы уже знали о синодических и сидерических периодах движения всех планет.

В 355 г. до н. э. известные древнекитайские астрономы Гань Гун и Ши Шэнь (автор первого в Китае специального астрономического сочинения «Тяньвэнь» («Астрономия»)) составили наиболее ранний звездный каталог «Книга звезд Гань и Ши», содержащий свыше 800 звезд с указанием эклиптических координат для 120 из них. Другой знаменитый китайский астроном Чжан Хэн (78–139) разделил все небо на 124 созвездия, причем подсчитал, что общее количество хорошо видимых в Китае звезд близко к 2,5 тысячи. Из них 320 звездам он дал собственные имена.

Возможно, именно в Китае возникли первые астрономические обсерватории, поскольку уже в XII в. до н. э. наблюдения за небом китайскими астрономами велись со специальных площадок-обсерваторий. В V в. н. э. возникла обсерватория в Нанкине, а в XII в. н. э. положено начало Пекинской обсерватории. До наших дней сохранилась древнейшая Чжоугунская обсерватория, от которой остались частично разрушенный старинный гномон и сравнительно невысокая башня с площадкой наверху, предназначенной для размещения переносных гномомерных инструментов.

С эпохи Шан-Инь (XIII–XI вв. до н. э.) в Китае появилась служба неба, в задачи которой входило слежение за движением планет и регистрация всех неожиданных явлений на небе: комет, новых звезд, падающих звезд, болидов. В китайских хрониках отмечены появления новых звезд («звезды-гости») начиная с 532 г. до н. э. Появление комет отмечалось как феномен «звезд-метел». Наиболее ранняя запись о комете относится к 1058–1057 г. до н. э. Это самое древнее из известных наблюдение кометы Галлея (начиная с 240 г. до н. э. китайцы не пропустили ни одного ее возвращения). Китайские астрономы первыми отметили и характерное нап-



Чжоугунская башня-обсерватория в Гаочунчжэне для измерения длины солнечной тени и определения моментов солнцестояний тени солнца в солнцестояниях

Комета Галлея названа в честь английского астронома Э. Галлея (1656–1742), предсказавшего ее возвращение в 1758 г. и тем доказавшего, что она – объект Солнечной системы. Период обращения кометы Галлея около 76 лет





Частное затмение
Солнца

равление хвостов комет — прочь от Солнца.

Особое внимание уделялось предсказанию солнечных и лунных затмений, рассматривавшемуся как важнейшая государственная служба. Китайские астрономы в VIII–V вв. до н. э. знали о пересечении путей Солнца и Луны, т. е. о существовании «лунных узлов» и об их перемещении по небу. Они установили, что затмения происходят лишь тогда, когда Луна и Солнце одновременно ока-

зываются близ этих точек. С 720 г. до н. э. за 250 лет китайскими астрономами было отмечено 37 затмений Солнца, из которых 33 подтвердились современными расчетами. Регулярные и тщательные наблюдения позволили китайским астрономам первыми зарегистрировать пятна на Солнце (в 301 г. до н. э.), о чем свидетельствует запись в китайской летописи: «В марте первого года Хэ-Пин взошло желтое Солнце и посередине его имеется темное пятно величиной с монету». Астроном Чжан Хэн сделал заключение, что Луна светит отраженным от Солнца светом, и правильно объяснил явление лунных затмений.

Отдельного рассмотрения заслуживает календарь Древнего Китая. Еще во времена императора Июа, то есть около 2340 лет до н. э., астрономы в Китае установили самый долгий и самый короткий день в году, а также оба дня, на которые падает равноденствие весной и осенью. Они делили год на четыре периода, знали, что в году заключается 365 дней и 6 часов, ввели для поправки календаря, високосные годы.

За точку отсчета в китайском календаре взята дата начала царствования легендарного «желтого императора» Хуан-ди (8 марта 2637 г. до н. э.).

Этот календарь представляет собой 60-летнюю циклическую систему, основанную на астрономических циклах Солнца, Земли, Луны, Юпитера и Сатурна. Основными являются 12-летний цикл Юпитера и 30-летний цикл Сатурна. Начало нового года колеблется от 20 января до 20 февраля и привязывается к новолунию, когда Солнце вступает в созвездие Водолея.

Желтый император
Хуан-ди





Календарь на 1912 г.
Провинция Шанхай,
печатня Лусиньчан

За шестьдесят лет Юпитер совершает пять оборотов. Это число было сакральным для китайской традиции и являлось символом пяти элементов природы: дерева, огня, металла (золото), воды, земли, которым соответствуют цветовые обозначения (синий, красный, желтый, белый, черный).

Китайский шестидесятилетний цикл (так называемый шестидесятиричный цикл Цзя-цзы) образовался в результате объединения двенадцатиричного цикла (так называемые «земные ветви»), за каждым годом которого было закреплено название животного, и десятиричного цикла пяти стихий («небесные стволы»), каждая из которых соответствовала двум циклическим знакам, символизирующим мужское и женское начала — Ян и Инь. По этой причине в китайском календаре идут подряд годы, соответствующие разным животным, но одной стихии. Все временные единицы (часы, дни, месяцы, годы и пр.) представляют собой сочетание этих 10 стволы и 12 ветвей.

По меньшей мере с XV в. до н. э. в Китае использовались различные системы календарей — лунных и солнечных. После открытия китайцами 19-летнего лунно-солнечного цикла (раньше, чем в Вавилоне, примерно в 595 г. до н. э.) было значительно улучшено согласование лунного и солнечного календарей.

За начало месяца было принято новолуние, за начало суток — полночь. День делился на 12 частей, которые, равнялись нашим двум часам; свои «часы» делили на части, называемые **ке**. Каждое **ке** делилось на 100 «минут», а «минута» на 100 «секунд». Сутки делились на две части: день и ночь — каждая по 6 «часов». Началом суток считалась полночь.

Письменная история древнеиндийской астрономии начинается лишь со времен цивилизации ариев. В древнем соб-

В книге «Шу-Кинг» рассказывается о солнечном затмении, наступившем в 2137 г. до н. э. и не предсказанном заранее придворными астрономами: «...господа Хи и Хо забыли о добродетели, предались непомерному пьянству, запустили свои обязанности и оказались ниже своего ранга. Они впервые нарушили счет времени по светилам. В последний осенний месяц, в первый его день Солнце и Луна, вопреки вычислениям, сошлись в созвездии Фанг. Слепых известил барабан, бережливые люди были охвачены смятением, народ бежал. А господа Хи и Хо находились при своей должности: они ничего не слышали и не видели». За пренебрежение служебными обязанностями горе-астрономы Хи и Хо по приказу правителя были казнены.



Шабда-брахман и схематическое изображение накшатр — созвездий. XIX в. Медная круглая пластина. Джайпур, Раджастан

(иногда упоминается 27) «лунных стоянок» — накшатр. Каждая *накшатра*, согласно «Ригведе», соответствовала либо яркой звезде (например, Арктуру), либо группе звезд (Плеяды, Орион, Пегас).

Первые свидетельства о наличии астрономической науки в Древней Индии относятся ко времени индской цивилизации, существовавшей в 3 тыс. до н. э. в долине реки Инд, на территории нынешних Индии (Западный Пенджаб) и Пакистана (район Мултана).

Особенностью древнеиндийской астрономии является выделение планет-близнецов Раху и Кету, аналогов которых в астрономии других цивилизаций не обнаружено. Некоторые

исследователи расшифровывали это как наблюдение комет либо падающих звезд, либо затмений. Други считают, что парность Раху и Кету отражала наблюдение утренней и вечерней видимости Венеры, которая воспринималась как два разных объекта.

Уже в VI в. до н. э. в Древней Индии существовало несколько календарных систем. Основой их были солнечный и лунный год длиной 354 дня и близкий к тропическому солнечный год в гражданском календаре (360 дней плюс 5 дней «для жерт

Обсерватория в Дели



воприношений»), и сидерический месяц в 27 дней (год состоял либо из 12, либо из 13 таких месяцев).

В индийских календарях с VI в. до н. э. в названиях дней семидневной недели стали использоваться имена семи подвижных светил: первый день Луны, второй — Марса, третий — Меркурия, четвертый — Юпитера, пятый — Венеры, шестой — Сатурна, седьмой — Солнца.

Подобно египтянам, древние индийцы делили месяц на две половины. В древнеиндийской астрономии это были светлая половина, до полнолуния (шукла), и темная (кришна).

Древняя астрономия Америки

Во II–X вв. в Мезоамерике (южной части Мексики и на территории нынешних Гватемалы, Гондураса и Белиза) в виде городов-государств существовала весьма высокоразвитая цивилизация индейцев майя. Большинство этих городов было разрушено в конце IX в., а в XVI в. культура майя была окончательно уничтожена испанскими колонизаторами, которые сожгли практически все рукописи майя, содержавшие знания и историю этого загадочного народа.

Раскопки городов майя, начатые в XIX в., открыли исследователям остатки колоссальных храмов-обсерваторий. В Чичен-Ице — самом знаменитом городе майя, расположенном на севере полуострова Юкатан, — поражают воображение остатки грандиозных культовых и астрономических сооружений.

В сохранившихся всего четырех рукописях майя были обнаружены и восходящие к разным эпохам до нашей эры сведения об астрономических, космогонических и космологических знаниях и представлениях этого загадочного народа. Некоторые тексты обнаружены на каменных плитах-стелах.

С глубокой древности жрецы в своих обсерваториях — на площадках, располагавшихся на плоских вершинах грандиозных, в десятки метров высотой, ступенчатых пирамид, — вели систематическое слежение за небом, полагая, что все явления на

Сокровища знаний древних майя были уничтожены испанскими конкистадорами, которые целенаправленно разрушали памятники архитектур древних майя, сжигали их рукописи, написанные своеобразными иероглифическими знаками. По приказу Диего де Ланда, второго архиепископа Мексики, в 1562 г. все собранные испанскими завоевателями рукописные книги майя были сожжены во время торжественного аутодафе, как об этом писал сам Ланда: «Мы нашли у них большое количество книг этими буквами. И так как у них не было ничего, в чем не имелось бы суеверия и лжи демона, мы их все сожгли».

Древняя обсерватория в Мексике





Камень Солнца.
Мехико, Национальный
музей антропологии

Для счисления времени ацтеки пользовались двумя календарями: ритуальным из 260 дней и солнечным, который имел 18 двадцатидневных месяцев и 5 несчастливых дней. Названия месяцев в нем соответствовали названиям сельскохозяйственных растений. Сочетание двух типов отсчета времени давало ацтекам, как и майя, повторяющийся 52-летний цикл.

земле и в государстве определяются его законами. Кроме наблюдений за Солнцем и Луной, которым майя, инки и ацтеки поклонялись, особое внимание уделялось затмениям и перемещению подвижных светил — планет, которым приписывалось большое влияние на жизнь и дела людей и государства в целом. При этом большая роль отводилась наблюдениям «Большой звезды» — Венеры (по-видимому, в астрологических целях).

В результате систематических наблюдений жрецы-астрономы майя с довольно большой точностью определили синодические периоды всех известных планет. В рукописях майя обнаружены таблицы движения Венеры, Марса (у майя — Тапир, или Клыкастый) и Меркурия.

Область неба, по которой Солнце проходило в течение года, майя разделили на 13 участков-созвездий, своеобразный аналог греческого зодиака, 10 из которых известны нам сегодня: Летучая мышь, Лягушка, Попугай, Змей с хоботом, Сова, Скорпион, Черепаха, Гремучая змея, Ягуар, Обезьяна.

Ученые связывают такое деление с тем, что, помимо солнечного тропического года, некогда в основе календаря лежал период, близкий к сидерическому лунному месяцу, в течение которого Солнце проходит около $1/13$ окружности неба.

Раз уж мы заговорили о календаре древних майя, то на нем стоит особо остановиться, поскольку он, подобно китайскому, представляет собой настоящее произведение астрономического искусства и очень сильно отличается от столь привычного нам григорианского календаря.

У майя была принята древнейшая двадцатиричная система счета (по числу пальцев на руках и ногах). Для изображения цифр майя использовали три знака: точку для единицы, тире — для пяти и изображение раковины для нуля — и писали их снизу вверх. На первой снизу строке записывались единицы (от 1 до 19), на второй — двадцатки (числа от 20 до 359), на третьей — числа от 360 до 360×19 , число $360 \times 20 = 7200$ занимает свое место на четвертой строке как первоначальное число 4-го порядка и т. д.

Подобная система счета, конечно же, сказала и на структуре календаря. И если вначале майя делили год всего лишь на две части — сезон засухи и сезон дождей, то со временем деление сильно усложнилось.

Вообще в основе календарного счета майя располагаются дни — *к'ины*, которые объединяются в «блоки» трех видов:

- девятидневка, каждый день которой имел свое собственное название;
- тринадцатидневка — «неделя» из 13 *к'инов*, каждый из которых обозначался своим порядковым номером в ней;
- двадцатидневка, или *виналь*, — «месяц» из 20 *к'инов*. Каждый день в винале имел свое название. Кроме того, дни обозначались числами от 0 до 19.

Таким образом, каждая дата в календаре имела четыре признака: номер в пределах 13-дневной «недели», название и номер дня в пределах 20-дневного «месяца», название самого винала. Сочетание всех четырех признаков повторялось раз в 52 года.

Древние майя знали о расхождении 365-дневного календарного года с истинным солнечным, для коррекции чего вводили систему вставок, принцип которой не сохранился. При этом следует отметить, что эта неизвестная система вставок давала длину года всего на 20 секунд меньше истинной (ошибка нашего григорианского календаря в полтора раза больше).

В своей повседневной жизни майя пользовались 365-дневным годом — *хааб*. Выглядело это достаточно просто — в конце 360-дневного года (*туна*) они добавляли 5 дней, называвшихся *ишма к'аба' к'ин* — «дни без имени».

За начало своего летосчисления майя принимали мифическую расчетную дату — 5 041 738 г. до н. э. Немалой загадкой является то, что майя в свою систему летосчисления вводили периоды, охватывающие колоссальные промежутки времени. Для примера: у европейцев самыми крупными «временными блоками» служили тысячелетия, у китайцев — 10 тысяч лет, но у майя существовала целая иерархия периодов. Начиная с 1 *к'ина* (1 день) шли кратные 20 (за одним единственным исключением — для согласования счета с реальным солнечным годом, чтобы дальнейшие периоды были кратными приблизительно годам, т. е. реальной астрономической единице счета времени) периоды: *виналь* = 1 *к'ин* × 20; *тун* = 1 *виналь* × 18 = 360 *к'инов*; *к'атун* = 20 *тун* (около 20 лет) и так далее. Заканчивалась эта своеобразная хронологическая «табель о рангах» периодом *алав'тун*, равным 64 000 000 лет!

Любопытство ученых вызывает тот факт, что майя пользовались не одним, а несколькими календарями одновременно, тесно переплетая их даты. Был принят год продолжительностью в 260 дней (его условное наименование *цолькин*), год в 360 дней (*тун*) и год в 365 дней (*хааб*). Как полагают исследователи культуры майя, 260-дневный период вначале был промежуток времени от посева до сбора урожая, который состоял из тринадцати 20-дневных «месяцев» и двадцати 13-дневных «недель».

Иероглифы названий дней майя



Развитие астрономии в Древней Греции

У истоков

Каждый народ древнего мира имел достаточно развитые астрономические представления, но в истории европейской цивилизации астрономическая наука Древней Греции сыграла ключевую роль. Несмотря на то что древнегреческие астрономы считали себя учениками египетских жрецов, но вся европейская астрономия выросла из астрономической науки соотечественников Гомера.

Первые письменные свидетельства о наблюдательной астрономии в Древней Греции относятся VII–VI в. до н. э., когда благодаря тесным контактам с Нововавилонским царством Греция познакомилась и с достижениями вавилонской астрономии.

Афина помогает Гераклу поддерживать небесный свод. Древнегреческий барельеф из храма Зевса в Олимпии 470–450 гг. до н. э.

Первым древнегреческим астрономом, о котором нам хоть что-то известно, был **Клеострат Тенедосский**, живший во второй половине VI в. до н. э. По свидетельствам историков, он жил на острове Крит, где и устроил себе наблюдательную площадку на горе Ида.

Первым в истории европейской астрономии разработал учение о шарообразности Земли и ее центральном положении в мире (геоцентрическую концепцию) древнегреческий астроном и философ **Фалес Милетский** (624–547 до н. э.). Помимо этого, он впервые предсказал полное солнечное затмение, причиной которого называл Луну, которую он рассматривал как темное тело, заимствующее свой свет от Солнца. Фалесу приписывают определение угловой величины Луны, а также авторство в названии созвездия Малая Медведица (до него это созвездие именовалось Собачьим хвостом). После смерти Фалеса на его гробнице была сделана надпись «Насколько мала эта гробница Фалеса, настолько велика слава этого царя астрономов в области звезд».

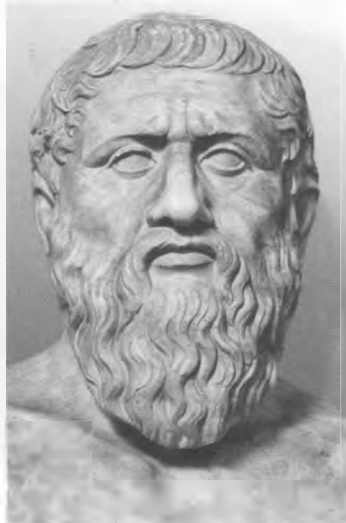


Другим первопроходцем научной астрономии в Древней Греции был ученик египетских жрецов Энопид Хиосский (500–430 до н. э.). Он первым в Греции определил наклон эклиптики к экватору, а также открыл 59-летний лунно-солнечный цикл для согласования лунного и солнечного календарей. Однако этот цикл значительно уступал в точности другому, 19-летнему «метонову» циклу, названному так в честь своего автора, греческого астронома и математика **Метона** (460–? до н. э.). Вычисленная им длина года — 365,263 дня — всего лишь на 30 минут больше величины, принятой в современной астрономии. Учеником и помощником Метона был еще один известный греческий астроном — **Евктемон**. Именно он первым в Греции обнаружил неодинаковую длительность астрономических сезонов, что впоследствии, три века спустя, было использовано Гиппархом при создании теории движения Солнца.

Не оставил своим вниманием астрономию и один из величайших философов в истории человечества — **Платон** (427–347 до н. э.). Он был убежден в шарообразности Земли, а также придерживался идеи осевого вращения Земли.

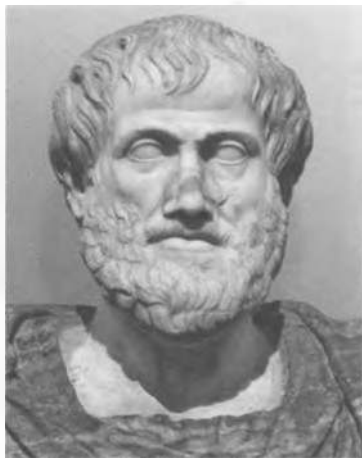
Философом была разработана геоцентрическая модель Вселенной, согласно которой все материальные тела притягиваются к центральной Земле, вокруг которой вращаются два наклоненных друг к другу круга. Внешний из них представляет суточное движение (названное Платоном «истинным»), направленное слева направо и единое с движением внешней сферы звезд. Внутренний, или «косой», круг (эклиптики) делится на семь слоев и представляет собой движение справа налево («иное»), куда входит особое движение Солнца, Луны и планет, со своими особыми периодами. Платоном был определен следующий порядок расположения небесных тел относительно Земли: Луна, Солнце, Венера, Меркурий, Марс, Юпитер, Сатурн.

Ученик Платона, обучавшийся также у египетских жрецов, **Евдокс Книдский** (ок. 408 — ок. 355 до н. э.) построил собственную обсерваторию на побережье Мраморного моря и организовал там систематические наблюдения за движением светил, которые продолжали многие поколения его последователей. Евдокс описал все созвездия (видимые на этой географической широте) и составил первый в Европе звездный каталог. Ему также принадлежит первенство в разработке количественной математико-кинематической модели планетной системы, которая описывала движение каждого небесного тела с помощью системы вложенных друг в друга гомоцентрических сфер, вращающихся вокруг различно ори-



Бюст Платона

Платон — древнегреческий философ, ученик Сократа. После смерти своего учителя уехал из Афин в Мегару, затем посетил Египет, жил в Южной Италии и на острове Сицилия. Вернувшись в Афины, основал школу, получившую название «Академия».



Аристотель

Аристотель родился в Стагире (во Фракии), в семье придворного врача. С 343 г. до н. э. был воспитателем сына македонского царя Филиппа — Александра, впоследствии прозванного Македонским. В 335 году в Афинах им основана философская школа перипатетиков («прогуливающихся»).

«Физика» Аристотеля. Страница средневекового манускрипта на латинском языке



ентированных осей с разной скоростью, в результате чего движение планеты представлялось кривой, напоминающей лежащую восьмерку (гиппопеда — «пути лошади»).

Другой ученик Платона, сменивший его как глава Академии, **Гераклид Понтийский** (388–315 до н. э.), описал модель мира, в которой Венера и Меркурий обращались вокруг Солнца, а с ним уже вокруг Земли (в литературе эта модель мира называется «египетской»). Развив идею своего учителя об осевом вращении Земли, Гераклид этим объяснил смены дня и ночи. Он также считал, что звезды имеют форму, подобную форме Земли, являются шарообразными небесными телами.

Свой вклад в развитие астрономии внес другой величайший философ, также бывший учеником Платона — **Аристотель** (384–322 до н. э.). Главная его заслуга состоит в том, что он сумел проанализировать, систематизировать, логически обосновать и объединить в универсальную естественнонаучную систему все известные на тот момент знания об окружающем мире. Что касается непосредственно астрономии, то, опираясь на положение о том, что прямолинейные движения имеют начало и конец, а небесные тела безостановочно движутся по кругам, Аристотель заключил, что для небесных тел естественным является именно круговое, вечное и равномерное движение. В отличие от звезд и планет, которые, по мнению Аристотеля, являлись огромными телами, Земля представляет собой относительно небольшое тело, и, по расчетам философа, ее окружность составляет 400 тыс. стадиев (более 70 тыс. км, что почти вдвое больше ее действительной величины).

Аристотель отрицал вращение Земли вокруг оси и считал, что звезды и планеты имеют шарообразную форму (поскольку сфера — единственная совершенная геометрическая фигура). Доказательством шарообразности Луны, по его мнению, являлось то, что граница между светлой и темной частью на Луне представляет собой кривую линию, а доказательством шарообразности Земли считал округлую форму ее тени на Луне.

Среди выдающихся астрономов Древней Греции важное место отводится **Аристарху Самоскому** (ок. 310–230 до н. э.), работавшему в Александрии. Приняв за единицу земной радиус, он впервые попытался геометрическим методом определить относительные расстояния Солнца и Луны, а также относительные размеры этих тел. Аристарх опровергнул мнение Платона о том, что

Солнце в два раза дальше Луны, посчитав, что на самом деле оно в 19 раз дальше Луны (в действительности — в 400 раз). По времени прохождения Луной земной тени во время лунного затмения он довольно точно определил относительный поперечник Луны в $1/3$ земного. В отличие от своих предшественников, считавших что размеры Солнца сравнимы с размерами полуострова Пелопоннес,

Аристарх полагал, что Солнце по объему в 250 раз больше Земли. Именно Аристарху Самосскому принадлежит идея о том, что Солнце неподвижно и находится в центре мира, а Земля обращается вокруг него (гелиоцентрическая концепция). Развив идею движения Земли — как орбитального, так и осевого — он дал простое объяснение и явлениям дня и ночи, и периодическому изменению блеска планет. Свои идеи философ изложил в ряде трактатов, из которых до наших дней дошел лишь один — «О размерах и расстояниях Солнца и Луны».

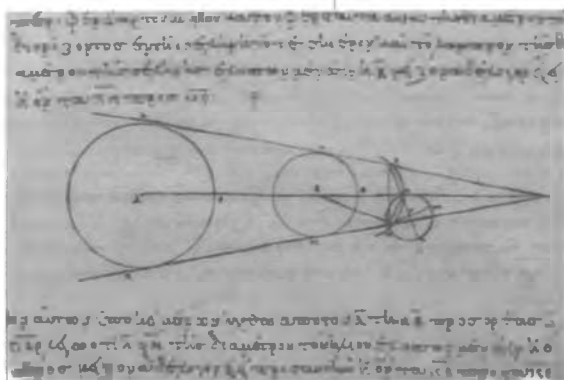
Развитие математики в сочетании с увеличившимися астрономическими познаниями привело к тому, что около 230 г. до н. э. греческий математик **Аполлоний Пергский** разработал новый геометрический метод описания неравномерных периодических движений, представив такое движение как сумму двух равномерных круговых: по одной окружности (деферент) равномерно движется центр вторичной окружности (эпицикл), по которой в свою очередь равномерно движется исследуемое тело.

Колоссы Древней Греции

Гиппарх и Птолемей

Впоследствии описанный метод взял на вооружение один из величайших древнегреческих астрономов, изобретатель сферической тригонометрии — **Гиппарх** (ок. 190/180–125 до н. э.) родом из Никеи (Турция), проживший большую часть своей жизни на острове Родос.

Опираясь на разработки Аполлония Пергского, Гиппарх построил первую теорию неравномерного движения Солнца и Луны, основанную на геометрическом методе, устанавливающем количественные характеристики движений. Он нашел, что сум-

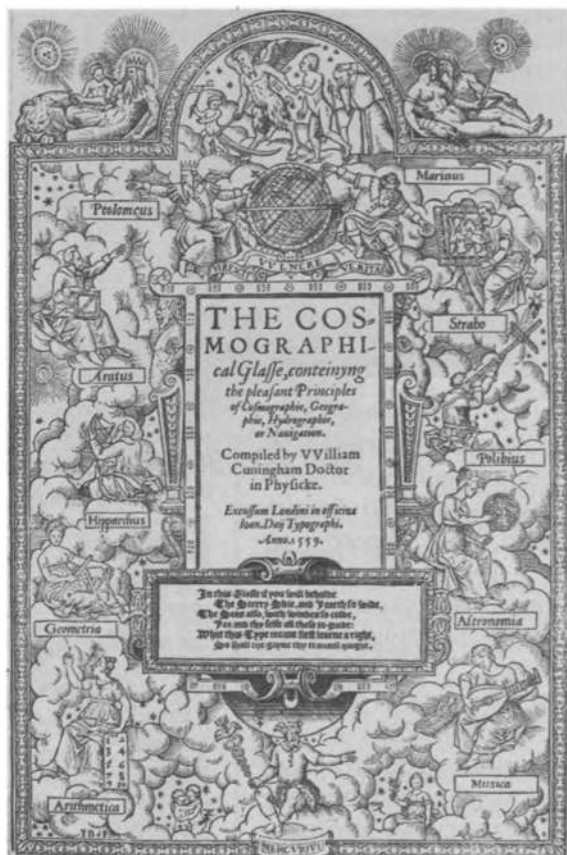


Схема, поясняющая определение радиуса Луны по методу Аристарха. Византийская копия X в.

Благодаря интенсивному обмену знаниями с Вавилоном в Древней Греции с III века до н. э. все более широкое распространение получали астрономические и математические достижения ученых этого государства. В наблюдательной астрономии стали активно применять вавилонские угломерные инструменты с измерительными кругами, разделенными на градусы и минуты.

Изображение Гиппарха на титульном листе книги Уильяма Каннингема «Cosmographical Glasse». 1559 г.





Обложка книги
Уильяма Каннингема
«Cosmographical
Glasse». 1559 г.

Одной из заслуг Гиппарха считают то, что он довел технику наблюдений до такого совершенства, при котором положения светил определялись им с ошибкой, не превосходящей десяти минут дуги.

марное движение по эпициклу и деференту тождественно более наглядному движению по эксцентрику в том случае, когда угловые скорости двух первых равны, а направления противоположны. Представляя видимое движение Солнца с помощью эксцентрика, Гиппарх показал, что наблюдатель действительно должен будет видеть его неравномерным, более быстрым с той стороны, в которую сдвинуто место наблюдателя от центра круга. В модели Гиппарха впервые появились элементы, определяющие орбиту небесного тела: апогей и перигей, эксцентриситет.

Гиппарх составил древнейший (из дошедших до нас) каталог звездного неба, включавший свыше 850 звезд, распределенных по 48 созвездиям. Звезды в этом каталоге разделены на шесть категорий по их блеску (шесть звездных величин), причем ученый ввел и промежуточные оценки яркости в этой условной шкале. В каталог включено 15 звезд первой величины, 45 — второй, 208 — третьей, 474 — четвертой, 217 — пятой и 49 — шестой, а также указаны девять «тусклых» звезд и пять «туманностей». Любопытно, что побудило Гиппарха составить этот каталог наблюдение им сверхновой звезды в созвездии Скорпион (в июле 134 г. до н. э.), натолкнувшее его на мысль о том, что изменения могут происходить и в сфере звезд.

Гиппарх выдвинул и первым реализовал идею о том, что для обнаружения малозаметных изменений на небе (в пределах жизни одного поколения) необходимо сравнивать наблюдения астрономов, живших в предшествующие эпохи, и современные данные.

В результате подобного сравнения, Гиппарх совершил одно из важнейших открытий в истории астрономии — явление предварения равноденствий, или прецессию, смещение положения экватора относительно эклиптики, при котором точка весеннего равноденствия перемещается к западу, навстречу Солнцу, завершая полный оборот за 26 000 лет.

На основании своих собственных и некоторых вавилонских наблюдений лунных затмений Гиппарх построил теорию движения Луны, использовав эксцентрик, и уточнил его различные периоды (месяцы — драконический, аномалистический и т. д.). Вместо сароса (цикл чередования лунных и солнечных затмений, составляющий 18 лет 11,3 дня) он ввел более точный цикл почти в 345 лет, который охватывал огромные целые числа различных месяцев (от 4267 до 4612).

Гиппархом также были составлены таблицы солнечных и лунных затмений, которые позволяли предсказывать их с невероятной в то время точностью — в пределах 1–2 часов. Опираясь на свои наблюдения солнечных и лунных затмений, он оценил параллакс (угол между направлением от светила к центру Земли и к месту наблюдателя) Луны и относительные расстояния до Луны и Солнца в радиусах Земли (59 и 1200 соответственно).

Определив за период с 162 по 128 г. до н. э. моменты около десяти равноденствий и сравнив их с данными Аристарха Самосского, Гиппарх уточнил длину тропического и сидерического годов, а также продолжительность сезонов. Гиппарху также принадлежит введение географических широты и долготы.

Вслед за Гиппархом продолжил математическое обоснование движений небесных тел другой великий греческий астроном и математик **Клавдий Птолемей** (ок. 87–165). Подробности его жизни неизвестны, как и то, где и когда он родился.

Он прославился не только как астроном, но и как географ, оптик и изобретатель. Птолемей изобрел два новых угломерных инструмента: для измерения высоты в меридиане (так называемый трикветрум — тройная линейка) и для измерения эклиптических широты и долготы (названный Птолемеем «астролябон», который стал предшественником армиллярной сферы). Птолемей развил математический аппарат астрономии — сферическую тригонометрию, вычислил таблицу синусов и первым стал изучать перемещения планет и по широте.

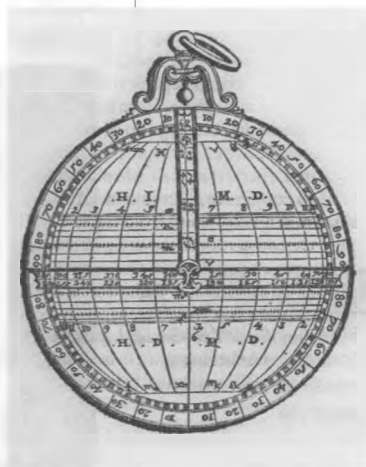
Около 150 г. н. э. Птолемей опубликовал свой фундаментальный труд, где он обобщил знания предшественников (главным образом Гиппарха) и свои собственные теоретические разработки, который назвал «Математическое сочинение» (или «Большое сочинение», точнее «построение» — по греч. «Мегале синтаксис»). За колоссальный объем ин-



Птолемей.
Гравюра. XVI в.

Некоторые исследователи утверждают, что этот великий астроном древности состоял в родстве с династией Птолемеев, правивших Египтом. Однако сам Клавдий Птолемей никогда об этом ничего не писал и не говорил.

Изображение из старинной книги астролябии Птолемея, в Средневековье называемой «Planisphaerium»



Пользовавшаяся поддержкой церкви система мира по Птолемею просуществовала много веков, до Коперника, несмотря на выяснившееся со временем проблемы, а именно: видимые движения некоторых планет очень сложны и одного эпицикла для их объяснения недостаточно.

формации, содержащийся в трактате, его называли «Мэгистэ» («Мэгистос» — «величайший»), и впоследствии он получил название «Альмагест». Эту, по сути, астрономическую энциклопедию той эпохи относят к числу немногих наиболее важных книг, созданных за всю историю науки.

«Альмагест» состоит из 13 книг. В 1-й и 2-й книгах содержатся основные постулаты астрономии Птолемея (о шарообразности, неподвижности Земли и о ее центральном положении во Вселенной, о сферичности и вращении небесного свода), а также описание математического аппарата, используемого Птолемеем. Также в них приведены расчеты продолжительности дня и времени восхода и захода разных звезд в зависимости от широты места, излагаются закономерности в поведении светил.

В 3-й книге излагается теория неравномерного движения Солнца и вопрос о длине года и его сезонов. В 4-й — описывается улучшенная Птолемеем теория движения Луны. В этой книге Птолемей также приводит уточненные данные о длине аномалистического и драконического месяцев.

В 5-й книге описаны различные астрономические инструменты, употреблявшиеся в то время, в том числе и разработанные самим Птолемеем астролябон (армиллярная сфера) и трикветрум. Также в ней приведены определения параллаксов Луны и Солнца. В 6 книге Птолемей на основании теории движения Луны изложил свою улучшенную теорию затмений.

В 7-й и 8-й книгах приведен звездный каталог Гиппарха — Птолемея. Птолемей дополнил список Гиппарха наблюдениями некоторых других астрономов и своими собственными, доведя число описанных объектов до 1025.

В последних пяти книгах «Альмагеста» изложена знаменитая геоцентрическая система Птолемея — высшее теоретическое достижение древней астрономии. Ее основой стали наблюдения Гиппарха, некоторых других астрономов, а также собственные наблюдения Птолемея.

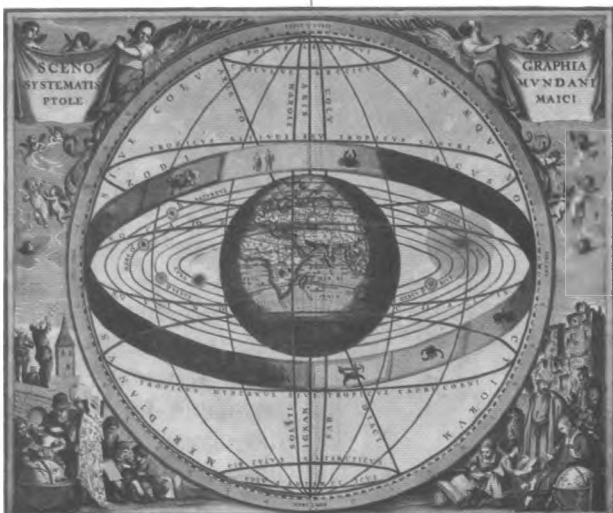


Птолемей объясняет свою систему мира. Рафаэль. Фрагмент росписи «Афинская школа» Станца делла Сеньятура

В центре Вселенной, по Птолемею, располагается шарообразная Земля, вокруг которой по концентрическим круговым орбитам обращаются Луна и Солнце. Сложное, петлеобразное и неравномерное видимое движение планет он объяснил тем, что планеты равномерно обращаются по малым окружностям (эпициклам), а центры эпициклов опять же равномерно движутся вокруг Земли по большим окружностям — деферентам. При этом плоскости эпициклов несколько наклонены к плоскости деферентов, в результате чего земной наблюдатель воспринимает движение планет в виде сложных петель. Таким образом, неравномерные и некруговые движения рассматривались Птолемеем как результат сложения двух круговых и равномерных движений.

Для объяснения поведения некоторых небесных тел (в частности, Марса), чье движение не могло быть полностью объяснено с позиций теории эпициклов, Птолемей ввел в свою систему новый элемент — эквант (лат. — уравнивающий). В модели Птолемея движение по деференту представлялось равномерным не из его собственного геометрического центра, а из особой точки, симметричной с центром Земли относительно центра деферента. Эту точку (а также окружность вокруг нее) Птолемей и назвал эквантом. По сути, с введением экванта в систему Птолемея нарушался принцип разложения движения небесных тел на истинно равномерные круговые — движение оказывалось неравномерным в принципе, относительно собственного центра круга.

Особенностью птолемеевой системы является то, что она способна даже сегодня с любой степенью точности предсказывать не только движения планет, но также видимые движения космических станций. И все благодаря тому, что в ее основу положен так называемый гармонический анализ (хотя его «изобретателем» принято считать Фурье, жившего спустя полтора тысячелетия после Птолемея). Суть этого анализа заключается в том, что любое сложное движение в природе можно разложить на сумму круговых и равномерных движений, причем такое представление может быть как угодно точным — для этого надо взять в указанной сумме лишь достаточно большое количество членов. Поэтому с чисто математической стороны система мира по Птолемею является весьма совершенной теоретической схемой.



Система Птолемея. Иллюстрация из звездного атласа 1661 г.

Глава 3

Среди наиболее известных звезд, сохранивших свои арабские названия, можно назвать Вега (α Лиры) – от ан-наср ал-ваки («Падающий орел»), Альтаир и Денеб (α Лебедя) – от ат-таир («птица») и занаб («хвост»), Алгол (β Персея) – от ал-гул («чудовище»), Фомальгаут (α Южной Рыбы) – от фумм ал-хут («рот Рыбы»), Бетельгейзе, Ригель и Минтака (α, β и δ Ориона) – от байт ал-джауза («подмышка Великана»), риджл («нога») и минтака («пояс») и многие другие. Солнечные часы в мечети



Астрономия в исламском мире

Вклад народов стран ислама в развитие астрономии трудно переоценить. Следует знать, что большинство современных названий звезд представляют собой искаженные арабские названия. Многие астрономические термины, такие как зенит, азимут, альмукантарат и алидада, астролябия и многие другие, также заимствованы из арабского языка.

Особое развитие в исламском мире получило искусство изготовления высокоточных инструментов (квадрантов, секстантов, астролябий и т. д.), что было связано с особенностями вероучения ислама. В этой религии большое значение отводится определению времени начала и окончания периода молитвы (намаза), причем это время обязательно нужно определять по Солнцу. Естественно, что наблюдательной астрономии в мусульманском мире отводилась главенствующая роль. Впоследствии это проявилось также и в том, что в некоторых регионах арабо-мусульманского мира (например, в Египте) астрономия развивалась главным образом муваккитами (от *вакт* – «время») – «хранителями времени» при мечетях, ответственными за правильность времени призывов мусульман к молитвам. Особенное значение мусульманские астрономы придавали точности наблюдений. Иногда эти наблюдения записывались в протокол, засвидетельствованный общей присягой нескольких астрономов и юристов.

Одним из центров научной деятельности в исламском мире стала столица халифата Багдад. Уже в 829 г. здесь была основана астрономическая обсерватория. Другим научным центром стал Дамаск (Сирия), который был столицей Халифата до Багдада.

Стараниями арабских ученых в течение IX в. на арабский язык были переведены труды Аристотеля и других древнегреческих философов, а также «Альмагест» Птолемея, благодаря чему с этими работами впоследствии смогли познакомиться и европейские ученые (оригиналы трудов древнегреческих ученых в большинстве своем были потеряны, и если бы не исламские ученые, то мировая наука вряд ли узнала о научных достижениях древних греков).

В 827 г. арабские астрономы в пустыне Синджар измерили дугу меридиана при помощи измерительного шнура.

Для длины окружности меридиана было получено значение 40 700 км.

В Багдаде при дворе халифа ал-Мансура (754–775) работал автор одной из первых арабских астрономических таблиц (зиджей) и один из первых конструкторов астролябий в странах ислама **Ибрахим ал-Фазари** (?–777). При дворе халифов ал-Мансура и легендарного Харуна ар-Рашида (766–809) работал **Машаллах** (?–815), известный в Европе под именем Месахалла, руководивший измерениями при основании Багдада. Он являлся автором «Книги о построении астролябий и действиях с ними».

В Дамасской обсерватории работал известный астроном **Абу Абдаллах Мухаммед бен Джабир аль-Батани** (850–929), известный в Европе как Альбатений. Он с высокой точностью установил величину эксцентриситета «круга Солнца», определил угловые диаметры Луны и Солнца, нашел более точное значение величины прецессии, определил точнее, чем Птолемей, наклон эклиптики к экватору. На основании множества собственных наблюдений составил таблицы положения планет, которые со временем неоднократно переводились и публиковались в Европе. Известны также его комментарии к «Альмагесту» Птолемея. Аль-Батани первым предложил методы вычисления сферических треугольников, развитые в дальнейшем арабскими математиками.

Своими исследованиями, проводимыми в Багдадской обсерватории, прославился арабский астроном и математик **Абу-ль-Вафа** (940–998). Он написал фундаментальный трактат по астрономии, в котором изложил основы плоской и сферической тригонометрии, составил таблицы синусов и таблицы тангенсов. В этой же работе он исследовал неравенства лунного движения, совпадающие с вариацией, открытой впоследствии знаменитым западноевропейским астрономом Тихо Браге.

Достиг известности своего учителя и ученик Абу-ль-Вафы египетский астроном **Ибн Юнус Али ибн Абд ар-Рахман** (950–1009). Работая в обсерватории на горе Мокаттам близ Каира, он составил так называемые «Гакемитские таблицы» — астрономические и тригонометрические таблицы, относящиеся к движению Луны, Солнца и планет, которые пользовались популярностью среди астрономов в течение двух веков. На основе анализа данных, полученных в результате наблюдений затмений Солнца и Луны, Ибн Юнус открыл вековое ускорение среднего движения Луны.

Особый всплеск интереса к астрономическим исследованиям произошел во времена правления халифа ал-Ма'мунa (813–833), при дворе которого работали многие известные ученые Средней Азии. Среди них прежде всего стоит упомянуть **Мухаммеда ал-Хорезми** (ок. 783 — ок. 850) из Хорез-



Абу Абдаллах
Мухаммед бен
Джабир аль-Батани

Мухаммед ал-Хорезми. Памятная почтовая марка, выпущенная в СССР в ознаменование 1200-летия со дня рождения





Страница из трактата
Мухаммеда ал-
Хорезми по алгебре

Авиценна (Абу Али ал-Хусейн Ибн Сина), изображенный принцем Abinsceni (в короне и со скипетром). Гравюра из трактата. Венеция, 1520 г.



ма, который первым познакомил арабов с индийской позиционной системой счисления и цифрами, их сегодня принято называть «арабскими» (латинская форма имени ал-Хорезми *Algorithmus* первоначально служила в Европе названием арифметики, а позднее превратилось в термин «алгоритм»). Ал-Хорезми был известен и тем, что он был автором первого арабского руководства по алгебре (чье название происходит от применявшегося им термина *ал-джабр ва-л-мукабала*), а также астрономических таблиц «Зидж ал-Хорезми» и «Книги о действиях с астрольбиями».

В Рее (пригород Тегерана) родился и работал выдающийся исламский ученый-энциклопедист, врач и философ **Абу Бакр Мухаммад ар-Рази** (865–925), написавший известное астрономическое сочинение «Книга о форме мира».

Позднее там же, в Рее, работал **Абу Махмуд Хамид ал-Худжанди** (?–1000 гг.), уроженец Ходжента. Знаменитый мусульманский ученый Ал-Бируни писал, что «Абу Махмуд — исключительное явление своей эпохи в деле изготовления астрольбий и других астрономических инструментов». Ал-Худжанди построил огромный секстант, названный им в честь султана «Фахриев секстант», а также написал несколько трактатов о построении астрольбий и других инструментов, из которых наибольшую известность приобрели «Книга о всеохватывающем астрономическом инструменте», «Трактат об универсальном тимпане [для всех] горизонтов» и «Книга о действиях с [астрольбией] заркала».

На рубеже IX и X вв. работал прославленный ученый, энциклопедист, крупнейший философ и врач, автор классического «Канона медицины» **Абу Али ал-Хусейн Ибн Сина** (980–1037), известный в Западной Европе как Авиценна. Ибн

Сина родился в Мавераннахре (междуречье Амударьи и Сырдарьи) около Бухары, где провел молодость. Помимо своих знаменитых медицинских и философских трактатов, Ибн Сина был автором ряда сочинений по астрономии. Среди них можно назвать астрономический раздел в его энциклопедическом труде «Книга исцеления», «Трактат о пользе мнения, заимствованного у древних, о веществе небесных тел и доказательство их расплавленности», «Трактат о небесных телах» и направленный против астрологии «Трактат об опровержении приговоров звезд». В «Книге о способе, предпочитаемом другим способам при конструировании наблюдательного инструмента» Ибн Сина описал изобретенный им наблюдательный

инструмент, который, по его мнению, должен был заменить астролябию. Находясь в Гургане, Ибн Сина определил длину этого города, предложив новый метод, состоящий в измерении кульминационной высоты Луны и ее сравнении с высотой Луны в Багдаде с помощью вычислений по правилам сферической тригонометрии.

В этот же период в другой части исламского мира — Египте — работал знаменитый ученый-энциклопедист **Абу Али ал-Хасан ибн ал-Хайсам** (965–1039). Всепоглощающая любовь к науке побудила его оставить должность визиря в родной Басре и полностью сосредоточиться на своих исследованиях. Его «Книга оптики» приобрела известность в Западной Европе под названием «Сокровище оптики», благодаря чему Ибн ал-Хайсам, известный в Европе под именем Альхазен, получил прозвище «отец оптики». Кроме этого, ал-Хайсам был автором других астрономических сочинений, в которых подвергал критике теорию движения планет Птолемея, и многих других.

Выдающимся астрономом мусульманского средневековья был знаменитый ученый-энциклопедист, уроженец Кята, **Абу-р-Райхан Мухаммад ибн Ахмад ал-Бируни** (973–1048). Он написал около 150 трудов, из них более 30 по астрономии. Наиболее известны три его астрономических трактата: «Индия», «Книга истолкования основных начал астрономии» и «Канон Масуда» («Масудовы таблицы по астрономии и звездам»).

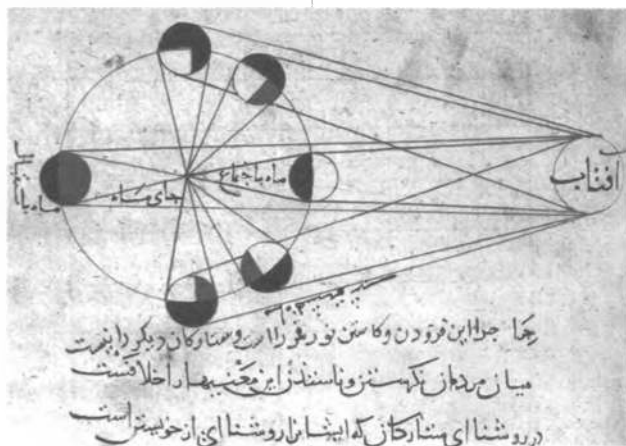
Ал-Бируни первым усомнился в справедливости системы Птолемея, считал Солнце огненным шаром (в отличие от Луны и планет, отражающих солнечный свет). Объяснил явление утренней и вечерней зари как следствие свечения пылинок в лучах скрытого за горизонтом Солнца. Ал-Бируни также первым высказал мысль о «дымоподобной» природе светящихся хвостов возле Солнца во время затмений (солнечная корона).

Подобно многим астрономам исламского мира, ал-Бируни много внимания уделял разработке астрономо-геодезических методов наблюдения, конструированию и усовершенствованию основных астрономических инструментов того времени (астролябии, квадранта, секстанта). По точности измерения ал-Бируни наклона эклиптики к экватору и его изменения в течение многих веков не находили себе равных в Европе. Он построил и первый неподвижный (настенный) квадрант



Изображение Авиценны на марке Объединенных Арабских Эмиратов

Фазы Луны. Иллюстрация из книги ал-Бируни на персидском языке





Омар Хайям

радиусом 7,5 м, на котором производил точные наблюдения Солнца и планет. Этот инструмент в течение 400 лет оставался крупнейшим в мире. Бируни принадлежит новый, весьма точный метод определения радиуса Земли путем наблюдения положения горизонта с вершины горы (радиус Земли Бируни определил в 6630 км, то есть ошибка составила всего 4%).

Прославился своими астрономическими изысканиями и известный нам больше как поэт **Омар Хайям** (1048–1131), уроженец Нишапура. В 1074 г. Хайям был приглашен в Исфахан ко двору правителя сельджукской империи Малик-шаха, который собирал самых лучших астрономов для своей новой обсерватории.

Основной задачей, которую правитель поставил перед Хайямом и другими астрономами, была реформа персидского солнечного календаря. В Исфахане Хайям составил также астрономические таблицы «Маликшахов зидж», из которых сохранились только таблицы эклиптических координат 100 наиболее ярких звезд.

В Багдаде, во время правления сельджуков, при дворе халифа ал-Мустанджида, работал другой знаменитый астроном **Абу-л-Баракат Хибаталлах ал-Балади ал-Багдади** (ок. 1095–1175), которого современники прозвали Аухад аз-заман («Уникум своего времени»). Ему принадлежит идея о некоей «движущей силе», существованием которой он объясняет ускорение падения тел. Ал-Балади ал-Багдади был автором астрономического «Трактата о причине видимости звезд ночью и их исчезновения днем».

В Испании, завоеванной арабами в начале VIII в., в 756 г. был основан халифат, а около 970 г. в столице халифата Кордове была организована академия с большой библиотекой. В этот период прославился уроженец Кордовы **Ибрахим ан-Наккаш аз-Заркали ал-Куртуби** (1029–1087), который большую часть жизни провел в Толедо и Севилье. Первоначально аз-Заркали был гравером и изготавливал по заказам астрономов астрономические инструменты, которые требовали большого гравировального искусства, а затем сам стал крупным астрономом. Аз-Заркали получил широкую известность благодаря изготовленной им астролябии «аз-заркала», которая стала очень популярна в Европе. В Севилье также работал **Джабир ибн Афлах** (XII в.), известный европейцам как Гебер, который написал «Астрономию Ибн Афлаха» и «Усовершенствования Альмагеста». Там же жил уроженец Сарагосы **Мухаммад ибн Бадджа** (ум. 1138), известный в Европе как Авампаце, выдвинувший идею «движущей силы», которая впоследствии привела в Европе к понятию импульса современной механики. В середине XIII в. Испания была освобождена от арабов, а библиотека города Кордовы,

содержащая множество астрономических трактатов, сожжена европейцами.

Существенную роль в развитии астрономии в исламском мире сыграл выдающийся астроном XIII в. **Насир ад-Дин ат-Туси** (1201–1274) родом из Северного Ирана. В возрасте 47 лет, уже будучи известным астрономом, математиком и философом, ат-Туси заканчивает ставший впоследствии очень популярным астрономический труд «Изложение Альмагеста» и целую серию аналогичных изложений различных трудов Евклида, Архимеда, Феодосия, Менелая и других античных математиков и астрономов.

Благодаря настойчивости ат-Туси внук Чингиз-хана Хулагу-хан (1217–1265), бывший в то время правителем обширной территории, выделил на строительство обсерватории 20 тысяч динаров. Обсерватория была построена в столице Хулагу-хана Мараге в Южном Азербайджане. По просьбе ат-Туси Хулагу-хан приказал своим воинам не убивать пленных ученых, а вместе с трофейными рукописями и астрономическими приборами привозить в новую обсерваторию. В результате в Мараге возникла астрономическая обсерватория, располагавшая обширной библиотекой (около 400 000 рукописей) и размещавшаяся в нескольких огромных зданиях.

Впоследствии она оказала исключительное влияние на обсерватории многих стран Востока, в том числе на Пекинскую обсерваторию. В Марагинской обсерватории работали многие выдающиеся астрономы того времени, например, философ Наджм ад-Дин ал-Катиби ал-Казвини, математик и астроном Шамс ад-Дин ас-Самарканди, выдающийся астроном Кутб ад-Дин аш-Ширази и многие другие. Здесь же ат-Туси написал ряд своих астрономических сочинений, в частности, новаторское сочинение «Памятка по науке астрономии», где изложил оригинальный взгляд на движение Луны и планет, впоследствии взятый на вооружение многими астрономами, в том числе Коперником.

В том же XIII в. благодаря своему фундаментальному трактату «Книга собрания начал и результатов, охватывающая все трактаты и построения» получил известность марроканец **ал-Хасан ал-Марракиши** (ум. 1262) из Марракеша. Книга ал-Марракиши состоит из четырех частей:

- В 1-й части трактата приводятся необходимые сведения из математики и астрономии;



Мухаммад ибн Рушд

Автором астрономического трактата «О движениях небесных сфер», сохранившегося в латинском переводе, был знаменитый философ **Мухаммад ибн Рушд** (1126–1198), известный в Европе как Аверроэс.



Улугбек Мухаммед
Тарагай. Фрагмент
ковра

Самарканд.
Обсерватория
Улугбека. XV в.



- 2-я часть работы посвящена построению астрономических инструментов. Здесь описаны измерительные инструменты, различные виды солнечных часов, «сферические инструменты» (небесные глобусы и сферические астролябии, армиллярные сферы), различные виды астролябий, наблюдательные инструменты (трикветры, квадрант, секстант, инструменты типа планетария для определения затмений и инструменты для наблюдения новолуний);

- 3-я часть содержит инструкции по использованию описанных инструментов;

- 4-я часть включает в себя задачи по математической географии, решаемые с помощью арифметики, геометрии и алгебры.

Из всех исламских астрономов более других знаменит, причем вполне заслуженно, внук великого завоевателя Тимура (Тамерлана) — **Улугбек Мухаммед Тарагай** (1394–1449), правивший в Самарканде. В 1417 г. Улугбек открыл в Самарканде медресе, куда пригласил преподавать своего наставника в астрономии, уроженца Бурсы (Турция) Мусу Казизаде ар-Руми (1360–1437). Спустя 8 лет в 1425 г. Улугбек основал под Самаркандом обсерваторию, руководить которой назначил иранца Гийаса ад-Дина Джамшид ал-Каши (ум. ок. 1430).

Трехэтажное цилиндрическое здание обсерватории высотой 30 м размещалось на холме высотой 21 м и достигало 50 м в диаметре. Внутренние помещения были оштукатурены, а стены покрывали изображения небесных сфер и «семи климатов».

Здание обсерватории имело центральный широкий проем, расположенный по меридиану. В этом проеме и располагался главный угломерный инструмент обсерватории Улугбека,

остатки которого сохранились до нашего времени — огромный мраморный стенной секстант радиусом 40 м, который на 10 м углублялся в подземелье. Поскольку одному градусу здесь соответствовала дуга длиной 70,2 см, этот прибор давал возможность производить наблюдения Солнца с точностью до 1'. При наблюдениях Солнца помещение секстанта полностью затемнялось, превращаясь в огромную камеру-обскуру. Дуга секстанта Улугбека состоит из двух параллельных дуг, распо-

женных на расстоянии 51 см друг от друга, выложенных из жженого кирпича и облицованных сверху мрамором. По бокам дуг шла лестница для наблюдателя. До сих пор ученые не пришли к однозначному заключению относительно того, был ли инструмент Улугбека секстантом или квадрантом. До наших дней в нижней подземной части инструмента сохранились плитки с обозначениями от 80 до 58 градусов. В верхней же части дуги видны деления, соответствующие 19, 20 и 21 градусу.

Вместе с ар-Руми и ал-Каши Улугбек составил свои знаменитые астрономические таблицы — «Зидж Улугбека», или «Новый Гураганский зидж» (от титула Улугбека *гураган* — «ханский зять», которое носил и сам Тимур). В отличие от большинства правителей, имена которых давались зиджам их авторами в порядке посвящения, Улугбек принимал непосредственное участие как автор в написании этого фундаментального трактата.

«Зидж Улугбека» содержит обширное введение, состоящее из четырех глав — о календарях, о сферической астрономии, о движении Солнца, Луны и планет и о вычислениях, связанных со светилами, а также — тригонометрические функции сферической астрономии, таблицы уравнений дня (разности дуг дня и ночи) в функции от долготы Солнца, таблицы движения Солнца, Луны и планет, таблицы параллаксов и затмений, географических координат 240 пунктов и эклиптических координат 1018 звезд. Большая точность таблиц зиджа способствовала его большой популярности. Он был издан в 1665 г. в Оксфорде и не раз переиздавался с многочисленными комментариями. В течение долгого времени каталог Улугбека считался лучшим в мире. В 1449 г. Улугбек был убит, после чего обсерватория прекратила свою работу.

Пример Улугбека оказался заразительным, и впоследствии многие правители исламского мира увлекались астрономией. Среди наиболее известных царственных астрономов можно назвать основателей династии Великих Моголов в Индии — **Бабур** (1483–1530), автора трактата «Подарок эмира», состоящего из трех глав: «О науке астрономии», «Измерение земли» и «Правила арифметики», и его сына **Хумайуна** (ум. в 1556), автора «Краткого трактата об объяснении больших кругов».

Современный анализ данных о продолжительности звездного года и годичного движения планет, приведенных в «Зидже Улугбека», показывает, что его численные результаты очень близки к полученным в наше время. Анализируя все эти наблюдения, известный французский ученый П. Лаплас (1749–1825) назвал Улугбека «самым выдающимся наблюдателем».

Бабур на охоте. 1605 г.



Развитие астрономии в Европе в XII–XIX вв.

Развитие наук, в частности астрономии, в арабо-мусульманском мире повлияло и на науку Западной Европы. Несмотря на господствовавшую там уже много веков церковную идеологию, научная мысль все активнее начинала пробиваться сквозь возведенные еще Птолемеем догматы. С началом второго тысячелетия в различных городах Европы основываются университеты — в Болонье, Париже, Кембридже, Оксфорде и других городах.

Одновременно начался рост торговли, в частности морской, что требовало систематических наблюдений за звездным небом. В связи с этим возросла потребность в угломерных инструментах, компасах и морских картах. Все это обусловило рост интереса к астрономии, в том числе к достижениям древнегреческих и арабских астрономов, и уже в XII в. в Европе появляются переводы на латинский язык работ древнегреческих астрономов. Известнейший переводчик с арабского того времени, **Герхард из Кремоны** (1114–1187), специально отправился в Испанию на поиски птолемеевского «Альмагеста» и в 1175 г. выполнил перевод с арабского на латынь.

Со временем все больше увеличивались расхождения между таблицами положений планет исламских астрономов и новыми наблюдениями. Кастильским королем Альфонсом X в 1252 г. была предпринята попытка решить эту проблему: по его приказу были составлены новые «Альфонсинские табли-



Альфонс X и его двор

цы», которые прослужили европейским астрономам еще двести лет. Однако это не спасло ситуацию, и расхождения продолжали расти: лунные затмения запаздывали на час, наблюдаемые координаты планет на много градусов отличались от табличных значений. Возникла необходимость в серьезном пересмотре всех имеющихся данных. И первыми среди европейских астрономов в этом нелегком деле стали австриец **Георг Пурбах** (1423–1461) и его ученик **Вольфганг Мюллер** (1436–1476), больше известный как Региомонтан. В 1472 г. Региомонтан, имевший собственную типографию, издал книгу своего учителя «Новая теория планет», в которой тот изложил птолемеевскую теорию совместно с аристотелевской системой мира. Спустя год он напечатал таблицы положений Солнца, Луны и планет («Эфемериды») на 32 года. Впоследствии именно этими таблицами пользовались Колумб и Васко да Гама в своих путешествиях.

Большой вклад в развитие средневековой астрономии внес **Леонардо да Винчи** (1452–1519). Он считал Землю таким же небесным телом, как Луна и другие небесные светила, и утверждал, что на Земле и на других небесных телах происходят переходы вещества из одной формы в другую. Леонардо отвергал геоцентрическую картину мира и признавал возможным вращение Земли вокруг своей оси. Также он полагал, что Солнце — очень горячее небесное тело, а явление пепельного света Луны (слабое свечение в середине лунного серпа) связано с отражением лучей, которые попадают на лунную поверхность от Солнца после их рассеивания в земной атмосфере.

Но настоящие потрясения в астрономии начались с научной деятельности польского священника и ученого **Николая Коперника** (1473–1543). Свои первые астрономические исследования он начал во время учебы в Италии (с осени 1496 г.), где очень быстро стал учеником, а впоследствии и помощником преподавателя Болонского университета астронома Доменико Новары (1452–1504). После своего возвращения на родину в 1503 году Коперник прочно обосновался в небольшом местечке Фромборк, где и провел большую часть своей жизни.

Именно здесь, во Фромборке, увидели свет два главных тракта Коперника, в которых он изложил свою теорию. Первый из них — «Малый комментарий» — представляет собой небольшое, всего в



Статуя Леонардо да Винчи во Флоренции

Николай Коперник



NICOLAI COPERNICI TO- RINENSIS DE REVOLVTIONI- bus orbium coelestium, Libri VI.

IN QVIBVS STELLARVM ET EL-
XARVM ET TERRATICARVM MOTVS, EX VITE-
ribus magis exactis observationibus, relictis hic autor.
Præterea tabulas expeditas luculentissimè addidit, ex qui-
bus eisdem motus ad quodvis tempus Mathe-
maticum studiosius facillime calculare poterit.

ITEM DE LIBRIS REVOLVTIONVM NICOLAI
Copernici Narratio prima, per M. Georgium Joachu-
m Rheticum ad D. Ioan. Schöner-
mann scripta.



Com Græcia & Vrbanepo Carl. Marti.
BASILEAE, EX OFFICINA
HENRICI PETRI.

Титульный лист (ввер-
ху) и страница книги
(внизу) Н. Коперника
«De Revolutionibus
Orbium Coelestium»,
напечатанной в 1566 г.
в Базеле

12 страниц, сочинение. Второй, основной, трактат Коперника «О вращениях небесных сфер» впервые увидел свет в 1543 г., перед самой смертью ученого.

Трактат Коперника структурно подобен «Альмагесту». В первой книге он выдвигает положение о том, что все небесные тела обращаются вокруг Солнца (гелиоцентрическая система мира), обосновывает сферичность мира, утверждает идею о вечном, равномерном и круговом движении небесных тел, а также приводит расположение планет в порядке их приближения к Солнцу. Согласно расчетам Коперника, расположение планет в порядке их приближения к Солнцу будет таким: Сатурн, Юпитер, Марс, Земля, Венера и Меркурий. Завершает первую книгу изложение основ тригонометрии.

Основные положения своей теории Коперник высказал следующим образом: «Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета; таким образом, Земля имеет несколько движений. Кажущиеся прямые и попятные движения планет принадлежат не им, но Земле. Таким образом, одно это ее движение достаточно для объяснения большого числа видимых в небе неравномерностей».

Во второй книге рассматривается суточное движение небесной сферы, рассказывается о наклоне эклиптики к небесному экватору, а также описываются астрономические инструменты. Также во вторую книгу включен птолемеевский каталог 1024 звезд, но с одним отличием: желая избавиться от необходимости учитывать прецессию, долго-ты в нем Коперник отсчитывает не от точки весеннего равноденствия, как у Птолемея, а от звезды гамма Овна.

В третьей книге Коперник рассматривает явление прецессии и дает ее величину, также устанавливает величину эксцентриситета земной орбиты, продолжительность года и положение апогея земной орбиты.

В четвертой книге изложена теория движения Луны, а также описаны теория солнечных и лунных затмений и уже упоминаемые в «Альмагесте» методы определения расстояний до Луны и Солнца. В последних двух книгах Коперник рассматривает движение планет вокруг Солнца и впервые вводит понятие

«собственного годичного движения» планет, т. е. смещения планет относительно фона далеких звезд в системе координат, связанной с центром Солнца.

Выдающимся достижением Коперника было то, что он впервые и с высокой точностью установил расстояние от планет до Солнца, приняв за единицу измерения расстояние от Земли до Солнца (которое со временем было названо астрономической единицей).

На основании теории Коперника виттенбергский астроном **Эразм Рейнгольд** (1511–1553) в 1551 г. разработал и опубликовал «Прусские таблицы небесных движений», которые впоследствии стали основой для проведения в 1582 году главой Католической церкви папой Григорием XIII календарной реформы — введения «нового стиля».

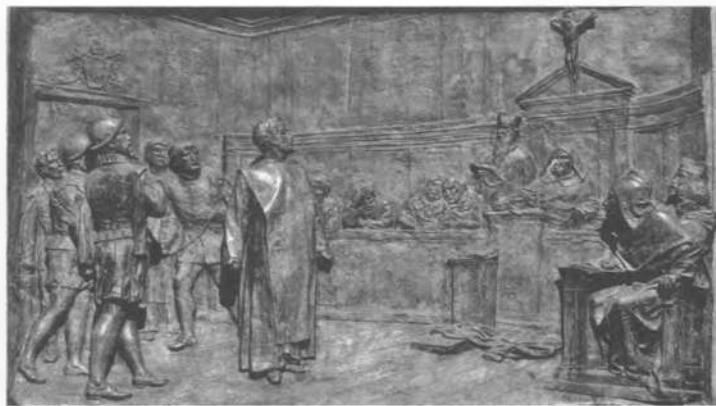
Другим «потрясателем основ» стал итальянский монах и философ **Джордано Бруно** (1548–1600). Опираясь на гелиоцентрическую систему мира Коперника, Бруно выдвинул революционное по тем временам предположение о множественности обитаемых миров, а также о безграничности Вселенной в пространстве и времени. Кроме того, Джордано Бруно отверг идею о неподвижности звезд, полагая, что звезды во Вселенной перемещаются относительно друг друга.

За свою жизнь Джордано Бруно успел издать четыре книги. Первая из них, «Пир на пепле», появилась в Англии в 1584 г. и состоит из пяти диалогов, в которых ведется пропаганда астрономических идей Коперника, а также рассматриваются идеи о безграничности Вселенной и неисчислимости миров. В своих следующих книгах — «О причине, начале и едином» (1584), «О бесконечности, вселенной и мирах» (1584) и «О неизмеримом и неисчислимом» (1591) — Бруно развил эти идеи.

В 1600 г., будучи обвиненным в ереси, Джордано Бруно закончил свой жизненный путь на костре инквизиции.



Памятник Джордано Бруно, воздвигнутый на месте его казни на Кампо деи Фиори в Риме



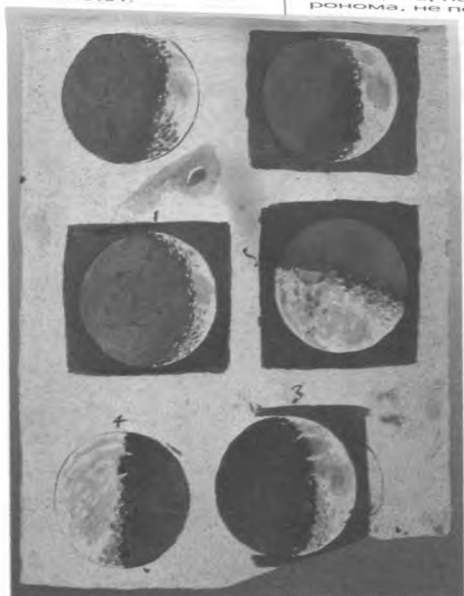
Суд инквизиции над Джордано Бруно. Барельеф

Христиано Банти.
Галилео перед рим-
ской инквизицией

Либрация луны (от лат.
libratio — качание, коле-
бание)

Либрация луны (от лат.
libratio — качание, коле-
бание), видимые пери-
одические маятнико-
образные колебания
Луны около ее центра,
вследствие которых
для земного наблюда-
теля пятна на диске
Луны перемещаются в
небольших пределах
то в ту, то в другую
сторону.

Рисунки Луны,
сделанные Галилеем
в 1610 г.



Знаковой фигурой в истории развития астрономических представлений также стал великий итальянский философ, физик и астроном, уроженец города Пиза **Галилео Галилей** (1564—1642 гг.).

В 16-летнем возрасте молодой Галилей поступил в Пизанский университет изучать медицину, но медиком не стал, а, бросив ки и физики. Известно, насколько хорошего врача потеряла медицина, но то, что астрономия приобрела выдающегося аст-
ронома, не подлежит сомнению.

Одним из наиболее весомых вкладов Галилея в науку о звездах стало то, что именно он, то есть первым использовал этот оптический прибор для наблюдений за небесными телами. Свой первый телескоп Галилей построил в 1609 г. и спустя год уже выпустил небольшую книгу под названием «Звездный вестник, открывающий великие и в высшей степени удивительные зрелища...», в которой описал свои открытия, сделанные с помощью телескопов.

Он обнаружил, что лунные пятна на самом деле не что иное, как лунный ландшафт, со своими горами и впадинами (названными Галилеем по аналогии «морями»). В январе 1610 г. ученый открыл четыре спутника планеты Юпитер — Ио, Европу, Ганимед и Каллисто, — а затем установил, что Млечный Путь является скоплением звезд (Птолемей Млечный Путь даже не рассматривал, поскольку считал его атмосферным

явлением). В конце того же года Галилей открыл пятна на Солнце (справедливости ради следует отметить, что одновременно с ним это открытие совершили еще три астронома: Т. Хэрриот, И. Фабриций и Х. Шейнер), на основании чего Галилей сделал вывод о вращении Солнца вокруг своей оси. Несовершенство телескопа не дало Галилею возможности открыть кольца Сатурна — вместо них он увидел по обе стороны планеты два странных придатка. Зато ученый сумел увидеть смену фаз Венеры и сделать вывод об обращении этой «утренней звезды» вокруг Солнца.

Являясь убежденным сторонником Коперника, Галилей в 1624 г. попытался добиться у папы Урбана VII, который благожелательно относился к нему, снятия запрета с гелиоцентрического учения польского священника, но потерпел неудачу.

В августе 1632 г. во Флоренции был напечатан основной труд Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевской и коперниковской», написание которого он начал еще в 1616 г. В нем три собеседника — сторонник Коперника, аристотелевец и нейтральный человек — ведут в течение четырех дней беседу. В первый день они обсуждают природу небесных тел, во второй — суточное движение Земли, в третий — годовичное движение Земли, в четвертый — теорию приливов и отливов как одно из доказательств движения Земли вокруг Солнца.

Подобной «наглой» пропаганды еретического учения церковь стерпеть не смогла, и в 1633 г. против Галилея в Риме начался судебный процесс: его подвергли допросам и заставили принести публичное покаяние на коленях в церкви. «Диалог» запретили, а Галилея официально объявили «узником инквизиции» с запретом вести разговоры об учении Коперника и печатать что-либо.

Несмотря на домашний арест, Галилей продолжал работать и в 1637 г. открыл так называемую либрацию Луны — ее «пошатывание» в процессе обращения вокруг Земли. Умер ученый в 1642 г.

Следующий этап развития европейской астрономии тесно связан с именем выдающегося датского астронома **Тихо (Тиге) Браге** (1546–1601). Свои астрономические наблюдения он начал еще в 17-летнем возрасте, а уже в 20 лет изготовил огром-



Титульный лист книги Галилея «Диалоги о приливах и отливах». Аристотель, Птолемей и Коперник обсуждают устройство мира

Тихо Браге





«Стенной квадрант»
Тихо Браге. 1598 г.

Тихо Браге не признавал системы Коперника и считал, что Земля находится в центре мира, Солнце движется вокруг Земли, а планеты — вокруг Солнца.

ный квадрант радиусом 6 м, а также начал постройку громадного небесного глобуса поперечником в 1,5 м.

В ноябре 1572 г. в **созвездии Кассиопеи** вспыхнула сверхновая звезда, видимая даже днем и достигшая яркости Венеры. Воспользовавшись уникальной возможностью, Тихо Браге измерил ее угловое расстояние от других звезд и установил, что суточное вращение Земли на положение новой звезды не влияет. На основании этого Тихо пришел к выводу, что параллакс новой звезды очень мал, а значит, она значительно дальше Луны.

В 1576 г. датский король Фридрих II предоставил Тихо остров Вен вблизи берегов Швеции и выделил средства для строительства на нем обсерватории, а также назначил астроному крупную пенсию и подарил имение в Норвегии. Тихо Браге развернул активное строительство, и уже через 8 лет, в 1584 г., в его распоряжении были две большие обсерватории — Ураниборг (то есть «замок Урании», покровительницы астрономии) и Стjerneборг («звездный замок»). Рядом с ними размещались мастерские, в которых под непосредственным руководством ученого изготовлялись высокоточные астрономические угломерные инструменты.

Астрономические наблюдения Тихо Браге на острове Вен продолжались двадцать один год. За это время он открыл новые неправильности в движении Луны, одна из которых вызвана перемещением плоскости лунной орбиты в пространстве. На основании нескольких тысяч ежедневных наблюдений Солнца ученый определил продолжительность года с точностью до 1 секунды и составил таблицы движения Солнца, которые были в 20 раз точнее, нежели до этого.

На протяжении семи лет он составлял новый звездный каталог, который включал 788 звезд. И хотя по числу звезд он уступал каталогам Улугбека и Гиппарха, но своей точностью многократно их превосходил. Более того, в этом каталоге впервые при определении звездных координат учитывалось явление рефракции — преломления света при его прохождении через земную атмосферу. В начале XVII в. каталог Тихо Браге был использован для составления первого подробного звездного атласа.

Много внимания Тихо Браге уделял измерению положений комет на небе, в результате чего установил, что параллактическое смещение этих светил очень мало и существующими

инструментами определить его невозможно. Отсюда Тихо Браге сделал вывод, что кометы размещены по меньшей мере в шесть раз дальше от Земли, нежели Луна, и являются такими же небесными телами, как Луна и планеты.

Весомым вкладом в астрономию стали измерения положений Марса, осуществленные Тихо Браге с точностью до $40''$, которые длились практически все время, пока ученый работал на острове Вен. За этот период Марс успел обойти вокруг Солнца 10 раз.

В 1597 г., после смерти своего покровителя короля Фридриха II, в результате травли и интриг со стороны канцлера Вальтендорфа Браге вынужден был покинуть Данию. После нескольких лет скитаний он обосновался в Праге, где обрел нового царственного покровителя в лице императора Рудольфа II. Здесь же, в Праге, в 1601 г. после мучительной болезни Тихо Браге скончался.

Архив наблюдений Тихо Браге стал той экспериментальной основой, анализ и обработка которой позволила его помощнику **Иоганну Кеплеру** (1571–1630) открыть законы движения планет.

Несмотря на большие проблемы со здоровьем — незаживающие язвы на коже, болезни печени и желудка, врожденную близорукость и монокулярную полиопию (раздвоение, растрояние изображения), — Кеплер обладал несгибаемым духом и выдающимися способностями. Из-за своей приверженности идеям Коперника он подвергся гонениям со стороны протестантской церкви и был вынужден покинуть г. Грац, где в местной гимназии несколько лет занимал должность профессора математики и «нравственной философии». Долгие годы скитаний привели его в Прагу, где Иоганн Кеплер встретился с Тихо Браге и стал его помощником. После смерти Браге в распоряжении Кеплера оказался архив его многолетних наблюдений.

В Праге Кеплер прожил 12 лет (1600–1612), в течение которых продолжал свои исследования и выпустил ряд книг. В 1604 г. вышла его книга «Дополнения к Вителлию, в которых сообщается об оптической части астрономии». В ней Кеплер до-



Памятник Тихо Браге и Иоганну Кеплеру в Праге

Иоганн Кеплер





Фронтиспис «Рудольфинских таблиц» Иоганна Кеплера, на котором изображены знаменитые астрономы прошлого: Гиппарх, Птолемей, Коперник и Тихе Браге

Движение планет



казал, что интенсивность света обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света, указал на существование солнечной короны, открыл явление полного внутреннего отражения, описал анатомическое строение глаза, дал математическое обоснование телескопов.

В 1609 г. была напечатана книга Кеплера «Новая астрономия, причинно обусловленная, или физика неба, изложенная в исследованиях о движении звезды Марс, по наблюдениям благороднейшего мужа Тихо Браге», в которой ученый сформулировал свои первые два закона движения планет.

В книге «Диоптрика», вышедшей в 1611 г., Кеплер предложил при построении телескопов применять комбинацию двух двояковыпуклых линз.

В 1619 г. Кеплер закончил свой трактат «Гармония мира», в котором сформулировал свой третий закон, а в 1617–1621 гг. вышел трехтомник «Краткое изложение коперниканской астрономии», представлявший собой учебник по астрономии, написанный в форме вопросов и

ответов. В нем Кеплер выдвигает предположения о множественности миров, о том, что Млечный Путь — это кольцо звезд, вблизи плоскости которого расположено Солнце с планетами, притяжением Луны объясняет явление приливов и делает много других смелых предположений.

В 1627 г. Кеплер закончил «Рудольфинские таблицы», составление которых начал еще Тихо Браге. Точность указанных таблиц была столь велика, что астрономы и мореходы пользовались ими как настольной книгой более 100 лет.

В чем же состояли законы движения планет Кеплера?

Первый закон Кеплера. Каждая планета движется вокруг Солнца по эллиптической орбите, причем Солнце находится в одном из фокусов эллипса.

Второй закон Кеплера. Каждая планета движется таким образом, что воображаемая линия, соединяющая Солнце и планету, за равные промежутки времени описывает равные площади. Планета проходит пути от А до В и от С до D за одно и то же время. Иными словами, планеты движутся быстрее всего, когда они максимально приближаются к Солнцу (*перигелий*), и медленнее всего, когда находятся на наибольшем удалении (*афелий*).

Третий закон Кеплера. Квадраты периодов времени, необходимого для того, чтобы две планеты завершили один оборот вокруг Солнца, имеют то же самое отношение, что и кубы их средних расстояний от Солнца. Третий закон Кеплера может быть использован для нахождения расстояния d планеты от Солнца по сравнению с расстоянием в 1 а. е. (расстояние от Земли до Солнца).

Впоследствии законы Кеплера были использованы Исааком Ньютоном для обоснования закона всемирного тяготения.

Предложенная Кеплером конструкция телескопа с использованием системы двояковыпуклых линз ознаменовала собой прорыв в телескопостроении. Большинство астрономов при изготовлении рефракторов начали применять предложенную схему, и почти все последующие открытия в астрономии были связаны именно с использованием телескопов.

Вопросам усовершенствования телескопов много сил отдал и знаменитый нидерландский астроном, физик, математик и механик **Христиан Гюйгенс** (1629–1695). Он создал несколько длиннофокусных «воздушных» телескопов («воздушными» их называли потому, что труба у такого телескопа отсутствовала, объективы укреплялись на высоких столбах, а наблюдатель, находящийся внизу, «ловил» изображение и рассматривал его в окуляр). Гюйгенс предложил использовать окуляр, состоящий из двух плоско-выпуклых линз, обращенных выпуклостью к объективу. И до сих пор подобный окуляр, носящий теперь имя своего изобретателя, применяется в телескопах.

Используя собственноручно построенный телескоп, в 1655 г. Гюйгенс открыл спутник Сатурна Титан и определил период его обращения вокруг планеты. Опять-таки благодаря своим высококачественным телескопам Гюйгенс открыл туманность в созвездии Ориона, полярные шапки Марса, полосы на Юпитере, а также кольца Сатурна (1658 г.). Гюйгенс попытался оценить расстояние до самой яркой звезды неба — Сириуса и установил, что расстояние до Сириуса — не меньше чем в 28 000 раз превышает расстояние от Земли до Солнца.

В 1668 г. Гюйгенс отправился в Париж в качестве члена только что созданной Парижской Академии наук, где принял активное участие в создании Парижской обсерватории, построенной в 1672 г.

XVII в. в истории астрономии ознаменовался открытием ряда крупнейших государственных обсерваторий, прежде всего Парижской и Гринвичской. Вызвано это было возросшими



«Кубок Кеплера»: модель Солнечной системы из пяти платоновых тел

Христиан Гюйгенс



Большим вкладом Гюйгенса в астрономию стало изобретение им в 1656 году часов с маятником, что дало возможность астрономам точно отмечать моменты прохождения звезд через меридиан, устанавливая тем самым угловые расстояния между ними, а в итоге — и их координаты.



Доменико Кассини

Оле Кристенсен
Рёмер



потребностями мореходов, которые под полными парусами стремились к новым землям.

Парижская обсерватория возникла во многом стараниями главного астронома Франции аббата **Жана Пикара** (1620–1682), просьбы которого были благосклонно встречены королем Франции Людовиком XIV. 22 декабря 1666 г. Парижская Академия наук приняла решение о постройке обсерватории. Через ее середину прошел центральный меридиан Франции. Первым директором Парижской обсерватории стал итальянец **Джованни (Жан) Доменико Кассини** (1625–1712), который прославился открытием четырех небольших спутников Сатурна, определением периодов обращения Юпитера и Марса, а также своими исследованиями поверхности планет.

С деятельностью Парижской обсерватории связаны многие громкие имена в астрономии, но прежде всего — великого датского ученого **Оле Кристенсена Рёмера** (1644–1710). Именно он первым установил, что скорость света хоть и огромна, но конечна.

В 1671 г. судьба свела датчанина с французским астрономом Жаном Пикаром, который, восхитившись знаниями и способностями Рёмера, пригласил молодого астронома во Францию, где тот стал сотрудником Парижской обсерватории и его помощником.

В Парижской обсерватории Рёмер ознакомился с таблицами движения спутников Юпитера, разработанными Кассини, и решил их перепроверить. Во время наблюдений ученый установил, что в зависимости от удаленности Юпитера от Земли и Солнца происходит запаздывание или опережение (относительно вычисленного времени) выхода его спутников из зоны затмения. На основании этого наблюдения в 1675 г. Рёмер сделал вывод о том, что подобное расхождение объясняется конечностью скорости распространения света. По оценкам самого Рёмера, ее величина составляет 210 000 км/с. Это открытие принесло Рёмеру мировую известность, его приняли в члены Парижской Академии наук. В 1681 г. Рёмер покинул Францию и вернулся на родину, где занял пост профессора астрономии и математики в Копенгагенском университете.

С деятельностью Парижской обсерватории связано определение размеров Солнечной системы. В 1669–1671 гг. Жаном Пикаром было предпринято измерение длины дуги меридиана, которое было выполнено с высочайшей для того времени точностью: ошибка измерения составила всего несколько метров (при длине дуги в 111 км на 1° в средних широтах). Таким образом, уже в XVII в. было установлено, что радиус Земли составляет 6374 км.

В 1671–1673 гг. Кассини и Жан Рише попытались определить расстояние от Марса до Земли, для чего одновременно вы-

полнили измерение положения Марса среди звезд: Кассини — в Парижской обсерватории, Рише — в Южной Америке (г. Кайенна). Путем решения треугольника Париж — Марс — Кайенна по величине параллактического смещения планеты среди звезд и известному расстоянию между пунктами наблюдений было высчитано искомым расстояние. Зная расстояние от Солнца до Марса (по Копернику — 1,52 а. е.), нетрудно было определить величину астрономической единицы по формуле: $1,52 \text{ а. е.} - 0,52 \text{ а. е.} = 1 \text{ а. е.}$, то есть из расстояния от Марса до Солнца вычли расстояние от Марса до Земли. Так было найдено, что расстояние от Земли до Солнца равно 140 000 000 км, что всего на 6,3% меньше действительного значения.

В 1675 г. королем Карлом II была основана другая известнейшая обсерватория — Королевская Гринвичская. Вначале она размещалась в Гринвиче около Лондона, но в наши дни она расположена в Кембридже.

Первым директором обсерватории был назначен **Джон Флемстид** (1646–1719), королевский астроном, член Лондонского королевского общества. Наибольшую известность ему принесли его наблюдения положений звезд. Флемстид создал знаменитый «Британский каталог», содержащий положения 3000 звезд. Всем звездам Флемстид присвоил номера в порядке роста их прямых восхождений в пределах каждого созвездия, которые часто применяются и сегодня. Среди других работ астронома можно отметить его теорию движения Луны, которой впоследствии воспользовался Исаак Ньютон при создании своей теории движения Луны. Флемстид разработал оригинальный метод абсолютного определения прямых восхождений, с помощью которого получил точные положения сотра звезд и осуществил привязку к ним 3000 звезд своего каталога. Уже после смерти Д. Флемстида в 1725 г. был опубликован основной труд его жизни «Британская история неба» (куда в качестве 3-го тома входил «Британский каталог»).

Большой вклад в развитие как английской, так и мировой астрономии внес **Эдмунд Галлей**



Современный вид Гринвичской обсерватории

Роль Королевской Гринвичской обсерватории в развитии астрономических знаний была столь велика, что в 1884 г. было принято решение считать меридиан, проходящий через Гринвич, точкой отсчета географической долготы.

Эдмунд Галлей





Комета Галлея



Джеймс Брайлей

(1656–1742), ученик Д. Флемстида, после его смерти занявший пост директора Гринвичской обсерватории. Научную славу Галлею принесла разработка метода расчета кометных орбит и установление периодичности некоторых комет. В частности, он определил период кометы, названной в его честь кометой Галлея, и рассчитал ее следующее появление.

Галлей разработал способ определения расстояния от Земли до Солнца путем наблюдения проходов внутренних планет по диску Солнца и на его основе вычислил расстояние от Меркурия и Земли до Солнца. В 1676–1678 гг. основе своих наблюдений звезд южного неба составил первый каталог южных звезд, содержащий 341 звезду. Сравнив положения звезд из каталога Птолемея с современными ему значениями, Галлей первым обнаружил собственные движения звезд. Известны также работы Галлея по позиционным наблюдениям Луны и точному определению ее орбиты.

Ряд выдающихся открытий совершил английский астроном **Джеймс Брайлей** (1693–1762), сменивший Э. Галлея в 1742 г. на посту директора Гринвичской обсерватории. Ему принадлежит открытие астрономической аберрации света. В 1727 г., пытаясь измерить параллаксы звезд и не сумев сделать этого (в силу малости их значения), обнаружил смещение всех звезд в направления движения Земли. Определяя параллаксы некоторых неподвижных звезд, ученый обнаружил слишком большое смещение в сторону, противоположную парал-

Аберрация света в астрономии — изменение направления светового луча, идущего от светила, вызванное конечностью скорости света и движением наблюдателя относительно светила. Эффект состоит в том, что вследствие движения Земли вокруг Солнца и времени, необходимого для распространения света, наблюдатель видит звезду не в том месте, где она находится.

лактическому. Это явление Брайлей объяснил орбитальным движением Земли и конечностью скорости света, незадолго до этого открытой О. Рёмером.

Из своего открытия Брайлей также сделал вывод о том, что параллаксы звезд должны быть намного меньше одной дуговой секунды и, соответственно, звезды находятся гораздо дальше от Земли, чем было принято считать.

Одновременно с открытием аберрации Брайлей обнаружил небольшие годовые изменения склонений некоторых звезд,

которые не могли быть объяснены ни прецессией, ни абберацией. Несколько лет спустя, в 1732 г., он высказал предположение, что наблюдаемые изменения обусловлены небольшими колебаниями земной оси, вызванными влиянием Луны на экваториальные части земного шара. Для подтверждения

В астрономии нутация (от лат. nutatio — «колебание») — небольшие колебания земной оси, накладывающиеся на ее прецессионное движение и обусловленные изменениями притяжения, оказываемого Луной и Солнцем на так называемый экваториальный избыток массы вращающейся Земли (который является следствием сжатия Земли). Подобная нутация называется лунно-солнечной, или вынужденной.

своей теории ученый провел цикл наблюдений в течение 19 лет (период обращения узлов лунной орбиты) и в 1748 г. объявил об открытии явления, названного им нутацией.

Брадлей оставил таблицы, позволявшие учитывать открытия им явления абберации и нутации, а также прецессию, при точных определениях положений звезд. Им также были составлены подробные таблицы атмосферной рефракции с учетом температуры воздуха и атмосферного давления, что позволило ученому достичь высокой точности при наблюдениях положений звезд.

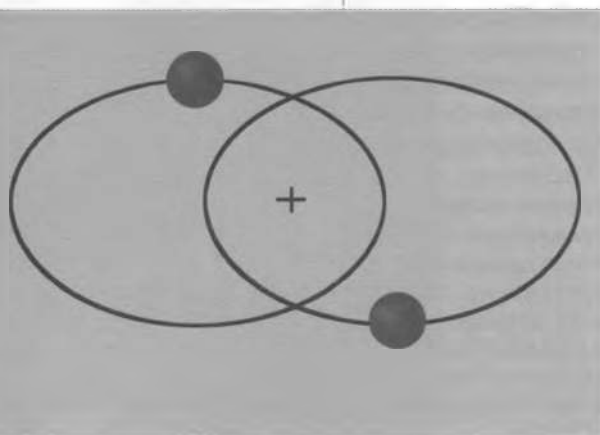
Кроме того, Бадлеем были выполнены измерения диаметров Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна и его колец. Также он наблюдал и рассчитал элементы орбит нескольких комет, внес вклад в развитие мореходства, разработав ряд методов определения долготы на море.

Новый этап развития астрономии связан с именем **Исаака Ньютона** (1643–1727) — выдающегося английского физика, астронома и математика. Перечислять все открытия, сделанные Ньютоном, не имеет смысла, поэтому мы ограничимся только теми из них, которые имеют непосредственное отношение к астрономии.

Величайшим вкладом Ньютона стало открытие им закона всемирного тяготения, который он сформулировал в своем основном научном трактате «Математические начала натуральной философии», увидевшем свет в 1687 г. В нем он, в частности, рассматривает движение Луны вокруг Земли и доказывает тождественность силы тяготения с силой притяжения Землей всех предметов на ее поверхности. В ходе последу-

Исаак Ньютон





Ньютон установил, что в системе из двух тел оба они вращаются вокруг общего центра тяжести

Точная копия 6-дюймового телескопа-рефлектора, который сделал Ньютон для Королевского общества в 1672 г.



ющих рассуждений Ньютон сделал выводы о том, что: 1) тяготение существует на всех планетах; 2) тяготение, направленное к любой планете, обратно пропорционально квадрату расстояния от ее центра; 3) все планеты тяготеют одна к другой. Исходя из этого, он сформулировал следующий принцип: «Все тела тяготеют к каждой отдельной планете, и вес тела на каждой планете при одинаковых расстояниях от ее центра пропорционален массам этих планет».

Рассматривая взаимопритяжение двух тел, Ньютон установил, что ни одно из них не остается в покое, а оба они вращаются вокруг общего центра тяжести. Сам же центр тяготения либо будет находиться в состоянии покоя, либо будет двигаться равномерно и прямолинейно.

Ньютон установил, что общим видом траекторий небесных тел, движущихся под влиянием центральных сил, являются конические сечения — эллипс, парабола, гипербола, в то время как кеплеровы эллипсы являются всего лишь частным случаем.

Большое внимание Ньютон уделял кометам и утверждал, что они расположены дальше от Земли, чем Луна. По его мнению, кометы светят отраженным от Солнца светом, а кометный хвост представляет собой облако пара, выделяемого ядром кометы вследствие нагревания от Солнца.

В «Началах» Ньютон объяснил главные особенности движения Луны, явление прецессии, а также обосновал тезис, что приливы и отливы моря обуславливаются действием Луны и Солнца.

Ньютон доказал, что размеры Солнца в 109 раз превышают размеры Земли, а средняя плотность солнечного вещества в четыре раза меньше земного. Более того, в качестве причины большого разрежения Ньютон назвал высокую температуру солнечных недр, чем предвосхитил на много лет развитие астрофизики.

Ньютону принадлежит ряд важнейших открытий в оптике, часть из которых изложена в его знаменитой книге «Оптика» (1704). В частности, он установил сложный состав солнечного света, разложив с помощью стеклянной призмы белый свет на спектр. Проведя ряд оригинальных опытов, Ньютон пришел к выводу,

что белый цвет разлагается на цветные лучи, которые являются простыми и призмой не разлагаются, и для каждого цвета показатель преломления имеет свое определенное значение. Таким образом, им было открыто явление дисперсии света, то есть явление зависимости скорости света от длины волны или частоты. Являясь приверженцем корпускулярной теории света, Ньютон

Хроматическая аберрация — погрешность оптических систем, связанная с зависимостью показателя преломления оптических стекол от длины падающего на них света, в результате чего края изображения приобретают цветную кайму.

счел открытие дисперсии подтверждением этой теории.

Пытаясь обойти явление хроматической аберрации, которую он полагал неустранимой, Ньютон создал в 1668 и 1671 гг. телескопы-рефлекторы, основанные на явлении отражения световых лучей от вогнутого зеркала. Именно благодаря созданию телескопа-рефлектора, который вызвал восхищение королевской семьи и научного Лондонского королевского общества, Ньютон был избран членом этого уважаемого общества.

Пытаясь объяснить в рамках корпускулярной теории света явление интерференции (взаимного усиления или ослабления света при наложении двух его волн, которые имеют одинаковые частоты колебаний), Ньютон занялся исследованием этого явления. Он взял линзу, положил ее на стеклянную пластинку и пронаблюдал темные и светлые кольца, которые видны при освещении линзы и пластинки монохроматическим светом. Наблюдаемый им феномен впоследствии получил название «кольца Ньютона».

В XVIII в. благодаря работам целой плеяды выдающихся математиков, среди которых можно назвать Алексиса Клода Клеро, Жана Лерона Д'Аламбера, Леонарда Эйлера, Жозефа Луи Лагранжа, Пьера Симона Лапласа и других, была выстроена система классической механики, начало чему положили работы Ньютона. Например, **Леонард Эйлер** (1707–1783) сделал существенный вклад в теорию возмущенного движения и разработал теорию движения Луны.

Кольца Ньютона



Леонард Эйлер





Жозеф Луи де
Лагранж

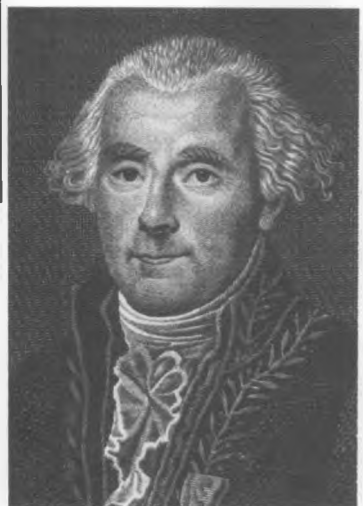
Жозеф Луи де Лагранж (1736–1813) — французский математик, механик и астроном — завершил начатую Эйлером разработку важнейшего в небесной механике метода вариаций постоянных и с его помощью решил задачу о взаимных возмущениях Юпитера и Сатурна, значительно улучшив результаты полученные Эйлером. Также Лагранж создал теорию вековых изменений орбит планет; показал, что эти изменения являются в действительности периодическими с очень большими периодами. Много внимания он уделял изучению векового ускорения среднего движения Луны, возмущений орбит комет большими планетами, разрабатывал гипотезу о происхождении комет в результате взрыва или извержения на планете.

Вообще же термин «небесная механика» ввел французский астроном, математик и физик **Пьер Симон Лаплас** (1749–1827), который использовал его в своем фундаментальном труде «Трактат о небесной механике» (1798–1825).

Лаплас изучал широкий круг вопросов теории движения небесных тел и фигур их равновесия, используя методы аналитической механики Эйлера и Лагранжа. Он доказал, что закон всемирного тяготения достаточен для объяснения и предсказания движения тел Солнечной системы, что причиной ускорения движения Луны является эксцентриситет земной орбиты, который в свою очередь изменяется под действием планетных возмущений. Лаплас показал, что возмущение имеет периодический характер, но с очень большим периодом, так что через некоторый промежуток времени Луна начнет двигаться замедленно.

Лаплас разработал космогоническую гипотезу о возникновении Солнечной системы из вращающейся газовой туманности. По его мнению, первоначально на месте Солнечной системы была вращающаяся вокруг своей оси раскаленная туманность. Охлаждаясь, туманность сжималась, сплющиваясь, а ее угловая скорость вращения при этом возрастала. Как только центробежная сила превышала силу тяготения, от туманности отрывалось некоторое количество вещества, продолжавшее вращаться в том же направлении, что и вся туманность. Каждый оторвавшийся кусок распадался на меньшие сгустки, которые объединялись между собой, образуя планеты. Подобным же образом образовывались и спутники планет. В течение всего XIX в. гипотеза Лапласа считалась достоверной, пока от нее не отказались из-за ее неспособности объяснить ряд фактов.

Рядом с именами Кеплера и Ньютона смело можно поставить и имя выдающегося английского астронома **Уильяма Гершеля** (1738–1822), основоположника звездной астрономии — раздела астрономии, изучающей строение и развитие звездных систем, — первым обратившего внимание на отдельные объекты Вселенной. Свои первые шаги в астрономии



Пьер Симон Лаплас

Гершель сделал в качестве мастера по изготовлению зеркал для телескопов, в чем достиг подлинного совершенства. Вообще же за свою жизнь Гершель отшлифовал около 400 зеркал.

Качество телескопов Гершеля было настолько высоким, что уже в свой первый телескоп (с диаметром главного зеркала 20 см и длиной 168 см) ученый смог рассмотреть яркую туманность в созвездии Ориона. Впоследствии Гершель посвятил много сил изучению туманностей, классифицировал их по формам, выделив «планетарные» и «кометарные» туманности. В целом за всю свою жизнь он открыл около 2500 туманностей.

Одним из главных вкладов Гершеля в астрономию было открытие им 13 марта 1781 г. новой планеты, обращающейся вокруг Солнца на расстояние от него вдвое больше, чем Сатурн. Сперва Гершель назвал обнаруженную им планету «свещилом Георга» — в честь английского короля Георга III, но вскоре счел, что ей больше подойдет имя Уран. Вскоре он открыл два спутника Урана — Оберон и Титанию.

В 1783 г., сравнивая результаты своих наблюдений с каталогами Гиппарха, Тихо Браге и Джона Флемстида, Гершель установил, что ряд звезд (например, Сириус и Альдебаран) движутся на фоне других, «неподвижных», звезд. На основании этого астроном пришел к двум важнейшим выводам: во-первых, Солнце движется в пространстве, а во-вторых — расстояния до различных звезд не одинаковы.

Обладая высококачественными телескопами, Гершель предпринял попытку выяснить строение звездной системы, для чего подсчитал число звезд, видимых в телескоп, в каждом из 1083 участков, на которые он разбил звездное небо. Проанализировав данные своих наблюдений, Гершель сделал вывод, что звездная система, в которую входит Солнце, имеет вид сплюснутого диска диаметром 5800 и толщиной 1100 световых лет (эта оценка меньше современной в 15 раз).

Звездные скопления, подобные Млечному Пути, Гершель считал огромными звездными системами, расположенными далеко за пределами нашей Галактики, среди которых ближайшей к нам является галактика в созвездии Андромеды.

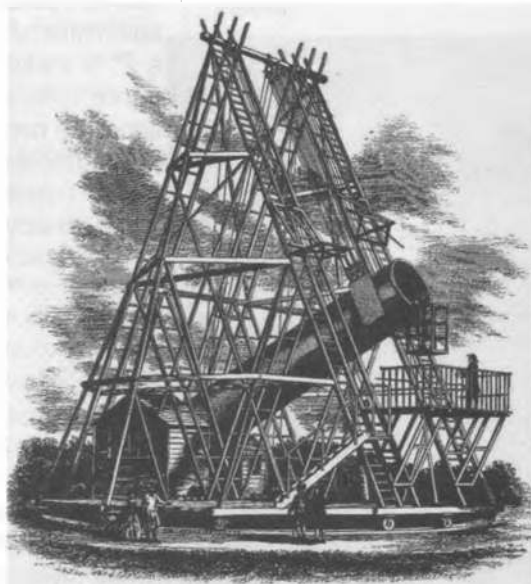
Оценивая расстояние до других звездных систем, Гершель ввел новую единицу измерения — световой год, и определил протяженность Галактики в 1800 расстояний «Солнце — Сириус» (именно это расстояние он рассматривал в качестве единицы масштаба), а ее толщину — в 200–250 подобных масштабных единиц. Гершель верно оценил расстояния до самых далеких галактик, которые ему удавалось видеть, в 1 млн



Вильям Гершель

Свой наибольший телескоп Гершель построил в 1787 г. Этот гигант имел диаметр зеркала 147 см (рабочий диаметр 122 см), фокусное расстояние более 12 м и весил около 2 т.

40-футовый (12 м) телескоп, построенный Гершелем





Уильям Парсонс

световых лет, но ошибся почти в 100 раз при определении расстояния до нашей ближайшей соседки — туманности Андромеды, — оценив его в 2000 масштабных единиц «Солнце — Сириус». Оценивая возраст звездных систем, Гершель считал, что в силу огромного расстояния до них его следует измерять миллионами веков, поскольку при помощи телескопов астрономы наблюдают за далеким прошлым этих объектов.

Исследуя далекие звездные системы, Гершель открыл настоящие газовые туманности и предположил, что именно они могут являться строительным материалом, из которого формируются звезды в результате сжатия туманности.

Эстафету по изучению туманностей у Гершеля принял другой выдающийся английский ученый **Уильям Парсонс**, лорд Росс (1800–1867). Закончив в 1845 г. строительство крупнейшего в то время телескопа с диаметром зеркала 183 см и фокусным расстоянием 15,8 м, он в том же году обнаружил, что туманность в созвездии Гончих Псов имеет спиральную форму. Открытый им объект получил название Водоворота Росса. Впоследствии Росс наблюдал аналогичную спиральную структуру еще у двадцати других туманностей.

Вторая половина XIX в. ознаменовалась торжеством теоретической астрономии. Наблюдения за планетой Уран свидетельствовали о наличии некоторых сравнительно небольших возмущений, которые не могли объясняться влиянием известных планет Солнечной системы. Тогда два астронома — англичанин **Джон Кауч Адамс** (1819–1892) и француз **Урбен Жан Жозеф Леверрье** (1811–1877), независимо друг от друга предположили существование неизвестной планеты, расположенной за Ураном. В октябре 1845 г. Адамс рассчитал орбиту новой планеты и указал ее положение на небе, допустив ошибку в 2°. В конце августа 1846 г. свои вычисления (оказавшиеся более точными — ошибка составила всего 52') закончил Леверрье и передал для практического подтверждения в Берлинскую обсерваторию. Сразу после обработки данных, 23 сентября, немецкий астроном **Иоганн Готфрид Галле** (1812–1910) обнаружил в указанном месте новую планету, которая получила название Нептун.

Астрометрия изучает видимые положения и движения светил, а также способы определения по ним географических координат и точного времени.

В XIX в. возник еще один раздел астрономии — астрометрия, основателем которой стал немецкий астроном и геодезист **Фридрих Вильгельм Бессель** (1784–1846). Он был последовательным сторонником идеи о необходимости внесения соответствующих поправок в результаты наблюдений, поскольку

создание совершенного астрометрического инструмента невозможно. Разработал теорию ошибок инструментов.

Для обработки своих наблюдений Бессель широко использовал различные математические методы, например теорию вероятностей. В 1818 г. Бессель опубликовал свою книгу «Основы астрономии», которая представляла собой переработанный звездный каталог Брадлея, куда Бессель, кроме собственно каталога на 3200 звезд, включил полученные им значения постоянных рефракции, прецессии и нутации.

В результате своих наблюдений за движением Сириуса и Прокциона Бессель обнаружил, что оно не является прямолинейным, а напоминает волнистую линию. Пытаясь объяснить эту особенность траектории, он предположил, что эти звезды имеют спутники и вместе с ними вращаются вокруг общего центра тяжести. Спустя несколько лет это предположение было подтверждено наблюдениями, и спутники Сириуса и Прокциона были обнаружены.

Открытое Ньютоном явление дисперсии света привело впоследствии к разработке спектрального анализа, дающего возможность узнать о химическом составе далеких от нас небесных тел. В 1802 г. английский физик **Вильям Волластон** (1766–1828) обнаружил в солнечном свете, а также в спектрах различных раскаленных тел, присутствие неких темных линий, параллельных щели, через которую проходит свет. Одновременно с ним немецкий физик **Йозеф Фраунгофер** (1787–1826), который рассматривал спектр через зрительную трубу, обнаружил в одном и том же месте спектра пламени растительного масла и спирта четкую sdвоенную желтую линию. В солнечном спектре он обнаружил более 500 отдельных темных линий, получивших название фраунгоферовых. Самым ярким из них он присвоил буквенные обозначения (от красного до фиолетового участка спектра) A, B, C, D, E, F, G, H.

Исследуя спектры планет и Луны, Фраунгофер установил наличие таких же темных линий, как и в солнечном, хотя в спектрах звезд они отсутствовали. Но важнейшим его открытием стало обнаружение им определенного сходства спектра пламени растительного масла с солнечным (яркая линия пламени занимала то же место, что и темная линия D солнечного спектра), что стало первым доказательством того, что наше светило состоит из тех же химических элементов, что и Земля. Позднее было установлено, что желтая линия D излучается натрием, очень распространенным в природе.

Но создателями спектрального анализа как метода исследования в астрономии считают ученых **Густава Роберта Кирхгофа** (1824–1887) и **Роберта Вильгельма Бунзена** (1811–1899), которые осуществили целый комплекс исследо-



Йозеф Фраунгофер

Густав Роберт
Кирхгоф



Прибор для исследования спектра светового излучения – спектроскоп, изобретенный Кирхгофом и Бунзенем

ваний и доказали, что на Солнце очень много тех же химических элементов, что и на Земле. Именно Кирхгофу принадлежит первая научно обоснованная модель Солнца как раскаленного шара с очень высокой температурой, окруженного менее горячей атмосферой, в которой земные элементы находятся в газообразном состоянии. Он первым предложил использовать фраунгоферовые линии для определения состава звезд.

Спектральный анализ очень быстро зарекомендовал себя как надежный метод, и уже в 1868 году с его помощью английский астроном **Джозеф Норман Локьер** (1836–1920) обнаружил в спектре Солнца яркую желтую линию вблизи линии D натрия. Химический элемент гелий (то есть «солнечный»), которому принадлежала эта линия, на Земле был найден лишь в 1895 г., спустя 27 лет после его открытия Локьером!

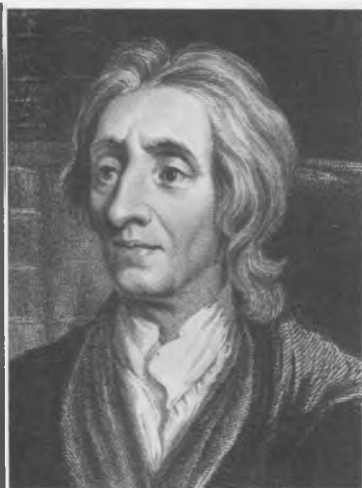
Развитие спектрального анализа привело к пониманию того, что с изменением температуры и плотности раскаленного газа изменяется также и интенсивность отдельных спектральных линий. Это дало возможность астрономам определять плотность и температуру атмосфер небесных тел на основании анализа их спектров, что в итоге привело к возникновению различных систем классификации звезд по характеру их спектров.

В 1863 г. итальянский астроном **Анджело Секки** (1818–1878) предложил делить звезды на три группы: так называемые «белые звезды» (в их спектрах мало линий металлов), «желтые звезды» (солнцеподобные светила) и «красные звезды» (отличаются низкой поверхностной температурой, в спектрах видны широкие полосы, принадлежащие молекулам).

Позднее, в 1918–1924 гг., Гарвардской обсерваторией был выпущен фундаментальный девяти томный каталог спектров звезд Генри Дрепера, в котором каждая из 225 330 звезд была отнесена к определенному классу, обозначенному буквами O, B, A, F, G, K и M по мере уменьшения температуры звезды от 50 000 до 3000 К.

В середине XIX в. большое внимание уделялось исследованиям физической природы Солнца и звезд, изучению их плотности и температуры в недрах. Работами английского астронома **Джона Гершеля** (1792–1871) и француза **Клода Пулье** (1791–1868) было установлено, что количество теплоты, приходящей от Солнца на единицу земной поверхности за единицу времени, невероятно велико. Например, Джон Гершель утверждал, что теплоты, получаемой Землей в течение года, было бы достаточно, чтобы растопить на ней слой льда толщиной в 36 м. Тогда возник закономерный вопрос об источниках солнечной энергии.

Джозеф Норман Локьер



Свой ответ на этот вопрос попытался дать немецкий ученый **Герман Гельмгольц** (1821–1894). Он выдвинул так называемую **контракционную гипотезу**, в которой утверждал, что Солнце излучает часть энергии, выделяющейся за счет его сжатия.

Большой вклад в исследования звезд внесли австрийские физики **Йозеф Стефан** (1835–1893) и **Людвиг Больцман** (1844–1906). Их открытие состояло в том, что количество энергии, излучаемое нагретым абсолютно черным телом с единицы поверхности в единицу времени, пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры. Благодаря этому астрономы получили возможность вычислять эффективные температуры далеких звезд, измеряя количество энергии, приходящее от них на Землю.

Важнейшее место в астрономии заняло открытие, сделанное в 1842 г. австрийским физиком **Христианом Доплером** (1803–1853). Он установил, что частота звуковых волн, воспринимаемая наблюдателем, зависит от относительной скорости источника колебаний и наблюдателя, причем при сближении источника и наблюдателя частота должна увеличиваться, а при удалении — уменьшаться. Согласно этому принципу, получившему название «**принцип Доплера**», в спектре приближающегося источника света спектральные линии должны смещаться к фиолетовому концу, в спектре удаляющегося — к красному, а величина смещения будет пропорциональна длине волны и скорости сближения или удаления.

«Принцип Доплера» сразу же был взят на вооружение астрономами для определения так называемых лучевых скоростей движения звезд, и галактик («красное смещение»), вращения Солнца и звезд вокруг их осей и других эффектов.

К концу XIX в. количество открытий в астрономии росло подобно снежному кому. Не за горами было потрясение основ мировоззрения, осуществленное Эйнштейном. Приближалась эра радиоастрономии, позволившей ученым заглянуть в самые дальние пределы Вселенной. Но все это было впереди... Мы же перенесемся во времени и пространстве на просторы нашей родины, чтобы посмотреть, как русские ученые закладывали фундамент отечественной астрономии.



Анджело Секки



Йозеф Стефан



Людвиг Больцман

История российской астрономии

Астрономические представления в Древней Руси

В период с 1060 по 1715 гг., согласно дошедшим до наших дней летописям, на Руси наблюдалось 49 затмений, что составляет 33% от их реального числа. Что же касается лунных затмений, то за тот же период времени из 618 затмений, видимых на территории России, в летописи попало только 40, т. е. всего 6,3%.

Комета на вечернем небе



До принятия христианства (988 г.) у восточных славян астрономия не получила широкого развития. По мнению некоторых исследователей, у древних славян существовал языческий астрономический календарь с лунно-солнечной или лунной основой. Обнаружены также изображения Большой Медведицы и Плеяд на камнях.

В Древней Руси были известны главные и наиболее яркие планеты Венера, Юпитер, Марс, Сатурн и Меркурий. В старинных рукописях они встречаются под названиями: для Венеры — Афродит, Чигирь-звезда, Денница; для Юпитера — Иовиш, звезда Ивока, Зевес; для Марса — Аррис, для Сатурна — Крон, для Меркурия — Ермис.

Не меньше, чем звезды и планеты, внимание наших предков привлекали кометы. В народе их обычно называли метлами, причем на Украине ходило поверье, что появление кометы — к войне; в Белоруссии — что Бог посылает метлы на небе, чтобы смести грешников с лица Земли; а в России о кометах говорилось: «Метлы небо подметают перед Божьими стопами».

С X–XI вв. тесные отношения Руси с Византией способствовали развитию различных наук, в том числе и астрономии, причем культурный уровень Киевской Руси превзошел западноевропейский. Свообразными «научными» центрами становились монастыри, где в летописях велась регистрация астрономических событий, причем особое внимание в своих летописных повествова-

ниях монахи уделяли «знамениям небесным», то есть солнечным и лунным затмениям, а также кометам.

В ходу были в основном только те сочинения, которые одобряла Церковь, например описания мироздания в сборнике «Толковая Палея» XIII в., где Земля еще не представлена шаром, но уже держится «ни на чем», «волей Божьей», светила же двигают ангелы. В этом сборнике была изложена, хотя и с искажениями, система небесных сфер Аристотеля.

Большое распространение на Руси в это время получило сочинение александрийского монаха Космы Индикоплова.

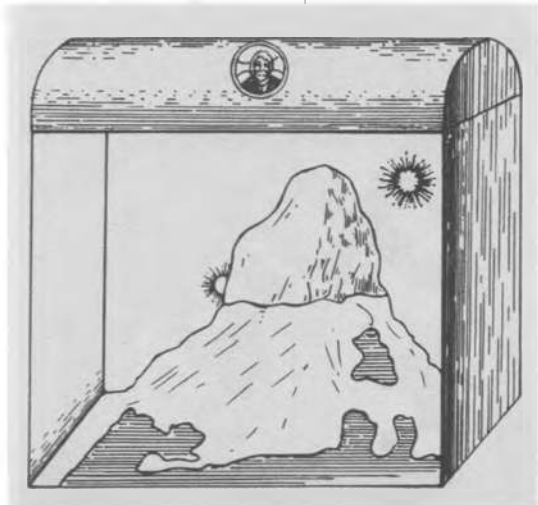
Косма Индикоплов (Индикоплевст) — византийский купец и путешественник, позднее ставший в монахом. В 535 г., после путешествия по Индии, написал труд «Христианская топография Вселенной, основанная на свидетельствах святого письма, в котором христианам нельзя сомневаться». В этой книге Косма утверждает, что «нельзя верить светской науке, которая считает, будто с помощью разума можно познать Вселенную», высмеивает мысль о шарообразности Земли и предлагает собственную модель мира: «Мы скажем вместе с пророком Исайей, что небо имеет форму свода; вместе с Иовом скажем, что оно соединено с Землей, а вместе с Моисеем, что Земля больше в длину, нежели в ширину».

В сочинении Индикоплова сказано, что Земля имеет форму прямоугольника, у которого большие стороны в два раза длиннее малых и посередине которого расположен город Иерусалим. За океаном, окружающим Землю, размещен еще один материк, в восточной части которого был когда-то земной рай. Небесный свод поддерживается четырьмя отвесными стенами. На севере Земли возвышается огромная гора, за которую заходят Солнце, Луна и звезды на определенную часть суток. «Все светила, — пишет Косма, — созданы для того,



Взятие Ильи Пророка. Христианская топография Космы Индикоплова. Синай. Монастырь Св. Екатерины

Мир по представлению Космы Индикоплова





«Ангелы, движущие звезды» (из славянского перевода книги Космы Индикоплова)

Святой Епифаний



чтобы управлять днями и ночами, месяцами и годами, перемещаются в результате движения неба, а действием божественных сил и миссий носителей. Бог создал ангелов, чтобы они служили ему, и одним приказом двигать воздух, другим — Солнце, третьим Луну, четвертым звезды, которым велел нагромождать облака и готовить дождь».

Одновременно с книгой Космы в Древней Руси пользовалось популярностью и другое сочинение, составленное болгарским экзархом Иоанном, носившее название «Шестоднев». Оно дошло до нас в древней рукописи, относящейся к 1263 г.

В этом религиозно-космографическом сочинении встречается признание зодиака, отличия звезд от планет, разделение Земли по климатическим поясам, описывается явление отклонения тени в Южном полушарии к югу. Автор «Шестоднева» употребляет астрономические термины, впервые на Руси упоминает «книжное» название созвездия Большой Медведицы, более известного в народе под другими именами. В своем сочинении Иоанн приводит целый ряд свидетельств, существовавших в его время примет (так называемых местных примет, знаков погоды) по виду Солнца и Луны, причем упоминает явления «ложных солнц».

Другой авторитетный автор в Древней Руси — Епифаний Кипрский — полагал, что ангелы, управляющие на небе движением небесных светил, собирают трубами морскую воду, чтобы выпустить ее снова в виде дождя на землю. С течением времени на Руси произошло распространение переложения системы Птолемея в энциклопедическом труде одного из образованнейших византийских писателей VIII в. **Иоанна Дамаскина** (ок. 680 до 753 н. э.) «Точное изложение православной веры».

В книге Иоанна Дамаскина зодиакальные созвездия описываются во всех подробностях, называются 12 зодиакальных знаков, и, более того, перечисляются астрономические «дома планет». К сферической астрологии автор относится от

цательно, ограничивая ее значение только влиянием небесных светил на погоду.

В сочинении встречаются хорошо и верно описанные солнечные и лунные затмения. Рассуждая о форме Земли, Дамаскин в большей степени склоняется к идее о ее «круглообразности». Согласно Дамаскину, Земля окружена тремя небесами: первое, самое высокое и неподвижное, — эмпирейское, второе — хрустальное, третье — твердь, делящаяся на пояс неподвижных звезд и пояс планет. В свою очередь планетное небо делится на семь кругов по числу известных на то время планет.

С началом татаро-монгольского нашествия почти на три века в большинстве русских земель развитие астрономической науки (как, впрочем, и любой другой) было приостановлено. Исключение составляли лишь северо-западные области, среди которых ведущее место, бесспорно, занимал Новгород.

Лишь с конца XV в. уже в объединенном Москвой Русском государстве возобновляется интерес к естественным наукам. На волне этого интереса для определенных слоев населения Новгородской республики и Москвы (главным авторитетом для которых был выходец из Литвы, еврейский ученый Захарий Скар) получили распространение книги, в которых излагались геоцентрические представления Аристотеля — Птолемея. К ним в первую очередь относились: «Шестокрыл» (шесть лунных таблиц, позволяющих путем несложных математических приемов вычислять с известной точностью лунные фазы и затмения) и «Космография» (русский перевод известного сочинения XIII в. «Сфера Вселенной» Сакробоско).

Однако Церковь резко выступила против указанных сочинений, обвинив сторонников описываемых в книгах взглядов в ереси, вошедшей в историю Руси как «ересь жидовствующих». «Ересь» «Шестокрыла» в первую очередь заключалась в том, что в нем было принято иудейское летосчисление от сотворения мира, тогда как в Древней Руси признавалось византийское, разница между ними составляет 1748 лет. Книги были запрещены Церковью, а проповедники астрономических знаний подвергались тюремному заключению, и часть их в начале XVI в. была публично предана сожжению.

На некоторое время в русской астрономии наступил период застоя, который был прерван появлением на небосклоне российской науки такой «сверхновой» звезды, как М.В. Ломоносов.



Иоанн Дамаскин

Михаил Ломоносов



Л.С. Митропольский.
Портрет М.В. Ломоносова

Ломоносов совершил выдающиеся открытия не только в астрономии, но и во многих областях естественных и гуманитарных наук. Он заложил основы отечественной химии, геологии, металлургии, внес существенный вклад в изучение истории русского народа, много сил отдал развитию русской поэзии, создал «Российскую грамматику» и многое другое. За 14 лет до А. Лавуазье Ломоносов впервые открыл закон сохранения вещества при химических реакциях.

Михаил Васильевич Ломоносов родился 19 ноября 1711 г. в деревне Денисовка вблизи Холмогор, что в Архангельской губернии, в семье рыбака-помора. Рано выучился читать и, испытывая колоссальную жажду знаний, в 19 лет ушел из родной деревни в Москву для учения. В 1731–1735 гг. учился в московской Славяно-греко-латинской академии. В начале 1736 г. был направлен в Петербургский университет при Академии наук, а осенью того же года — послан на учебу за границу, где пробыл до 1741 г. Вернувшись в Россию, М.В. Ломоносов был избран адъюнктом Петербургской АН (в 1742 г.), а через три года — академиком.

Ломоносов совершил множество астрономических открытий, чем, несомненно, щедро обогатил русскую астрономию. Придерживаясь передовых научных воззрений, он был деятельным пропагандистом коперниковского мировоззрения. Именно при содействии Ломоносова, несмотря на враждебное отношение православного духовенства, в 1735 г. появилось второе издание русского перевода астрономического сочинения французского

«вольнодумца» Фонтенелля «Разговоры о множестве миров». В этой книге в форме непринужденной и остроумной беседы излагалось учение Коперника.

Многие астрономические наблюдения М.В. Ломоносов совершал не только в академической обсерватории, но и у себя на дому, с помощью простого телескопа, что, впрочем, не мешало ему замечать то, что не могли увидеть другие астрономы, имевшие более мощное оборудование. Именно так получилось с наиболее известным астрономическим открытием Михаила Васильевича — открытием атмосферы на Венере.

Дата 26 мая 1761 г., когда ожидалось очередное прохождение Венеры по диску Солнца, вызывала особый интерес астрономов всего мира. В этот день планировалось проверить новый метод определения расстояния до Солнца (солнечный параллакс), предложенный в 1691 г. английским астрономом Эдмундом Галлеем. Для этого метода было необходимо в нескольких достаточно удаленных друг от друга местах Земли с максимальной точностью определить промежуток времени от момента вступления Венеры на диск Солнца до последнего касания. Более 100 астрономов в 40 с лишним пунктах наблюдали это прохождение. Однако только Ломоносов

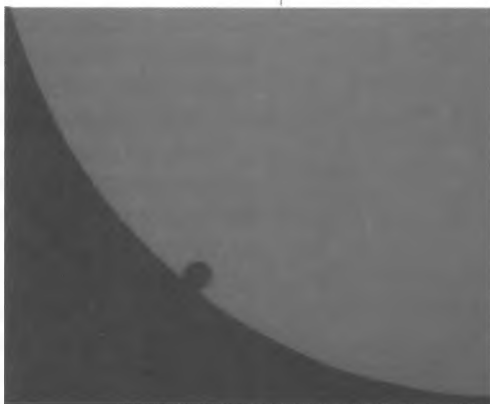
носов, который выполнил наблюдения, находясь дома, смог не только увидеть, но и правильно истолковать увиденное. Вот что пишет сам Михаил Васильевич: «...Ожидая вступления Венерина на Солнце... увидел наконец, что солнечный край стал неясственен и несколько будто стушован, а прежде был весьма чист и везде равен... При выступлении Венеры из Солнца, когда передний ее край стал приближаться к солнечному краю... появился на краю Солнца пупырь, который тем явственнее учинился, чем ближе Венера к выступлению приходила... Сие ни что иное показывает, как преломление лучей солнечных в Венериной атмосфере...» Вывод великого ученого прост: «Планета Венера окружена знатною воздушной атмосферой, таковою, лишь бы не большею, какова обливается вокруг нашего шара земного».

Несмотря на то что отчет об открытии атмосферы был опубликован в том же 1761 г. на немецком и русском языках, лишь спустя 30 лет европейские ученые (Гершель и немецкий астроном Шретер) убедились в существовании атмосферы, обнаружив удлинение рогов видимого серпа планеты.

Но после себя в астрономии Ломоносов оставил не только открытие атмосферы на Венере. В области прикладной астрономии Михаил Васильевич разработал новый способ определения полуденной линии (линии, по которой направлена тень от вертикального шеста (гнома) в полдень. Она совпадает с географическим меридианом данного места). Им был создан ряд приборов, имеющих большое значение для мореплавания.

М.В. Ломоносовым в 1762 г. был изобретен **рефлектор (зеркальный телескоп)** особой конструкции, в котором вогнутое зеркало слегка наклонено к оси трубы. Аналогичная идея лишь спустя 27 лет, в 1789 г., была независимо выдвинута В. Гершелем (этот тип телескопа теперь носит название Ломоносова—Гершеля).

Ломоносов впервые указал на возможность определения характера прозрачного вещества по значению его показателя преломления, сконструировал и использовал новый прибор — рефрактометр.



Венера на диске солнца. Современная фотография

Современный телескоп для домашней обсерватории



Двойными звездами называются две звезды, расположенные на небе в непосредственной близости друг от друга, причем нередко две звезды находятся так близко друг от друга, что различить их двойственность можно только в телескоп.

За сто лет до создания астрофотометрии — науки, изучающей яркость небесных светил, — Ломоносов изобрел оригинальный способ определения яркости звезд.

В 1753 г. была издана его книга — «Слово о явлениях воздушных от электрической силы происходящих». В этой книге ученый выдвигает оригинальную теорию строения и состава комет, в которой подчеркивается роль электрических сил в свечении хвоста и головы кометы. Ломоносов приходит к выводу, что «*комет бледного свечения и хвостов причина не довольно еще исследована, которую я без сомнения в электрической силе полагаю... сие явление с северным сиянием сродно*».

Ломоносов был горячим сторонником идеи о множественности обитаемых миров, о чем писал следующее:

*Уста премудрых нам гласят,
Там разных множество светов,
Несчетны солнца там горят,
Народы там и круг веков.*

Российская школа астрономии

Конечно, было бы неправильно полагать, что только работами Ломоносова исчерпывалось развитие астрономии в России. Например, одновременно с Ломоносовым работали два известных русских астронома С.Я. Румовский (1732–1815) и А.Д. Красильников (1704–1798). Академиком Румовским, бывшим в те времена крупнейшим специалистом в области теоретической астрономии, впервые в России было определено с большой точностью расстояние от Земли до Солнца. Астрономические наблюдения А.Д. Красильникова, выполненные им во время специальной экспедиции Академии наук на Камчатку, легли в основу географических карт, которые до настоящего времени сохранили свою научную ценность.

В начале XIX в. возникла необходимость в строительстве современной обсерватории. В 1834 г. было решено построить крупную обсерваторию в 20 км к югу от Петербурга — на Пулковских высотах. В новой обсерватории был установлен лучший и крупнейший в то время в мире 15-дюймовый телескоп-рефрактор (телескоп, у которого объективом является линза или система линз, в отличие от рефлектора — телескопа с вогнутым зеркалом в качестве объектива). По богатству и качеству оборудования Пулковская обсерватория сразу же после открытия заняла первое место в мире и, по последующему признанию американского астронома Ньюкомба, стала «астрономической столицей мира».

В.Я. Струве — знаменитый российский астроном, первый директор Пулковской обсерватории



Во многом своим оснащением и последующим статусом Пулковская обсерватория обязана своему первому директору и руководителю работ по созданию обсерватории — известному астроному, академику **Василию Яковлевичу Струве** (1793–1864).

В.Я. Струве прославился своими астрономическими открытиями, прежде всего — работами по исследованию двойных звезд.

За время своей научной деятельности Струве открыл сотни неизвестных ранее двойных звезд. В 1837 г. им были опубликованы результаты исследований 2710 двойных звезд (английский астроном У. Гершель, которого западные ученые считают основоположником изучения двойных звезд, исследовал только 500 таких). В.Я. Струве сумел обнаружить такие особенности поведения двойных звезд, как их обращение вокруг общего центра тяжести, положение которого зависит от массы звезд. Эти движения дали основание утверждать, что и в мире звезд действует закон всемирного тяготения.

Получив в свое распоряжение колоссальные по тем временам возможности Пулковской обсерватории, Струве развернул ряд исследований в области звездной астрономии, среди которых одним из важнейших было определение расстояния до звезд. Другое исследование, намного опередившее свое время, было связано с определением поглощения света в мировом пространстве. Струве установил, что лучи света, двигаясь к нам от звезд, претерпевают заметное поглощение в разреженной среде, заполняющей межзвездное пространство. Астрономы, проводившие подобные исследования в западных обсерваториях, пришли к аналогичным выводам спустя почти сто лет, в 1930 г.

Вот что писал о Пулковской обсерватории в те времена известный английский астроном Эри: «Ни один астроном не может считать себя вполне усвоившим современную наблюдательную астрономию в ее наиболее разработанной форме, если он не познакомится с Пулковской обсерваторией во всех ее особенностях. Я ничуть не сомневаюсь в том, что одно пулковское наблюдение стоит по меньшей мере двух, сделанных где бы то ни было в другом месте».



Пулковская
обсерватория



И.Н. Крамской. Портрет Отто Струве — российского астронома, сына В.Я. Струве.

В 1847 г. В.Я. Струве опубликовал свою знаменитую книгу «Очерки звездной астрономии», в которой утверждал, что наше Солнце, вопреки утверждению английского астронома Гершеля, не находится в центре гигантской звездной системы — Галактики, а является обычной звездой.

В 1858 г., не в состоянии продолжать активную научную деятельность из-за тяжелой болезни, В.Я. Струве передал руководство Пулковской обсерваторией своему не менее талантливому сыну — Отто Струве.

В 1885 г. в Пулковской обсерватории был установлен гигантский 30-дюймовый рефрактор, который снова дал право считать **Пулковскую обсерваторию** крупнейшей и лучшей в мире.

Кроме мощнейших для своего времени телескопов Пулковская обсерватория располагала набором высокоточных угломерных инструментов, позволяющим с невиданной ранее точностью измерять координаты звезд. Благодаря этому одной из основных задач Пулковской обсерватории стало составление на основе постоянных наблюдений звездных каталогов, в которых давались положения и другие характеристики звезд. Именно это направление работы Пулковской обсерватории принесло ей мировую славу: созданные здесь звездные каталоги считаются самыми точными во всем мире.

Незадолго до открытия Пулковской обсерватории, в 1831 г., в Москве начала свою деятельность Московская обсерватория, возглавляемая Д.М. Перевошиковым. Ее оборудование значительно уступало пулковскому и в первое время состояло лишь из 4-дюймового рефрактора и нескольких высокоточных угломерных инструментов. В 1859 г. слабенький рефрактор был заменен своим более мощным 10-дюймовым собратом.

Кроме того, в первой половине XIX в. были открыты обсерватории в Киеве, Казани и некоторых других городах.

Долгое время, несмотря на громкие успехи в наблюдательной астрономии, российские ученые почти не уделяли внимания исследованиям в области астрофизики. Этот пробел был устранен во многом усилиями одного человека — **Федора Александровича Бредихина** (1831–1904), которого по праву считают создателем русской астрофизики.

Астрофизика — раздел астрономии, занимающийся изучением физической природы различных небесных тел.

Начинал ученый свою деятельность в Московской обсерватории, уделяя основное внимание наблюдению за Солнцем, а также изучению поверхностей Марса и Юпитера, в частности знаменитого «красного пятна» в атмосфере Юпитера, природа которого до настоящего времени остается загадочной.

Настоящую мировую известность ученому принесли его исследования комет. Бредихин разработал механическую теорию явлений, происходящих в кометах, которая легла в основу современной кометной астрономии. Ученый вычислил скорости частиц кометного хвоста, а также величину отталкивательной силы, исходящей от Солнца, для различных комет, придя к выводу, что различие типов кометных хвостов объясняется различием их состава. Благодаря этим исследованиям он смог выделить три основных типа кометных хвостов:

- хвосты, в которых отталкивательные силы, исходящие от Солнца, в десятки раз превышают силу его притяжения. Это почти прямолинейные хвосты, направленные прочь от Солнца вдоль прямой, соединяющей Солнце с ядром кометы;
- хвосты, в каждом из которых отталкивательные силы в 0,5 — 2,2 раза больше силы притяжения к Солнцу. Эти хвосты имеют вид искривленных кос, направленных прочь от Солнца и загнутых в сторону, обратную движению кометы;
- хвосты, в которых отталкивательные силы лишь незначительно превышают силу притяжения к Солнцу. Это короткие прямолинейные хвосты, сильно отклоненные от прямой, соединяющей Солнце с ядром кометы.



Ф.А. Бредихин

Согласно исследованиям великого русского физика П.Н. Лебедева, доказавшего, что лучи всякого света, в том числе и солнечного, оказывают давление на освещаемые тела, отталкивательные силы, действующие в кометных хвостах, представляют собой силу давления солнечных лучей.

Астрономическая обсерватория Московского университета в 1900–1948 гг.

Группа московских астрономов. Сидят (слева направо):

П.К. Штернберг,
Л.П. Цераская,
Ф.А. Бредихин,
В.К. Цераский,
стоят С.Н. Блажко,
С.А. Казаков,
Б.П. Модестов.
Фото 1901 г.



Опираясь на свои исследования комет, Бредихин выдвинул предположение о том, что метеоры, или «падающие звезды», представляют собой мелкие твердые частички и являются продуктом распада комет.

В 1890 г. Ф.А. Бредихин был избран действительным членом Российской Академии наук и назначен директором Пулковской обсерватории. Под его руководством обсерватория значительно улучшила свой инструментарий: ее оборудование было пополнено новыми астрофизическими инструментами, в том числе звездным спектрографом (прибором для изучения состава звезд) и астрографом (специальным телескопом с фотокамерой, предназначенным для фотографирования небесных тел).

После себя Бредихин оставил не только свои открытия, но и целую плеяду учеников, среди которых наибольшую известность приобрел **Аристарх Аполлонович Белопольский** (1854–1934), считающийся создателем отечественной астроспектроскопии.

Астроспектроскопия — область астрофизики, включающая изучение спектров небесных тел с целью познания физической природы Солнца, звезд, планет, туманностей, межзвездного вещества и т. п., а также их движения в пространстве.

С помощью остроумного изобретения — прибора, главной частью которого были вращающиеся зеркала, — им опытным путем был подтвержден известный принцип Доплера.

Опираясь на упомянутый принцип, с помощью спектрографа Белопольский исследовал кольца Сатурна и по смещению спектральных линий обнаружил, что кольцо вращается не как твердое целое, а по частям. При этом отдельные его части обращаются вокруг Сатурна с различным периодом. Ученый пришел к выводу, что кольцо Сатурна состоит из роя мелких

твердых тел (метеоритов), обращающихся вокруг планеты, то есть первым открыл их метеоритное строение.

Научный интерес Белопольского распространялся и на исследования Солнца и пятен на нем. Им были впервые исследованы законы движения отдельных зон (экваториальных и полярных) на поверхности Солнца, а также движения газов в солнечных пятнах.

Другой ученик Бредихина, прославивший русскую астрономию, — **Витольд Карлович Цераский** (1849–1925). Вместе с Белопольским он работал в Московской обсерватории и тоже стал основателем еще одной отрасли русской астрономии — астрофотометрии.

Цераский усовершенствовал и изобрел ряд фотометрических инструментов, исследовал яркости многих звезд, а также открыл две новые переменные звезды. Совместно с Белопольским ученый открыл и исследовал серебристые облака, имеющие космическое происхождение и плавающие на высоте около 82 км над земной поверхностью.

Астрофотометрия — раздел практической астрофизики, разрабатывающий и изучающий методы измерений блеска звезд, а также яркости протяженных небесных объектов.

Еще один выдающийся представитель русской астрономической школы — **Павел Карлович Штернберг** (1865–1920). Одним из основных направлений работы ученого было исследование наблюдений географической широты Московской обсерватории в связи с движением земных полюсов. Впоследствии результаты его исследований сыграли важную роль в развитии теории движения земных полюсов.

Занимался Штернберг и измерениями силы тяжести в окрестностях Москвы, в результате обнаружил некоторые аномалии, что позднее помогло исследовать геологическое строение ближайших районов Подмосковья.

Благодаря усилиям многих поколений российских астрономов русская астрономия прошла путь от разрозненных астрономических представлений до стройной и упорядоченной науки, занимающей одно из ведущих мест в мире.

Заканчивая свой краткий обзор истории астрономии, мы остановимся на пороге XX столетия, поскольку начиная с этого момента в астрономии было совершено такое количество открытий — фундаментальных и не очень — сколько не было совершено во все предыдущие времена. И для того чтобы рассказать об этом «золотом» веке астрономии, потребовался бы не один том.



В.К. Цераский



П.К. Штернберг

Начало сферической астрономии

Теперь, когда мы познакомились с историей развития астрономии, пришло время перейти к ее основам. В большей своей части астрономия представляет собой науку практическую, носящую прикладной характер, хотя существуют и теоретические разделы астрономии.

Основных задач, которые решает именно прикладная астрономия, две:

- 1) изучение видимых и действительных положений и движений небесных тел в пространстве, а также определение их форм и размеров;
- 2) изучение строения небесных тел, их физических свойств и химического состава.

Теоретическая астрономия занимается определением орбит и расчетом эфемерид и представляет собой один из разделов небесной механики.

Существует еще одна важная задача, решить которую призвана астрономия. Но эта задача столь всеобъемлюща, что отнести ее либо к практической, либо к теоретической стороне астрономии невозможно. Она заключается в объяснении происхождения и развития отдельных небесных тел и образуемых ими систем.

Галактика NGC 4414 из созвездия Волосы Вероники. Эта обычная спиральная галактика диаметром около 56 тыс. световых лет находится на расстоянии примерно в 60 млн световых лет. Снимок сделан телескопом «Хаббл» в 1995 г.



Основным методом астрономии являются наблюдения — как за самими небесными телами, так и за их движением и связанными с ними явлениями (например, затмением).

Астрономию принято делить на три больших раздела: астрометрию, небесную механику и астрофизику. Астрометрия изучает положение и движение небесных тел и вращение Земли, опираясь на методы измерения углов на небе. Небесная механика изучает движение небесных тел под действием сил тяготения, занимается расчетами траекторий небесных тел и их будущих координат. Астрофизика изучает происхождение, строение, химический состав, физические свойства отдельных небесных тел, их систем и Вселенной в целом.

Однако, по большому счету, астрономические исследования требуют одновременного использования и астрометрии, и небесной механики, и астрофизики. Поэтому в последнее время все чаще говорят о сближении между собой указанных разделов.

Система геометрических построений, с помощью которой вводятся небесные координаты, получила название сферической астрономии, поскольку в ее основе лежит понятие небесной сферы. Знание сферической астрономии дает возможность вести наблюдения, находить на небе интересующее созвездие или небесное тело в любое время суток и года. Поэтому любой, кто желает ближе познакомиться с астрономией, должен иметь представление о том, что собой представляет система небесных координат, а также знать и уметь находить основные созвездия. С этого мы и начнем.

Небесные координаты

Астрономия немыслима без наблюдения за звездами и другими небесными телами. Но если мы посмотрим безоблачной ночью на небо, то увидим сотни и тысячи звезд. Как можно в таком разнообразии что-либо найти? Для того чтобы не потеряться в этом звездном океане, астрономами еще в древности была разработана система небесных координат.

Небесные координаты во многом напоминают координаты географические, которыми пользуются для определения положения объекта на земном шаре. Как мы помним, географические координаты представляют собой два числа (рис. справа):

а) широту — расстояние от земного экватора до объекта в градусах;

б) долготу — расстояние от гринвичского меридиана до объекта в градусах.

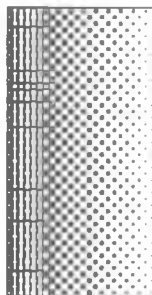
В последнее время благодаря развитию физики и космонавтики астрономия получила в свое распоряжение возможность исследовать электромагнитное излучение небесных тел (например, его спектральный состав), их химический состав (пробы грунта Луны и Марса, выполненные космическими аппаратами) и т. д.

Географические координаты



Похожим образом устанавливается и система небесных координат. При определении географических координат пользуются либо глобусом Земли, либо картой, которая по сути представляет собой развернутый на плоскости глобус. В астрономии роль глобуса выполняет воображаемая небесная сфера, то есть поверхность шара произвольного радиуса с центром в произвольно выбранной точке, в которой находится глаз наблюдателя. При наблюдениях мы не учитываем расстояние до наблюдаемого объекта, поскольку на внутренней поверхности сферы, в виде которой мы воспринимаем небо, объекты, в реальности удаленные друг от друга сотни световых лет, могут восприниматься как располагающиеся рядом друг с другом.

По такому же принципу, как земной шар условно разделен на меридианы, экватор и полюсы, делят и небесную сферу.



Полюсы — это точки пересечения оси суточного вращения Земли с ее поверхностью.

Экватор — окружность пересечения Земли воображаемой плоскостью, проходящей через ее центр и перпендикулярной оси вращения планеты.

Меридианы — окружности пересечения Земли воображаемыми плоскостями, проходящими через ее ось вращения.

Траектории звезд на снимке ночного неба, сделанного с большой выдержкой, наглядно доказывают вращение небесной сферы вокруг своей оси («оси мира»)

Для начала построения системы небесных координат нужно мысленно в обе стороны провести отвесную линию, совпадающую с направлением к центру Земли, до ее пересечения с небесной сферой. Точка пересечения этой воображаемой отвесной линии с небесной сферой, располагающаяся у нас над головой, называется зенитом, тогда как противоположная ей есть надир.

Плоскость, перпендикулярная нашей воображаемой отвесной линии и проведенная через центр небесной сферы O (точка, где располагается наблюдатель), носит название плоскости горизонта, а линия окружности, по которой она пересекает небесную сферу, называется математическим или истинным горизонтом (см. рис. на с. 79). Существует еще и видимый горизонт, очертания кото-



рого обусловлены рельефом местности и условиями наблюдения. В силу суточного вращения Земли небесная сфера также осуществляет видимое вращение вокруг своей оси («оси мира»).

Поскольку вращение небесной сферы представляет собой лишь отражение вращения Земли, то естественно, что ось ее вращения будет параллельна земной оси. Соответственно, по аналогии с Землей, в точках пересечения оси вращения с небесной сферой будут располагаться неподвижные точки — полюсы мира (сейчас Северный полюс мира расположен рядом с Полярной звездой).

Угловое расстояние полюса мира от горизонта ϕ равно географической широте местности. Поэтому для определения географической широты местности наблюдателю достаточно измерить высоту полюса мира над горизонтом.

Теперь необходимо через центр небесной сферы провести еще две плоскости: одну перпендикулярно к оси мира, а вторую — через центр небесной сферы, зенит и полюс мира. В результате мы получим плоскость небесного экватора и плоскость небесного меридиана соответственно. Окружности, по которым эти плоскости будут пересекать небесную сферу, являются небесным экватором и небесным меридианом.

Небесный меридиан пересекает горизонт в точках юга (S) и севера (N), а небесный экватор пересекает горизонт в точках востока (E) и запада (W). Небесный экватор выполняет ту же роль, что и земной: он делит небесную сферу на два полушария — Северное и Южное. Линия, соединяющая точки юга и севера (SN), носит название полуденной линии.

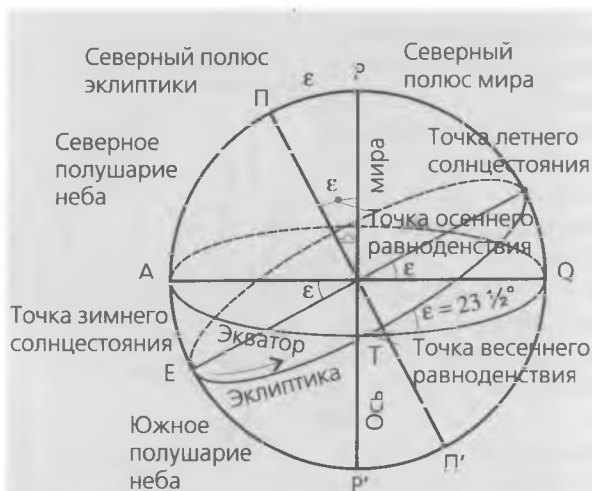
Рассматриваемая система небесных координат носит название экваториальной, поскольку отсчет ведется от небесного экватора.

Земля обращается вокруг Солнца, а мы воспринимаем это как смещение самого Солнца по небесной сфере на фоне более далеких звезд. В астрономии это кажущееся смещение более близких предметов на фоне более далеких в результате перемещения самого наблюдателя получило название параллактического смещения. Благодаря ему Солнце за год описывает на небесной сфере полную окружность, называемую эклиптикой, плоскость которой составляет с плоскостью небесного экватора угол $\epsilon = 23^\circ 27'$. С небесным экватором эк-



Основные точки и линии небесной сферы. Стрелка указывает направление ее вращения

Следует учитывать, что небесный экватор пересекает небесный меридиан на некоторой высоте над горизонтом, поэтому наблюдатель из северного полушария может наблюдать некоторую часть южного полушария небесной сферы. Причем чем южнее находится наблюдатель, тем эта часть больше. Лишь находясь на Северном полюсе, можно наблюдать исключительно северное полушарие небесной сферы.



Положение эклиптики на небесной сфере. Стрелка указывает направление видимого годовичного движения Солнца



Направление отсчета экваториальных координат α и δ , а также часового угла t звезды

липтика пересекается в двух точках (см. рис. слева): в точке весеннего равноденствия в созвездии Рыб и в точке осеннего равноденствия в созвездии Дева. Через точку весеннего равноденствия Солнце проходит 20 (или 21) марта, двигаясь из Южного полушария в Северное, а 22 (или 23) сентября оно проходит через точку осеннего равноденствия на пути из Северного полушария в Южное.

Теперь, когда мы разобрались с основными точками и плоскостями небесной сферы, можно переходить к небесным аналогам

широты и долготы — склонению и прямому восхождению.

Склонение — это расстояние в градусах от небесного экватора, отсчитываемое по дуге окружности, проходящей через полюсы мира и наблюдаемое светило (кругу склонения, аналогу земных меридианов).

Склонения принято обозначать греческой буквой «дельта» — δ , и измерять в градусах — со знаком «плюс» (от 0° до $+90^\circ$) по направлению от небесного экватора к Северному полюсу мира и со знаком «минус» (от 0° до -90°) к южному полюсу.

Прямое восхождение — расстояние в часах (h), минутах (m) и секундах (s) по кругу небесного экватора в направлении против суточного вращения небесной сферы от точки весеннего равноденствия. Иногда прямое восхождение отсчитывают в градусах, причем один час прямого восхождения равен 15° ($360^\circ -$

24 часа). Прямое восхождение обозначают греческой буквой «альфа» — α .

Следует отметить, что экваториальные небесные координаты остаются неизменными в процессе суточного вращения небесной сферы и не зависят от времени года.

В процессе суточного вращения Земли через небесный меридиан дважды проходит каждая точка небесной сферы. Прохождение светила через ту часть дуги небесного мериди-

ана, на которой высота этого светила над горизонтом достигает наибольшего значения, называется верхней кульминацией светила. Другое пересечение небесного меридиана называется нижней кульминацией. Временем, прошедшим после верхней кульминации светила, измеряется часовой угол светила $-t$ (см. рис. на с. 80).

Момент верхней кульминации центра Солнца называется истинным полднем, а момент нижней кульминации — истинной полночью. В истинный полдень тень от вертикального стержня падает вдоль полуденной линии.

Положение светил на небесной сфере также можно определять с помощью азимута и угловой высоты над горизонтом. Для определения этих координат необходимо от зенита Z через светило M мысленно провести к горизонту окружность — вертикал (рис. справа). Азимут A отсчитывается от точки юга S до пересечения вертикала светила с горизонтом к западу (положительный азимут) или же к востоку (отрицательный азимут). Высота светила h отсчитывается вдоль вертикала от горизонта до светила.

Направление отсчета астрономического азимута A и высоты h светила



Время

Одним из важнейших вопросов, рассматриваемых в астрономии, является вопрос измерения времени. Вообще само понятие времени тесно связано с небесными явлениями. Ведь причиной того, что человек обратил внимание на ритмичные изменения в природе и стал их измерять, была, прежде всего, смена дня и ночи, вызванная, как мы теперь знаем, вращением Земли вокруг своей оси. Другой ритмичный процесс — смена сезонов — связан с движением Земли вокруг Солнца, стал причиной разработки календаря.

В астрономии сутками называют промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями Солнца. Сутки делятся на 24 часа, каждый час — на 60 минут, каждая минута — на 60 секунд.

За начало истинных солнечных суток принимают момент нижней кульминации центра диска Солнца (полночь). Время,

В конце XIX в. земной шар был разбит на 24 часовых пояса (1 часовой пояс = 15°) по географической долготе для того, чтобы внутри каждого пояса часы указывали одно и то же поясное время — среднее солнечное время географического меридиана, проходящего через середину этого пояса. В качестве нулевого принят пояс, расположенный (по долготе) в полосе $\pm 7^{\circ},5$ от гринвичского меридиана. Среднее солнечное время этого пояса, обозначаемое, называется гринвичским УТ или UTC всемирным.

измеренное от нижней кульминации центра диска Солнца, называется истинным солнечным временем. По причине шарообразности Земли каждой географической долготе соответствует свое собственное (местное) время.

Продолжительность истинных солнечных суток на протяжении года изменяется, что обусловлено двумя причинами: неравномерным движением Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите и наклоном оси суточного вращения Земли к плоскости эклиптики. Наибольшую длину истинные солнечные сутки имеют 23 декабря, наименьшую — 16 сентября, причем разница в их продолжительности в указанные дни составляет 51 секунду.

Поскольку использовать такую непостоянную единицу, как истинные сутки, нельзя, то в астрономии было введено понятие среднего солнца, фиктивной точки, которая на протяжении года равномерно перемещается вдоль небесного экватора. Промежуток времени между двумя одноименными последовательными кульминациями среднего солнца называется средними солнечными, или синодическими, сутками. Время, измеренное от нижней кульминации среднего солнца, называется средним солнечным временем, и именно им мы пользуемся в повседневности.

Разность между средним солнечным временем и истинным солнечным временем, измеренная на том же меридиане, называется уравнением времени η . Величину уравнения времени η на начало каждого суток можно найти в любом астрономическом календаре.

В астрономии широко применяется еще одна единица времени — звездные, или сидерические, сутки, под которыми понимается промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями одной и той же звезды. Звездные сутки короче солнечных почти на четыре минуты (3 минуты 56 секунд), что за год дает разницу ровно на одни сутки — в году звездных суток ровно на единицу больше, чем солнечных.

Началом звездных суток принято считать момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия; следовательно, звездное время s — это время, истекшее с момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия. Оно измеряется часовым углом точки весеннего равноденствия t и определяется по формуле (см. рис. на с. 80, внизу):

$$s = \alpha + t,$$

где α и t — прямое восхождение и часовой угол любой звезды. Следовательно, звездное время s равно прямому восхождению светила, находящегося в данный момент времени в верхней

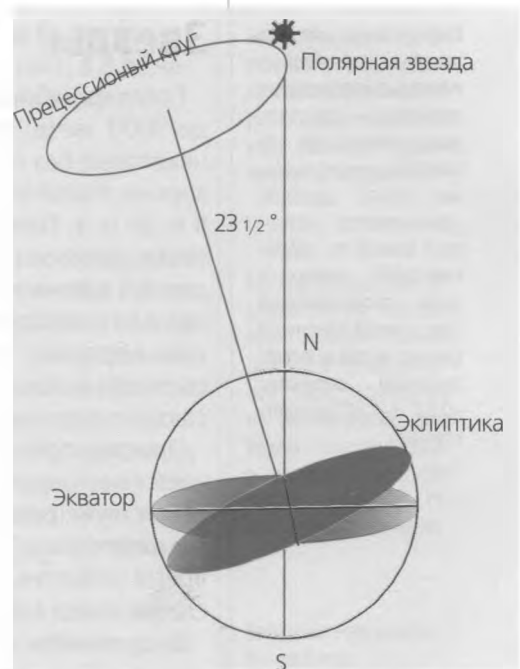
кульминации (в это время часовой угол светила $t = 0$).

Звездное время в астрономии используется для определения того, какие созвездия будут видны над горизонтом в то или иное время суток и года.

Наблюдая за небесной сферой в течение длительного времени, можно обнаружить, что видимое положение Солнца по отношению к звездам непрерывно меняется: Солнце передвигается с запада на восток и на протяжении каждых 365,256360 суток делает на небе полный круг, возвращаясь к той же звезде. Этот промежуток времени называется звездным годом.

20 (или 21) марта центр диска Солнца пересекает небесный экватор, переходя из южного полушария небесной сферы в северное. Точка пересечения небесного экватора с эклипкой — точка весеннего равноденствия — в наше время расположена в созвездии Рыб. Промежуток времени между двумя последовательными прохождением центра диска Солнца через точку весеннего равноденствия называется истинным, или тропическим, годом. Его продолжительность составляет 365,24219 суток (365 суток 5 часов 48 минут и 45 секунд).

Продолжительность тропического года на 20 минут 24 секунд короче звездного года. Это объясняется открытой Гиппархом прецессией (предварением равноденствий) — явлением перемещения точки весеннего равноденствия со скоростью $50,3''$ в год по эклиптике навстречу годовому движению Солнца. Это явление возникает потому, что форма Земли отличается от сферической (планета как бы сплюснута у полюсов). Под действием притяжения Солнцем и Луной различных частей Земли ось ее суточного вращения описывает конус вокруг перпендикуляра к плоскости эклиптики. В результате полюсы мира перемещаются среди звезд по малым кругам с радиусами около $23^\circ 27'$. Одновременно смещается на небесной сфере и вся сетка экваториальных координат, а с нею и точка весеннего равноденствия.



Прецессия — медленное движение оси вращения Земли по конусу. Ось этого конуса перпендикулярна плоскости земной орбиты, а угол между осью и образующей конуса равен $23^\circ 26'$. Период прецессии — приблизительно 26 тыс. лет

Многолетние наблюдения кульминаций звезд показали, что вращение Земли вокруг своей оси постепенно замедляется. Предположительно, за последние две тысячи лет продолжительность суток увеличивалась в среднем на 0,002 с в столетие.

Определение блеска звезд выполняется с помощью специальных приборов — фотометров — и показывает, что звездная величина может быть дробной (обозначается латинской буквой *m*, например $2,56^m$), нулевой и даже отрицательной (как у звезд Канопус и Сириус, которые имеют звездные величины $-0,89^m$ и $-1,58^m$ соответственно).

Сириус



Звезды

Глядя на небо в ясную безлунную ночь, мы можем насчитать до 3000 звезд. Некоторые из них ярче, некоторые тусклее, а некоторые без помощи телескопа могут увидеть только самые зоркие. Различие в яркости звезд привело к тому, что еще во II в. до н. э. Гиппархом была введена условная шкала блеска звезд, согласно которой самые яркие звезды отнесли к звездам 1-й величины, а самые слабые, видимые на пределе зрения для невооруженного глаза, — звездам 6-й величины. Таким образом, термин «звездная величина» характеризует световой поток, приходящий на Землю от звезды, и никак не связан с истинными размерами той или иной звезды.

При разности в одну звездную величину яркость звезд отличается примерно в 2,5 раза. Разность в 5 звездных величин соответствует различию в яркости в 100 раз, так что звезды 1-й величины в 100 раз ярче звезд 6-й величины. В настоящее время известны звезды 26-й звездной величины, которые слабее звезд 1-й величины в 10 миллиардов раз.

В древности самые яркие звезды получали собственные имена, но по мере увеличения числа изучаемых звезд их стали обозначать буквами греческого алфавита (с 1603 г.). Позднее для обозначения звезд ввели цифровую нумерацию по созвездиям (обычно применяемую только к слабым звездам).

Вследствие перемещения Солнца на фоне звезд с запада на восток вид звездного неба в течение года медленно, но непрерывно изменяется. К примеру, если какое-то зодиакальное созвездие спустя час после захода Солнца проходит через небесный меридиан, то в каждый последующий вечер это созвездие будет проходить через меридиан на четыре минуты раньше. К моменту захода Солнца оно будет все больше передвигаться в западную часть неба. Примерно через три месяца это созвездие уже не будет видно в лучах вечерней зари, а спустя 10–20 дней оно начнет появляться утром перед восходом Солнца в восточной части небосвода.

При этом изменение условий видимости небесных объектов (созвездий, звезд и т. д.) во многом зависит от географической широты наблюдателя и склонения самого объекта, в частности от его расстояния от эклиптики. Например, если звезды зодиакального созвездия достаточно удалены от эклиптики, то утром они видны даже раньше, чем прекращается их вечерняя видимость.

Первое, кратковременное, появление звезды в лучах утренней зари (то есть первый утренний восход звезды) называется ее гелиакическим восходом. Уже через

три месяца к моменту восхода Солнца эта звезда будет проходить небесный меридиан (в верхней кульминации), а еще через три месяца будет скрываться за горизонтом на западе.

Созвездия

Если мы не знаем точных координат светила, то приблизительно определить направление на него можно, зная, в каком созвездии оно находится. Созвездия — это вся область неба в пределах некоторых установленных границ. Эти условные участки неба содержат группы звезд, которые на небесной сфере расположены более или менее близко друг от друга.

Поскольку Солнце перемещается по эклиптике среди звезд и созвездий в направлении против суточного вращения небесной сферы, то в течение года вид ночного звездного неба в конкретной местности изменяется. Поэтому в разные сезоны в небе по ночам сияют разные созвездия.

Кроме того, из-за того, что эклиптика наклонена к плоскости небесного экватора, в каждом конкретном месте земного шара изменяется полуденная высота Солнца, перемещаются точки восхода и захода. Полуденная высота растет начиная с 22 декабря — дня зимнего солнцестояния — и достигает наивысшего значения 22 июня — в день летнего солнцестояния. В этот же период точка восхода Солнца в Северном полушарии Земли смещается сперва к востоку, затем к северо-востоку, а точка захода — сперва к западу, затем к северо-западу. В другую половину года наблюдается обратная картина.

Вся небесная сфера разделена на 88 созвездий, из которых несколько десятков свои названия сохранили с глубокой древности (подробнее об этом мы рассказывали в разделе, посвященном истории астрономии). Некоторые названия имеют мифологическое происхождение (например, Андромеда, Орион и другие), некоторые связаны с предметами (Треугольник, Весы и др.), а есть созвездия, названные именами животных (например, Лев, Рак, Скорпион).

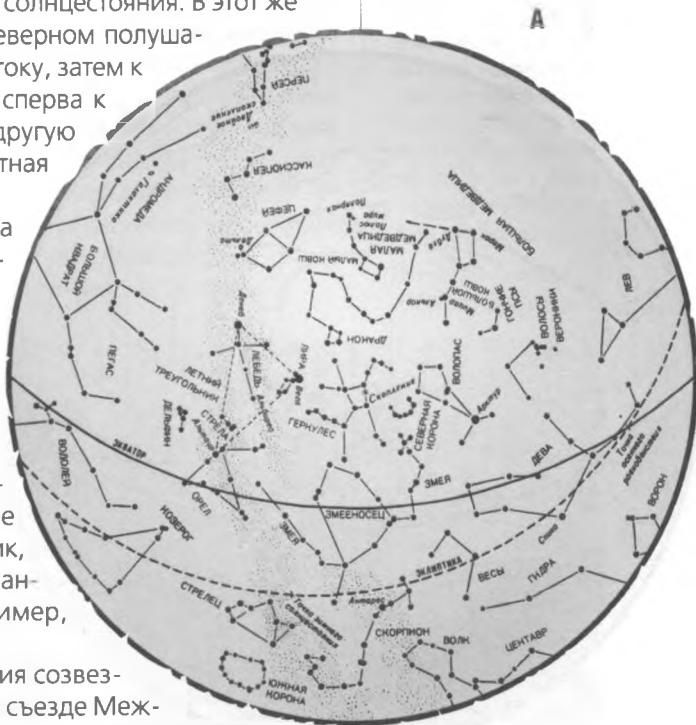
Современные границы и названия созвездий были утверждены в 1922 г. на I съезде Международного астрономического союза (МАС). Реше-

Заход звезды в лучах утренней зари, происходящий единственный раз в году (утренний заход), называют **космическим заходом**.

Восход звезды над горизонтом на востоке при заходе Солнца (восход в лучах вечерней зари) называется ее **акроническим восходом**. А заход звезды в лучах вечерней зари принято называть **гелиакическим заходом**.

Звездная карта неба:

- А** — летнего;
- Б** — осеннего (с. 86);
- В** — зимнего (с. 86);
- Г** — весеннего (с. 87)



нием этой организации 31 созвездие считается расположенными в северном полушарии, 48 — в южном, и 9 (Рыбы, Кит, Орион, Единорог, Секстант, Дева, Змея, Змееносец и Орел) расположены в обоих небесных полушариях.

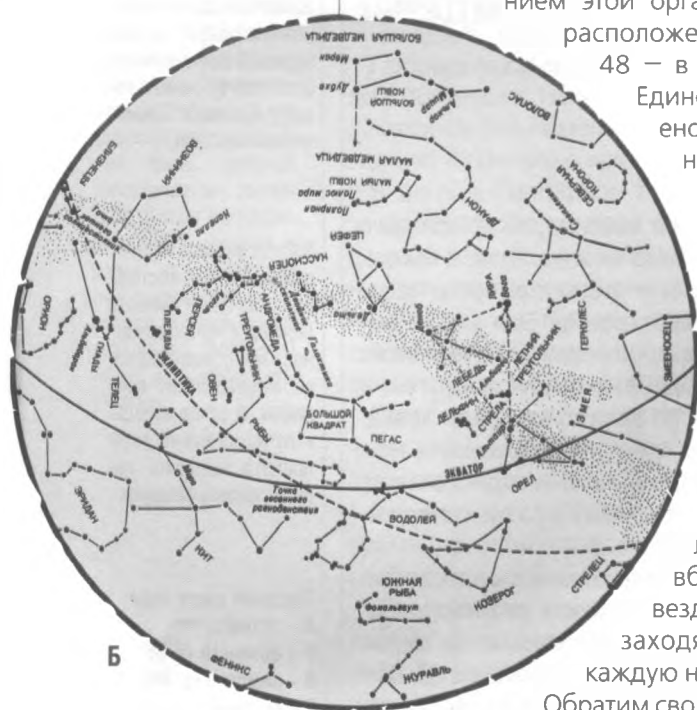
Околополярные созвездия

Знакомство со звездным небом лучше всего начать с тех созвездий, которые круглый год видны в наших широтах, поскольку они близко расположены к полюсу мира. Именно по этой причине они называются околополярными. Расположенные вблизи Северного полюса мира созвездия в наших широтах являются незаходящими — их можно наблюдать каждую ночь независимо от времени года.

Обратим свой взор к самому знакомому созвездию северного полушария — Большой Медведице, которое является основным ориентиром на звездном небе и наблюдается над горизонтом в любое время. Лучше всего это созвездие видно весной и летом, когда оно находится выше всего над горизонтом. Начиная с него можно легко отыскать другие созвездия Северного полушария.

При хороших условиях наблюдения (в ясную и безлунную ночь, подальше от огней города) в созвездии Большой Медведицы можно разглядеть невооруженным глазом 125 звезд. Знакомый каждому глубокий Ковш с длинной изогнутой ручкой образуют семь самых ярких звезд этого созвездия.

Предпоследняя звезда в хвосте Большой Медведицы называется Мицар, а располагающаяся над ней слабая звезда — Алькор. Это арабские названия, и означают они соответственно «конь» и «всадник». В древности бедуины про-

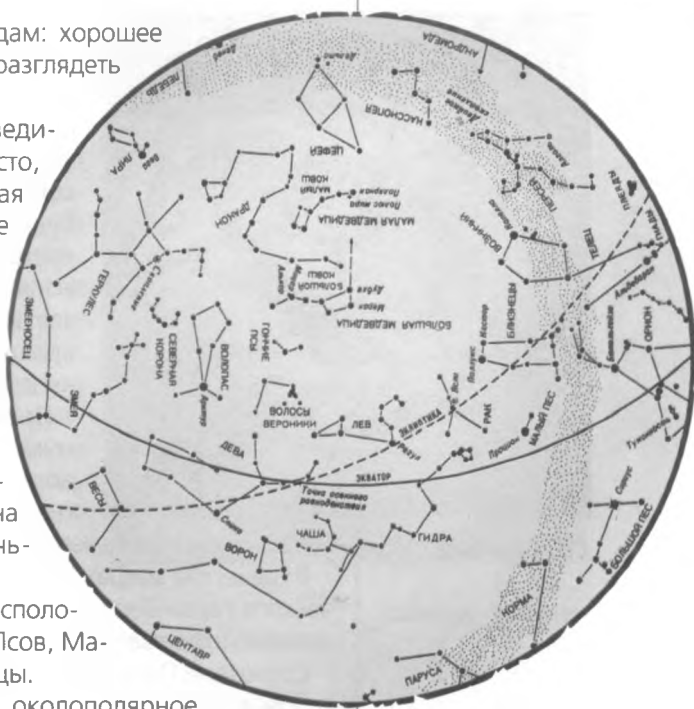


веряли силу зрения по этим звездам: хорошее зрение считалось у того, кто мог разглядеть звезду Алькор.

Согласно легенде, Большая Медведица — это дочь царя Ликаона Каллисто, спутница Артемиды. Обольщенная Зевсом, явившимся к ней в виде Аполлона, она родила сына Аркаса. Пытаясь спасти Каллисто от мести Геры, Зевс превратил ее в медведицу, но уберечь не сумел: сын, не узнавший в медведице мать, затравил ее собаками во время охоты. Пытаясь спасти Каллисто, Зевс превратил ее в созвездие, поместив рядом с ней ее сына (созвездие Волопаса) и его охотничьих псов (созвездие Гончих Псов).

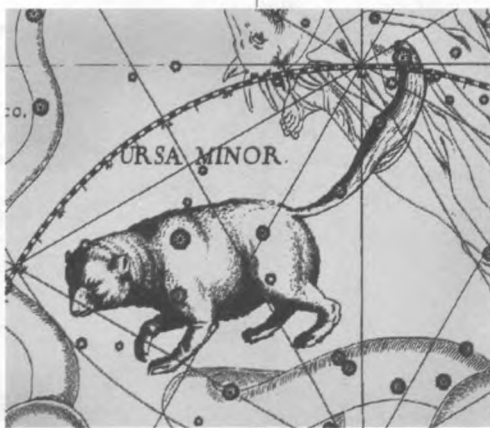
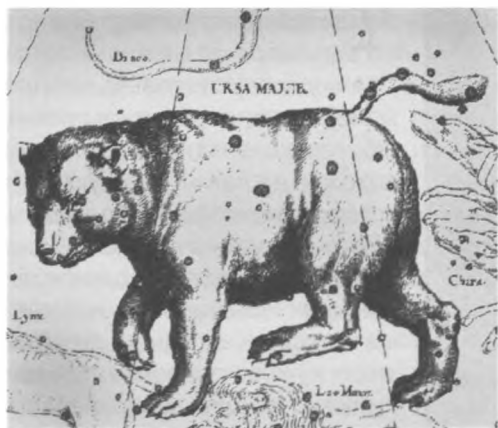
Вокруг Большой Медведицы расположены созвездия Волопаса, Гончих Псов, Малого Льва, Рыси и Малой Медведицы.

Чтобы найти другое известное околополярное созвездие — Малой Медведицы, — необходимо мысленно соединить прямой линией две яркие звезды, образующие внешнюю стенку Ковша Большой Медведицы, и продолжить ее в сторону, противоположную дну Ковша. На этой воображаемой линии следует отложить пять отрезков, равных длине внешней стороны Ковша, и на конце последнего из них будет находиться главный ориентир звездного неба — Полярная звезда, или Киносура (Кормилица Зевса), как называли ее древние греки. Малая Медведица напоминает маленький Ковшик и почти целиком окружена созвездием Дракон, кроме своей северной части, где находится созвездие Жирафа.



Свои названия Большая и Малая Медведица получили потому, что в Греции они наблюдаются низко над северной стороной горизонта, а, согласно представлениям древних греков, в самой северной части Земли жили только медведи.

Созвездия Большая и Малая Медведица





Созвездие Пегас

Пегас — одно из самых больших созвездий на небе.

В греческих мифах Пегас — это крылатый конь великого греческого героя Беллерофонта, победителя чудовища Химеры, имевшей три головы — разъяренного льва, козы и дракона.

Созвездие Пегаса лучше всего наблюдается с августа до октября, когда оно находится высоко над горизонтом. Невооруженным глазом в этом созвездии можно насчитать около ста звезд, но только пять из них ярче третьей звездной величины.

Около Пегаса расположены созвездия Андромеды, Рыб, Водолея, Малого Коня, Дельфина, Лисички, Лебеда и Ящерицы.

Созвездие Андромеды находится левее созвездия Пегаса и привлекает внимание прежде всего цепочкой из трех ярких звезд, которые образуют чуть изогнутую дугу (почти прямую линию) — характерную геометрическую фигуру созвездия Андромеды.

Созвездие Андромеда



Известность Андромеде принесла находящаяся в ней спиральная галактика — единственная, которую можно наблюдать невооруженным глазом. Лучше всего это созвездие видно с сентября по январь.

Неподалеку от созвездия Андромеды расположено околополюсное созвездие Кассиопеи, похожее на латинскую букву W, которое видно над горизонтом в любое время ночи. Его можно легко отыскать, воспользовавшись как ориентиром созвездием Большой Медведицы. Для этого нужно соединить прямой линией Мицар и Полярную

звезду. На ее продолжении примерно на таком же расстоянии и будет располагаться Кассиопея.

Наилучшее время для наблюдений за этим созвездием — с сентября до конца января. Большая часть созвездия Кассиопеи находится в Млечном Пути, и в нем невооруженным глазом можно различить до 90 звезд. Пять самых ярких звезд и образуют ту характерную фигуру созвездия, о которой мы упомянули выше.

Созвездие Кассиопеи известно тем, что в 1572 г. в нем вспыхнула сверхновая звезда, которую наблюдал выдающийся датский астроном Тихо Браге. Он писал, что блеск этой звезды можно сравнить с блеском Венеры, и даже когда другие звезды скрылись за густыми облаками, ее можно было видеть.

Около Кассиопеи расположены созвездия Жирафа, Персея, Андромеды, Малой Медведицы и Цефея.

Цефей также является околополюсным созвездием и виден в любое время ночи над горизонтом. В хорошую погоду в созвездии Цефея можно наблюдать невооруженным глазом около 60 звезд, а восемь самых ярких звезд созвездия образуют характерную геометрическую фигуру этого созвездия — неправильный четырехугольник, над верхней частью которого находится треугольник.

В созвездии находятся интереснейшие объекты — переменные звезды δ и μ Цефея, являющиеся представителями класса переменных звезд, называемых долгопериодическими цефеидами (по названию самого созвездия). Причина изменений блеска цефеид заключается в строго периодических пульсациях, при которых звезда то сжимается (при этом температура ее поверхности растет и светимость увеличивается), то расширяется (температура ее поверхности становится ниже и светимость падает).

Слева от Кассиопеи находится созвездие Персея, наилучшая видимость которого приходится на период с ноября по март. Невооруженным глазом в созвездии можно различить примерно 90 звезд, из которых 11 самых ярких — второй и третьей звездной величины — образуют удлинённый многоугольник.



Созвездие Кассиопея



Созвездие Цефей



Созвездие Персей

Самая известная звезда Персея — Алгол (β Персея), что в переводе с арабского означает «дьявол». Это так называемая затменно-переменная звезда, которая представляет собой систему из двух звезд, вращающихся вокруг общего центра масс. Когда звезда-спутник (имеющая меньшую звездную величину) оказывается между Землей и главной звездой (более яркой), светимость всей системы уменьшается. Поэтому в течение двух с половиной суток Алгол относится к звездам второй звездной величины, а затем в продолжение пяти часов ее блеск уменьшается до третьей звездной величины. После этого минимума в течение пяти часов восстанавливается первоначальная яркость звезды, и потом это явление повторяется с той же периодичностью.

Немного выше и левее γ Персея можно наблюдать светлое размытое пятнышко неправильной формы, которое представляет собой рассеянное звездное скопление и на звездных картах обозначается буквой χ . Это звездное скопление имеет диаметр 56 световых лет и содержит в себе 350 звезд.

Андромеда, Кассиопея, Цефей и Персей связаны между собой не только близким расположением на небе, но и общей легендой. Андромеда, дочь эфиопского царя Цефея (Кефея) и его жены Кассиопеи, была необычайно красива, и ее мать хвасталась, что она красотой превосходит nereид — морских

Созвездие Персей



нимф. Нереиды пожаловались Посейдону (одна из них была его супругой), и тот, недолго думая, наслал на Эфиопию морское чудовище — Кита, уничтожавшего все живое.

Когда Цефей обратился к оракулу за советом, тот ответил, что остановить чудовище можно, лишь отдав ему на съедение Андромеду. Несчастную девушку приковали к скале на берегу моря, и когда, казалось, уже ничто не могло ее спасти, в дело вмешался пролетавший мимо Персей. Он был героем, который убил Медузу Горгону, чей взгляд обращал всякого в камень. Персей направил последний, сохранивший смертельную силу, взгляд мертвой Медузы на морское чудовище и превратил его в камень. В награду за проявленный героизм Персей получил благодарность народа Эфиопии и саму Андромеду. К слову сказать, Кит также попал на небо и стал созвездием.

Но легенды легендами, а мы продолжим исследование звездного неба. Если соединить прямой линией две верхние звезды Ковша Большой Медведицы (звезду, которая находится в месте соединения ручки с Ковшом, и верхнюю звезду внешней стенки Ковша) и продолжить эту линию в сторону, противоположную ручке, то обнаружится одна из самых ярких звезд северного неба — Капелла. Это α Возничего, околополярного созвездия, яркие звезды которого образуют на небе характерный пятиугольник. Около Капеллы — правее и ниже, — расположены три звезды, ϵ , ζ и η Возничего, называемые часто «козлятами» из-за того, что Капелла в переводе на русский язык означает «коза».

Между созвездиями Цефея, Малой и Большой Медведиц расположено еще одно околополюсное созвездие — Дракон, рядом с которым находится созвездие Лиры. В него входит самая яркая звезда летнего неба — Вега, α Лиры.



П. Рубенс. Персей и Андромеда



Созвездие Возничий



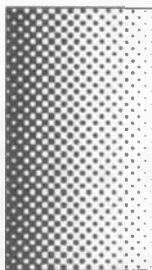
Летне-осенний
треугольник: Вега,
Альтаир и Денеб

Вега является составной частью так называемого Летне-осеннего треугольника, который образован тремя яркими звездами: Вегой, Альтаиром в созвездии Орла и Денебом в созвездии Лебеда.

Кстати, созвездие Лебеда, расположенное между Лирой и Цфеєм, является одним из красивейших созвездий летнего неба. Здесь можно наблюдать облака слабых звезд и темные прогалины, «угольные мешки» — протяженные облака светопоглощающей газо-пылевой материи. В южной части созвездия

расположена β Лебеда — Альбирео, красивая двойная звезда. Чтобы ее отыскать, достаточно провести прямую линию через β и γ Лир и отложить на этой линии, налево и вниз, трехкратное угловое расстояние, разделяющее эти звезды.

Созвездие имеет вид креста, в котором правая и левая половины соответствуют двум распростертым крыльям. В «хвосте» Лебеда находится Денеб, а его «шея» вытянута по направлению к Альбирео.



Если плавной дугой соединить звезды, образующие ручку Ковша Большой Медведицы, и мысленно продолжить эту дугу дальше по небесной сфере, то можно увидеть яркую оранжевую звезду Арктур, α Волопаса. Звезды верхней части созвездия образуют фигуру, похожую на раскрытый парашют, под которым в качестве «парашютиста» пристроилась звезда Арктур.

Слева от Волопаса полукругом расположена цепочка звезд, напоминающих ожерелье. Это созвездие Северной Короны, самая яркая звезда которого (α Северной Короны) называется Гемма, или Жемчужина.

И в заключение обзора основных околополярных созвездий нельзя не рассказать об экваториальном созвездии Орион, немного напоминающем по форме латинскую букву Z и видимом в обоих полушариях.

В левом верхнем углу созвездия («плече» Ориона) сияет яркая оранжево-красная звезда α Ориона — Бетельгейзе, звезда-гигант, во много миллионов раз превосходящая Солнце по своему объему. В другом «плече» небесного охотника расположена γ Ориона — Беллатрикс, а в правом нижнем углу созвездия — яркая голубоватая звезда Ригель, β Ориона. В сред-



ней части созвездия видны еще три яркие звезды (δ , ϵ и ζ Ориона), составляющие так называемый пояс Ориона.

Ниже пояса Ориона находится звезда θ Ориона. В самый слабый телескоп (даже в подзорную трубу) около этой звезды можно обнаружить газовую туманность, в центре которой при помощи телескопа можно увидеть четыре звезды — «трапецию» Ориона.

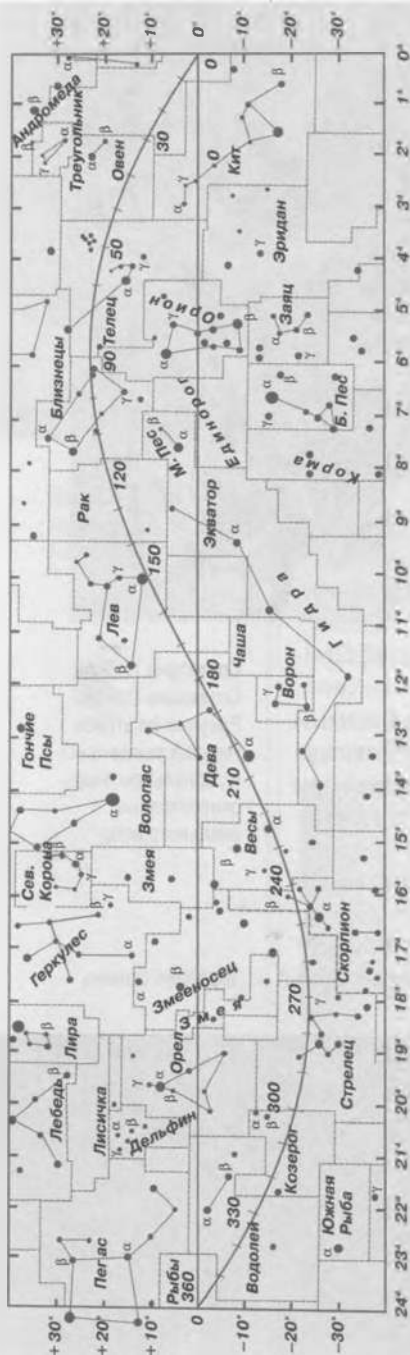
Если продолжить пояс Ориона налево вниз, то легко найти самую яркую звезду всего звездного неба — Сириус (α Большого Пса). Это двойная звезда, в которой один из компонентов — представитель класса сверхплотных звезд — белых карликов, у которых средняя плотность вещества иногда в миллионы раз превосходит плотность воды.

С Сириусом связано возникновение такого любимого школьниками и студентами явления, как каникулы. Дело в том, что в Древнем Риме гелиакический восход Сириуса, когда он после периода невидимости впервые появлялся в восточной стороне неба перед восходом Солнца, знаменовал собой наступление невыносимо жаркой погоды, сопровождавшейся тропическими лихорадками и эпидемиями. В это время в Древнем Риме наступал отпускной период, который в честь созвездия Большого Пса (на латыни — *Kanis Major*) именовался каникулами.

Созвездие Лебедь.
Созвездие Орион.
Рисунки из атласа Гевелия выполнены в зеркальном виде относительно реального неба

Трапеция Ориона





Годовое движение
Солнца через
зодиакальные
созвездия

12 созвездий, через которые проходит Солнце на протяжении года, входят в так называемый зодиакальный круг, или просто зодиак (о происхождении зодиака рассказано в разделе, посвященном истории астрономии). На самом деле Солнце проходит и через 13-е созвездие Змееносца (с 30 ноября по 18 декабря), но в число зодиакальных оно не включено.

Название созвездия	Продолжительность пребывания Солнца в созвездии
Стрелец	18 декабря — 19 января
Козерог	19 января — 16 февраля
Водолей	16 февраля — 12 марта
Рыбы	12 марта — 18 апреля
Овен	18 апреля — 14 мая
Телец	14 мая — 21 июня
Близнецы	21 июня — 20 июля
Рак	20 июля — 11 августа
Лев	11 августа — 17 сентября
Дева	17 сентября — 31 октября
Весы	31 октября — 22 ноября
Скорпион	22 ноября — 30 ноября

Знание зодиакальных созвездий очень важно при проведении ряда наблюдений, в частности при наблюдении планет, поскольку их орбиты планет расположены в плоскости эклиптики. Благодаря этому планеты перемещаются на небесной сфере по зодиакальным созвездиям. Поэтому в астрономических календарях обычно указывается, в каком именно созвездии можно наблюдать ту или иную из планет.

Начнем с Овна — осенне-зимнего созвездия. Солнце вступает в созвездие Овна в апреле, поэтому на ночном небе мы можем его наблюдать именно в осенне-зимний период. Это одно

из наиболее известных и богатых созвездий зодиака, которое содержит 82 звезды, видимые невооруженным глазом (хотя звезд ярче второй величины в нем не найти).

В древние времена в Овне находилась точка весеннего равноденствия, которая со временем перешла в знак Рыб. Но на память о былом расположении для обозначения точки весеннего равноденствия до сих пор используется знак Овна.

В правой части созвездия расположены его наиболее яркие звезды — Гамаль («голова барана»), Шератан («след», или «знак») и Месартхим (соответственно α , β и γ Овна). Звезда четвертой величины Месартхим была разрешена на два компонента в 1664 г. Робертом Гуком и стала одной из первых двойных, открытых при помощи телескопа.

Согласно мифу, Фрикс и Гелла, дети царя Беотии Афаманта, подвергались жестокому гонению со стороны их мачехи Ино, которая даже хотела принести их в жертву Зевсу. Однако им удалось бежать на спине барана с золотым руном, который был послан либо Гермесом (по одной версии), либо самим Зевсом (по другой). Баран перенес детей по воздуху через Эгейское море к Черному. По пути Гелла утонула в водах пролива, получившего ее имя — Геллеспонт (ныне Дарданеллы). Фрикс на золотом баране прилетел в Колхиду, на восточное побережье Черного моря, где царь Эт с почетом принял его и сделал своим зятем. В знак благодарности Фрикс принес барана в жертву Зевсу и подарил Эту золотое руно, которое тот пригвоздил к дубу в роще, посвященной Аресу и охраняемой драконом. И именно его золотое руно стало причиной знаменитого похода Ясона и его друзей на легендарном корабле «Арго» (в честь которого было названо древнее созвездие).

В южной стороне неба, восточнее Овна, располагается красивое зодиакальное созвездие Телец, украшенное жемчужиной ночного неба — яркой красноватой звездой Альдебаран (α Тельца), что в буквальном переводе означает «последователь». Название созвездия также связано с древнегреческим мифом.

Зевс, пленившись красотой финикийской девушки на побережье Сирии, в облике быка перенес ее на Крит. Девушку звали



Созвездие Овен



Созвездие Телец

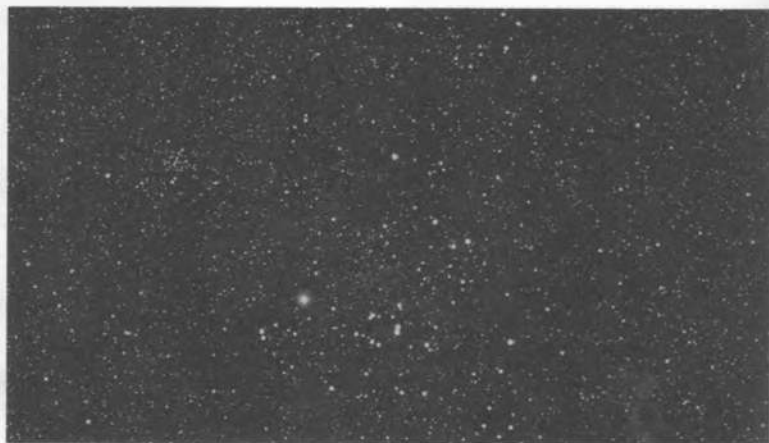
В. Серов
Похищение Европы



Европа, и она подарила свое имя Европейскому континенту. Древние шумеры называли созвездие Тельца Челюстью Быка, а южноамериканские индейцы Гвианы и Бразилии — Челюстью Тапира.

На «рогах» Тельца сверкают две звезды, β и ζ , а группа окружающих Альдебаран звезд обрисовывает ноздри быка (ϑ^1 , ϑ^2 , γ , δ и ϵ Тельца). Это звездное скопление Гиады, группа звезд, связанных общностью происхождения. Согласно греческой мифологии, эти нимфы были дочерьми Атланта — титана, державшего на своих плечах небесный свод, брата Прометея, — и океаниды Плейоны. После гибели на охоте их брата Гиаса они умерли от горя, и Зевс превратил их в звезды. С этой легендой связано и другое их название — «плачущие Гиады», поскольку появление Гиад на небе означало наступление сезона дождей в Древней Греции.

Звездное скопление
Гиады



Альдебаран образует глаз Тельца, а остальные Гиады имеют ясно выраженную V-образную форму. Острие V указывает на нос быка, а две расходящиеся линии образуют его рога.

В Тельце находится еще одно знаменитое звездное скопление — Плеяды (которые на Руси называли Стожарами), расположенное на спине этого небесного быка. По преданию, Плеяды также были дочерьми Атланта и Плейоны, сестрами Гиад. Они спасались бегством от преследовавшего их охотника Ориона и были перенесены Зевсом на небо, где превратились в звезды, каждая из которых имеет свое имя, подобно мифическим Плеядам: Альциона (А), Астеропа (As), Целено (С), Электра (Е), Майя (Ma), Меропа (Me), Тайгета (Т).

В созвездии Тельца находится также знаменитая Крабовидная туманность — остатки сверхновой звезды, взрыв которой



Звезда Меропа из скопления Плеяды, просвечивающая сквозь облако межзвездной пыли

Шесть звезд этого скопления сияют ярко, а седьмую почти не видно. По легенде, это Меропа, которой стыдно, что она вышла замуж за смертного. Кроме того, в скоплении Плеяд можно найти звезды Атлас (At) и Плейону (P), которые символизируют их родителей, Атланта (Атласа) и Плейону. Древние греки знали: появление Плеяд указывало на начало сезона зимних дождей.

Крабовидная туманность

наблюдался на Земле свыше 950 лет назад, в 1054 г. Вспышка этой сверхновой была описана китайскими и японскими астрономами. Первоначально звезда была видна даже днем подобно Венере, через 23 дня блеск ее настолько уменьшился, что днем она уже не была видна, а примерно через год «исчезла» с неба. В недрах этой туманности находится одна из самых удивительных звезд — Пульсар. Туманность расположена около ζ Тельца, почти на самой эклиптике, имеет волокнистую структуру и по внешнему виду напоминает краба, откуда и название.

Восточнее от Тельца находится зодиакальное созвездие Близнецов, в которое Солнце приходит в июне, достигая





Созвездие Близнецы
и созвездие Рак

Эксекий. Полидевк и
Леда. Деталь росписи
амфоры «Ахилл и Аякс
за игрой в шашки»



наибольшего удаления к северу от небесного экватора. Здесь расположена точка летнего солнцестояния, пройдя которую Солнце начинает снова приближаться к небесному экватору в своем движении по эклиптике. С этого момента начинается астрономическое лето. Наилучшие условия для наблюдения за Близнецами — в декабре, около полуночи.

Согласно греческому мифу, близнецы Кастор и Поллукс (Полидевк) были сыновьями Зевса (Диоскурами), родившимися от союза Зевса и Леды, смертной женщины. Леда уже была замужем, когда Зевс явился к ней в образе лебедя. Братья, зачатые от этой связи, появились на свет из яйца, и один из них был бессмертным (Поллукс), а другой — смертным (Кастор). Когда Ясон отправился на поиски золотого руна, то близнецы присоединились к нему. Кастор был убит в бою, и Поллукс обратился к Зевсу с мольбой вернуть его к жизни. Отец разрешил Поллуксу поделить с Кастором своим бессмертием, но велел им меняться местами: пока один жив, другой остается в нижнем мире. Но первоначально греки заимствовали название созвездия у вавилонян, которые, вслед за шумерами, называли созвездие Великими Близнецами.

Самые заметные звезды Близнецов — Кастор и Поллукс (α и β соответственно) — расположен

в восточной части созвездия. В центре созвездия расположена особенно интересная звезда ζ , которая периодически (с периодом немного большим 10 суток) в небольших пределах меняет свой блеск. Остальные звезды, входящие в созвездие, распадаются на две линии и образуют «тела» небесных близнецов.

В Греции гелиакальный восход Близнецов означал начало летнего сезона мореплавания в спокойных водах, что послужило превращению этого созвездия в талисман мореходов. Большое значение, которое Близнецам придавалось в древности, побуждало людей скреплять клятвы их именем — «клянусь Близнецами».

В июле Солнце приходит в зодиакальное созвездие Рака, которое расположено на небе к востоку от Близнецов. Лучше всего его наблюдать с января по май, когда оно находится в самой высшей точке над горизонтом в южной части неба.

Согласно легенде, Рак символизирует того самого краба, который укусил Геракла за пятку во время его второго подвига, когда он отрубал и сжигал головы Гидры.

Это созвездие содержит примерно 60 звезд, различимых невооруженным глазом. Пять самых ярких из них (ярче четвертой звездной величины) образуют характерную геометрическую фигуру созвездия — треугольник, возле вершины которого видна цепочка звезд. В нем, между звездами γ и δ Рака (называемых «ослятами»), находится красивое рассеянное звездное скопление — Ясли (известное также как Улей), расположенное от нас на расстоянии примерно 520 световых лет, диаметром 16 световых лет. При помощи телескопа в нем можно увидеть около сотни звезд. В древности появление Яслей свидетельствовало о приближении сезона ветреной и дождливой погоды. Также в созвездии Рака находится одна из самых ярких двойных звезд — ι Рака.

Восточнее созвездия Рака и вниз от Ковша Большой Медведицы расположено зодиакальное созвездие Льва, куда Солнце приходит в августе. Наблюдать же его лучше всего в марте и апреле, когда оно находится в самой высокой точке над горизонтом.

В греческой мифологии созвездие Льва связано с Немейским львом и первым подвигом Геракла. Предание гласит, что в приступе безумия, насланном на него ревнивой и мстительной Герой, Геракл убил своих детей. Когда он пришел в себя, мучи-



А. Поллайоло.
Геракл и Гидра

Звездное скопление
Ясли





Созвездие Лев

Ф. Сурбаран. Геракл убивает Немейского льва



мый раскаянием, отправился к Дельфийскому оракулу, чтобы узнать, какое наказание он должен понести за свой грех. Ему было приказано на двенадцать лет поступить в услужение к микенскому царю Эврисфею, который и дал ему в качестве первого задания приказ убить Немейского льва.

Ясной и безлунной ночью в созвездии Льва невооруженным глазом можно видеть около 70 звезд. Это созвездие на небосводе имеет характерную форму — сильно удлинённый неправильный шес-

тиугольник, в правом углу основания которого находится яркая голубовато-белая звезда первой звездной величины — α Льва (Регул), название которой означает «маленький царь» и указывает на сердце льва. В правой верхней части созвездия, рядом с созвездием Рака, виден треугольник, образованный звездами ϵ , μ и χ , обрисовывающий голову льва. Передние лапы отмечены звездами θ и ω . Косой треугольник с яркой звездой второй величины Денеболой («Львиным Хвостом») в дальнем углу образует заднюю часть льва и завершает его тело.

С востока к созвездию Льва примыкает зодиакальное созвездие Дева. Вступление Солнца в созвездие Девы происходит в сентябре. В этом созвездии расположена одна из точек пересечения небесного экватора с эклипкой — точка осеннего равноденствия, после прохождения которой Солнцем (в сентябре) начинается астрономическая осень. Это созвездие лучше всего наблюдать весной, когда оно находится высоко над горизонтом.

В греческой мифологии созвездие Девы символизирует Дике — одну из ор, трех бессмертных, отвечавших за времена года и сезонный порядок в природе. Каждая из них заведовала своим временем года. Дике отвечала за лето, ее имя означает «правосудие». Вместе со своими сестрами, Эвномией (благодатью) и Эйреней (миром) она поддерживала порядок в обществе. Жители Афин называли ее Оксо, что означает «рост», поскольку она отвечала именно за рост растений, а не за их размножение или созревание. На старинных фресках и звездных атласах Дике (Дева) всегда изображалась с колосом в руке. При хороших условиях наблюдения в соз-

вездии Девы невооруженным глазом можно увидеть до 95 звезд, среди которых около десятка ярче четвертой звездной величины. Самая яркая звезда — α Девы — носит имя Спика и имеет первую звездную величину. Легче всего обнаружить эту звезду, если мысленно продолжить дугу из звезд, образующих «хвост» Большой Медведицы. Сперва на этой дуге обнаружится оранжевая звезда Арктур в созвездии Волопаса, а затем — бело-голубая Спика. Созвездие Девы выглядит как большой неправильный четырехугольник, образованный линиями, соединяющими самые яркие звезды созвездия и Спика.

К юго-востоку от Девы находится зодиакальное созвездие Весы. Солнце приходит в него в самом конце октября. В ясную и безлунную ночь в созвездии Весов невооруженным глазом можно видеть около 50 звезд, шесть из которых ярче четвертой звездной величины. Четыре самые яркие звезды образуют ромбоид — характерную геометрическую фигуру этого созвездия, благодаря чему Весы достаточно легко обнаружить. Более двух тысяч лет назад в области созвездия Весов располагалась точка осеннего равноденствия.

По мифологии, Весы символизируют правосудие, олицетворяемое Дикой (Девой). Это название вавилонское, тогда как греки называли эти звезды Клешнями, поскольку в соседнем созвездии обитал их владелец — Скорпион.

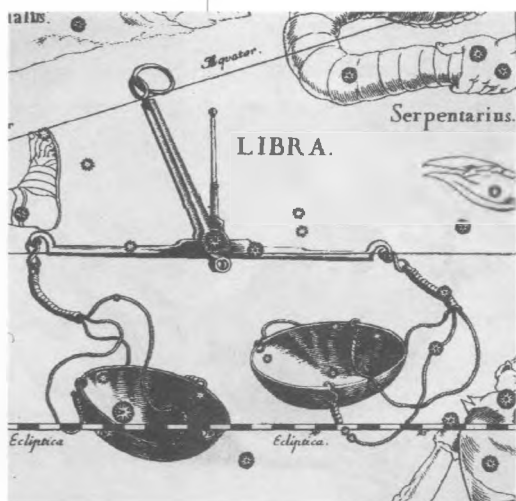
Юго-восточнее Весов, к югу от небесного экватора, в самой широкой и самой красивой части Млечного Пути расположено созвездие Скорпион, которое можно назвать весенне-летним. В это созвездие Солнце приходит в ноябре.

В мифологии древних греков Скорпион был противником охотника Ориона. По одной трактовке, Орион попытался овладеть Артемидой, за что она наслала на него скорпиона, ставшего причиной его гибели. По другой версии, Гей-Земля была разгневана хвастовством Ориона, что он может убить любое из ее созданий. Чтобы проучить самоуверенного гиганта, она послала скорпиона. После гибели Ориона он и скорпион были помещены на противоположных сторонах неба.

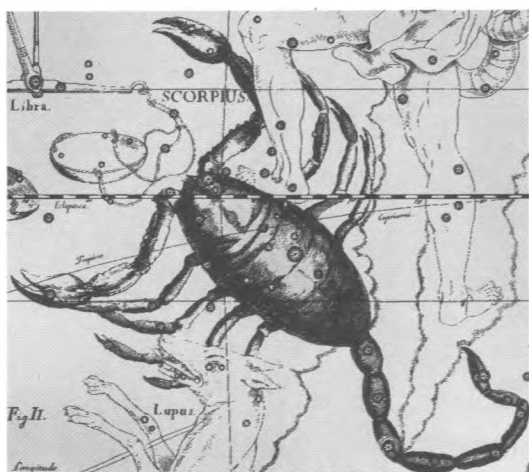
Ясной и безлунной ночью в этом созвездии невооруженным глазом можно обнаружить около 100 звезд, но только 13 из них ярче четвертой звездной величины. Самая яркая звез-



Созвездие Дева



Созвездие Весы



Созвездие Скорпион
и созвездие Стрелец



да этого созвездия — Антарес (α Скорпиона) — имеет интенсивную красновато-оранжевую окраску, за что и получила свое название («Антарес» означает «соперник Марса» — планеты, имеющей красноватый цвет).

Туловище Скорпиона образовано тремя звездами — τ , α и σ , клешни — звездами π , δ и β . Длинный хвост образован звездами ϵ , μ , ζ , ν и χ , а заканчивается он ядовитым жалом λ и ψ .

К востоку от Скорпиона горизонта расположено зодиакальное созвездие Стрелец, изображаемое в старинных картах в облике наполовину человека, наполовину коня — кентавра. Согласно греческой мифологии, это Хирон — мудрейший из всех кентавров, учитель мифических героев, прославившихся своими подвигами, — Ясона и Геракла, Асклепия и Ахилла. После смерти кентавра Зевс превратил его в созвездие и оставил сиять на небе среди других созвездий в награду за то, что он воспитывал и учил самых прославленных героев Греции. С тех пор Хирон, натянув тетиву, готов пустить стрелу в Скорпиона, чтобы отомстить за то, что Скорпион смертельно ужалил легендарного охотника Ориона.



Созвездие Козерог

Солнце вступает в это созвездие в декабре, проходя в конце месяца точку зимнего солнцестояния — самую южную точку эклиптики. С этого момента в Северном полушарии начинается зима, а в Южном — лето. День становится самым коротким, а ночь — наиболее продолжительной. Это созвездие лучше всего наблюдать в июле и августе.

Созвездие Стрелец одно из самых богатых звездами созвездий летнего неба, — в ясную и безлунную ночь в нем невооруженным глазом можно различить около 115 звезд. В нем расположено много рассеянных и шаровых

звездных скоплений, большинство из которых можно наблюдать с помощью обычного бинокля. У границы созвездий Стрельца и Скорпиона расположен скрытый за облаком газопылевой материи и невидимый для нас центр Галактики — ее ядро.

Восточнее Стрельца находится зодиакальное созвездие Козерога, в которое Солнце вступает в январе. В старинных звездных атласах созвездие Козерога изображалось в виде чудовища с головой козла и хвостом крокодила. Звезды этого созвездия довольно слабые и образуют очертания треугольника. Название созвездия появилось в древнем Шумере, где оно означало «рыба-козел». Некоторые греческие авторы называли созвездие «Козлиным Рогом» и отождествляли Козерога с Паном, приписывая ему козлиные ноги и рога, но человеческое туловище.

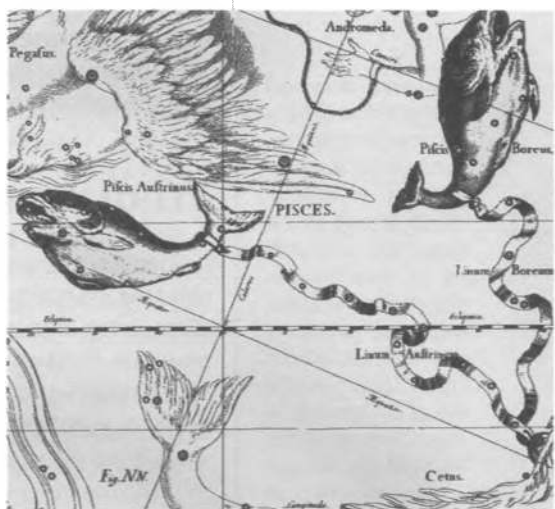
К востоку от Козерога расположено следующее зодиакальное созвездие — Водолей. По преданию, это Ганимед, смертный юноша, отличавшийся такой красотой, что Зевс сделал его своим виночерпием на Олимпе. В это созвездие Солнце приходит в феврале. В Водолее немало звезд, но они не образуют какой-либо характерной фигуры.

Рыбы, последнее созвездие Зодиака, располагается юго-западнее созвездия Овна и состоит из двух звездных цепочек, одна из которых вытянута в направлении созвездия Пегаса (звезды ζ , ϵ , δ , ω , ι , γ , β), а другая в сторону Андромеды (звезды η , ρ , ϕ , ν , τ , σ). Благодаря этим цепочкам, напоминающим двух связанных хвостами рыб, это созвездие в Древнем Вавилоне носило название «Хвосты». Согласно греческим мифам, это созвездие символизирует Афродиту и ее сына Эроса. Однажды, когда мать и сын отдыхали на берегу реки, появилось чудовище Тифон, которое сжигало свои жертвы пламенем, исходящим из его глаз. Афродита и Эрос превратились в рыб и прыгнули в реку, ускользнув от Тифона, который не узнал их в таком облике.

В созвездии Рыб расположена точка весеннего равноденствия. В тот момент, когда в нее приходит Солнце (21 марта), начинается астрономическая весна, и в это время продолжительность дня равна продолжительности ночи на всем земном шаре.



Созвездие Водолей

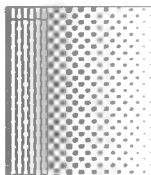


Созвездие Рыбы

Наблюдательная астрономия

История астрономии неотделима от человеческой истории и имеет столь же почтенный возраст. Однако большинство открытий было совершено в последние три-четыре столетия. Связано это, прежде всего, с тем, что в этот период астрономы обогатили арсенал своих наблюдательных инструментов.

Несомненно, что глаз человека — это потрясающее творение, и превосходный инструмент для наблюдений: он может улавливать даже отдельные кванты света! Невооруженный глаз способен различить на ночном небе около 6000 звезд, самые слабые из которых относятся к 6-й звездной величине. Люди с острым зрением способны различать звезды 8,5 звездной величины, которых на небе десятки тысяч. Но человеческий глаз в большей степени предназначен для видения днем, и к тому же его способности ограничены воспринимаемыми длинами волн, которые лежат в достаточно узком промежутке спектра.



Астрономы видят Вселенную через три «окна прозрачности», или три диапазона длин волн: оптический (видимый), радио- и инфракрасный диапазоны. Земная атмосфера является прозрачной только для этих трех участков спектра.

Поэтому во все времена астрономы стремились расширить возможности человеческого зрения при помощи всевозможных вспомогательных приспособлений.

В древности перечень подобных приспособлений глаза ограничивался угломерными инструментами.

Угломерные инструменты

Самым древним угломерным астрономическим инструментом считается *гномон*, представляющий собой обычный шест, установленный вертикально на горизонтальной поверхности. Несмотря на кажущуюся простоту, гномон позволяет измерять ряд важных астрономических величин. Прежде всего — угловую высоту Солнца над горизонтом по формуле:

$$\operatorname{tg} h = L/l,$$

где L — длина гномона,
 l — длина отбрасываемой им тени,
 h — угловая высота Солнца над горизонтом
 (см. рис. справа).

Зная высоту Солнца над горизонтом в дни летнего и зимнего солнцестояний, можно вычислить угол между небесным экватором и эклипстикой, а также наклон плоскости небесного экватора к горизонту. По длине полуденной тени также можно определить продолжительность года.

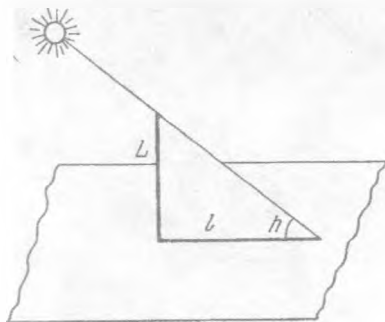
Точность измерений с помощью гномона растет при увеличении его высоты. По этой причине астрономы древности старались построить как можно более высокий гномон. Самые крупные гномоны достигали высоты нескольких десятков метров. Например, великий узбекский астроном Улугбек использовал гномон высотой 55 м, а самый высокий гномон, расположенный на куполе Флорентийского собора (XV в.), достигал (вместе со зданием собора) 90 м.

Одним из наиболее распространенных угломерных инструментов, позволявших измерить высоту светила над горизонтом, является квадрант, представляющий собой плоскую доску в форме четверти градуированного круга, около центра которого вращается подвижная линейка с двумя пластинками с отверстиями (диоптрами) на концах. Разновидность квадранта, в которой вместо четверти круга используется его шестая часть, называется *секстантом*, а когда его восьмая часть — *октантом*.

Подобно гномону, в случае с квадрантом размер имел значение, и чем крупнее был инструмент, тем более точные измерения могли быть выполнены. Самый большой квадрант (по мнению части исследователей — секстант) располагался в обсерватории Улугбека и имел радиус дуги 40,2 м.

С той же целью, что и квадрант, использовалась *астролябия*, подвесной угломерный инструмент, представляющий собой разделенный на градусы металлический круг, в центре которого укреплен алидада — вращающаяся линейка с двумя диоптрами.

Существовала и такая разновидность квадранта, как *универсальный квадрант*, позволявший измерять не только угловую высоту небесного тела, но и углы между направлениями на два светила. В отличие от квадранта, который обычно крепился на стене для устойчивости, универсальный квадрант располагался на штативе, с помощью которого инструмент можно было фиксировать в любом положении. Также он имел две трубки (диоптры), из которых одна неподвижно скреплялась с дугой квадранта, а вторая вращалась вокруг его центра.



Использование гномона для определения угловой высоты Солнца над горизонтом

Одними из древнейших угломерных инструментов являлись астрономический посох, позволяющий измерять высоту светила над горизонтом и угол между направлениями на две звезды, и трикветр, при помощи которого определяли зенитное расстояние звезды. Но эти инструменты не давали требуемой точности измерений, поэтому вышли из употребления.



Куниёси Утагава.
Астроном

До наших дней дошел такой популярный в древности угломерный инструмент, как *армиллярная сфера*, или *армилла*, представляющий собой модель небесной сферы с полюсами и осью мира, меридианом, горизонтом, небесным экватором и эклипстикой. Нередко армиллярную сферу дополняли небесными параллелями и делали подвижным меридиан, чтобы можно было менять наклон оси мира в соответствии с географической широтой места. При помощи этого инструмента определяли часовой угол и склонение светила, а также прямые восхождения небесных тел.

В наши дни угломерные инструменты снабжают зрительной трубой, исполняющей роль визира (устройства для наведения), что позволяет достичь намного более высокой точности измерения углов. Широко применяется *теодолит*, разновидность так называемого универсального инструмента, или *универсала*. Это угломерный инструмент, основной частью которого служит зрительная труба, вращающаяся вокруг вертикальной и горизонтальной осей. С осями скреплены круги — *лимбы*, разделенные на градусы и минуты дуги, по которым отсчитывают направление зрительной трубы. В крупных универсалах на лимбы направлены небольшие трубки — микроскопы со слабым увеличением, чтобы четче были видны деления. На раме универсала укреплены уровни, позволяющие при помощи опорных регулировочных винтов устанавливать прибор строго в горизонтальной плоскости.

С помощью универсала и его разновидностей измеряют высоту и угловое расстояние объекта над горизонтом с точностью до секунд.

Своеобразными разновидностями универсала можно также считать современные переносные *сложные призмённые астролябии* с искусственным ртутным горизонтом, использующиеся для точного измерения времени и широты места, и *зенит-телескоп*, предназначенный для измерений зенитных расстояний звезд вблизи зенита.

С помощью *пассажного инструмента* измеряют звездное время (по которому легко рассчитать среднее солнечное время), для чего фиксируют кульминации звезд, прямое восхождение и склонение которых известно. Этот инструмент представляет собой зрительную трубу, расположенную на оси, направленной с востока на запад, снабженную также градуированным кругом, предназначенным для приближенной установки трубы на требуемую угловую высоту.

Теодолит. Модель
1900 г.



Оптическая астрономия

Как известно, свет является разновидностью электромагнитных колебаний, и его основными характеристиками являются *длина* волны и *частота* колебаний. Если сравнивать виды электромагнитных колебаний между собой по длине волны, то видимый свет окажется примерно посредине такой шкалы, между инфракрасным и ультрафиолетовым излучением. Самой большой длиной волны обладает радиоизлучение, а самой короткой — гамма-лучи.

Длина волны видимого света составляет от 4000 Å до 7000 Å (Å — это ангстрем, единица измерения, равная 10⁻⁸ см). Различные длины волн видимого света воспринимаются нашим глазом как разные цвета, самой короткой длиной волны обладает фиолетовый свет, а самой длинной — красный. В системе СИ длину оптических волн измеряют в нанометрах (1 нм = 10 Å).

Согласно *закону излучения Вина*, длина волны, на которой тело излучает наибольшее количество энергии, обратно пропорциональна его температуре:

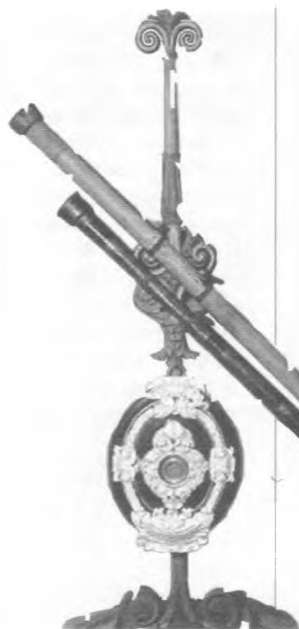
$$T \times \lambda_{\text{макс}} = \text{const},$$

где *T* — абсолютная температура звезды, *λ_{макс}* — максимальная длина волны, *const* — постоянная величина.

Говоря иными словами, слабо нагретые тела излучают длинноволновые (инфракрасные) лучи, в то время как сильно нагретые — преимущественно синие и даже фиолетовые лучи. Благодаря этому мы можем оценить температуру звезды по ее цвету: горячие звезды выглядят бело-голубыми (например, Сириус), а холодные — красными (Антарес). Но к этому вопросу мы вернемся чуть позже. А пока продолжим о видимом свете.

Длина волны — это расстояние от какой-либо точки на волне до следующей идентичной точки, например расстояние от гребня до гребня. Частота колебаний — это число волн, которые прошли за данное время через фиксированную точку, она измеряется количеством колебаний за одну секунду (единица измерения частоты колебаний называется герцем — Гц).
Электромагнитный спектр

	Электромагнитное излучение	Длина волны (см)	Частота (Гц)
	название диапазона		
Фиолетовый Синий Голубой Зеленый Желтый Оранжевый Красный	Гамма-лучи	Короткие 10^{-9}	высокие частоты 3×10^{19}
	Рентгеновские лучи	1 ангстрем 10^{-6}	3×10^{16}
	Ультрафиолетовое излучение	3×10^{-5}	10^{15}
	Видимый свет		
	Инфракрасное излучение	10^{-4} 10^{-1}	3×10^{11}
Радиоволны	Микроволновое излучение	1	3×10^{10}
	Излучение для связи с космическими аппаратами	1 10^2	3×10^8
	Телевидение	10^3	3×10^7
	Коротковолновое излучение	10^4	3×10^8
	Длинноволновое излучение	10^5 1 км Длинные	3×10^5 300 кГц Низкие частоты



Телескопы Галилея

102-сантиметровый
телескоп-рефрактор
Йеркской
обсерватории



Настоящий прорыв в астрономии произошел, когда была изобретена зрительная труба, которую Галилео Галилей решил применить для наблюдения за небесными телами. С этого момента началась эра телескопов, которые приблизили к человечеству звезды.

Все существующие сегодня разновидности оптических телескопов относятся к двум видам: *рефракторам* (преломляющим) и *рефлекторам* (отражающим), а также могут быть комбинированными, сочетающим в себе оба типа.

Первыми были изобретены рефракторы, представляющие собой комбинацию оптических стекол (линз). Телескоп-рефрактор состоит из двух основных элементов: объектива, обращенного к наблюдаемому объекту, и окуляра, помещенного на пути лучей перед глазом наблюдателя.

Объектив является основным конструктивным элементом любого телескопа, и в рефракторах он представляет собой систему линз, а в рефлекторах — систему зеркал, основное предназначение которых — собирать свет от небесных объектов и строить их изображения.

Количество света, собранное объективом, является одной из важнейших характеристик телескопа и называется *светосилой* телескопа. Светосила пропорциональна площади объектива. Когда говорят про размеры телескопа, например «6-метровый», имеют в виду именно диаметр объектива.

В *телескопах-рефракторах* объективом служит линза, расположенная в передней части трубы. Свет от наблюдаемого объекта проходит эту линзу и преломляется таким образом, что около задней части трубы получается изображение светила. Расстояние от линзы до изображения называется *фокусным расстоянием* объектива.

Если уж мы заговорили о фокусном расстоянии, то стоит напомнить основные параметры оптической системы. Рассмотрим в качестве оптической системы простейший телескоп-рефрактор, объектив которого состоит из одной двояковыпуклой линзы, ограниченной частями двух сферических поверхностей. Проходящая через центры кривизны этих поверхностей прямая линия называется *главной оптической осью* линзы. Прямая, проходящая через центр линзы O под углом к главной оптической оси, называется *побочной оптической осью*.

Пучок лучей, параллельных главной оптической оси, собирается в главном фокусе F (см. рис.

на с. 109). Расстояние от центра линзы до главного фокуса называется главным фокусным расстоянием F , и именно здесь образуется изображение небесного тела.

Немаловажной характеристикой телескопа является *размер объектива* и *относительное отверстие*. Относительное отверстие — это отношение диаметра объектива к его главному фокусному расстоянию. Объективы, у которых это отношение заключено в пределах 1:2–1:6, называются *светосильными* и применяются для наблюдения и фотографирования слабых протяженных объектов (комет, туманностей и звездных полей). Светосила обычного телескопа-рефрактора составляет около 1:15.

С размерами объектива, точнее, с его диаметром, связана еще одна важнейшая характеристика телескопа — его *разрешающая сила*. Как известно, вследствие явления дифракции изображение звезды, создаваемое линзой или зеркалом, выглядит небольшим размытым диском, окруженным слабыми кольцами. Это явление называется дифракционной картиной. Если две звезды расположены тесно друг к другу, то их дифракционные картины могут перекрываться таким образом, что они будут выглядеть как одна звезда. И как раз разрешающая сила телескопа указывает на наименьший угол между двумя звездами, при котором в данный телескоп видны их раздельно-различимые изображения, то есть эта характеристика отражает его способность создавать резкие, детальные изображения при идеальных условиях наблюдения. Разрешающая сила пропорциональна диаметру объектива.

Вторым по важности конструктивным элементом телескопа является окуляр, который можно рассматривать как самостоятельную оптическую подсистему телескопа. Окуляр телескопа сам дает изображение — к примеру, он создает изображение объектива, которое называется *окулярным зрачком*, или *выходным зрачком* телескопической системы. Для максимально эффективного использования возможностей телескопа важно, чтобы диаметр окулярного зрачка был равен диаметру зрачка глаза.

Диаметр окулярного зрачка p можно вычислить по формуле:

$$p = D/W,$$

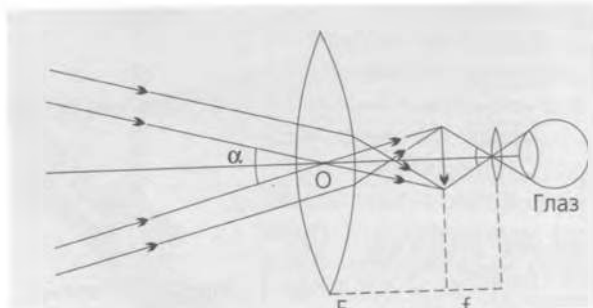
где D — диаметр объектива,
 W — увеличение данного окуляра.



Ход лучей в телескопической системе

68-сантиметровый телескоп обсерватории Архенхолд с фокусным расстоянием 21 м — самый длинный современный рефрактор

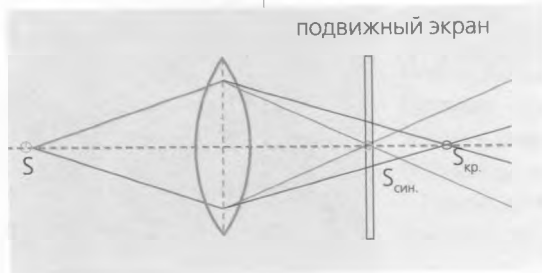




Изображение бесконечно удаленного предмета, масштаб изображения и увеличение телескопа

Поскольку зрение является характеристикой индивидуальной, то для ее учета при наблюдении окуляр можно вдвигать ближе к объективу или выдвигать, это позволяет получать наблюдателю более четкое изображение.

Хроматическая aberrация



Так как диаметр зрачка выхода должен соответствовать диаметру глазного зрачка (примерно 5 мм), то из этой формулы следует, что *полезное увеличение* для любого телескопа выражается величиной примерно в 20 раз больше диаметра его объектива в сантиметрах. При больших увеличениях будет сильно сказываться размы-

тость изображения из-за дифракции или плохой видимости. Следующей важной характеристикой телескопа является его *увеличение* — отношение размера объекта, видимого в телескоп, к размеру тела, видимого невооруженным глазом. При этом следует учитывать, что телескоп увеличивает не линейный, а угловой диаметр объектов, который равен величине угла α (см. рис. слева вверху).

Увеличение телескопа W можно определить по формуле:

$$W = F/f,$$

где F — фокусное расстояние объектива,
 f — фокусное расстояние окуляра.

У рефракторов существует ряд недостатков, связанных, прежде всего, с *абберациями*, то есть искажениями изображения, создаваемыми объективом. Главным недостатком всех линз является *хроматическая aberrация*, связанная с зависимостью показателя преломления оптических стекол от длины волны падающего на них света (см. рис. слева внизу). Когда он проходит через линзу, то она отклоняет синие (более короткие) световые волны сильнее всего, и те собираются в фокусе чуть ближе к объективу, чем красные (более длинные) световые волны. В результате наблюдатель получает изображение звезды в виде пятна, окрашенного различными цветами.

Для уменьшения хроматической aberrации используют специальные *ахроматические объективы*, состоящие из двух линз, изготовленных из различных сортов стекла. Благодаря этому в одном и том же фокусе совмещаются лучи двух определенных длин волн. Но при этом остаются лучи, обладающие промежуточными длинами волн, которые не сводятся в тот же фокус и слегка окрашивают изображение. Это называется *остаточной хроматической aberrацией*. Для ее уменьшения используют так называемые *апохроматические объективы*, состоящие из трех линз.

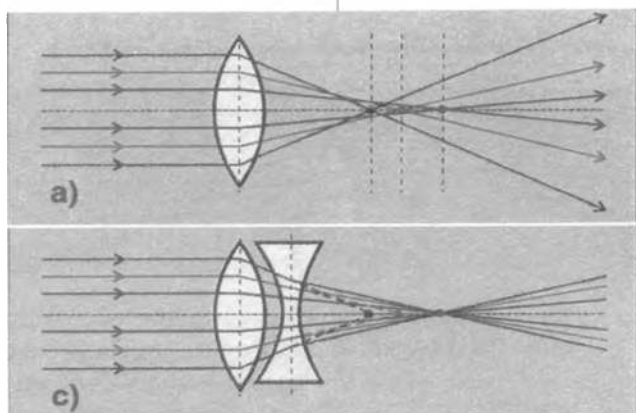
Другим распространенным недостатком линз является *сферическая аберрация*, возникающая в результате того, что периферия линзы преломляет лучи света сильнее, чем центральная ее часть. В результате свет звезд, прошедший близко от края линзы или зеркала и близко от центра объектива, не собирается в одну и ту же точку (см. рис. справа вверху). Особенно характерен этот недостаток для толстых линз. Этот дефект исправляется путем комбинации собирающей и рассеивающей линз, изготовленных из различных сортов стекла. Также для устранения сферической аберрации в телескопах (как внутри трубы телескопа, так и внутри окуляра) устанавливают узкие отверстия (диафрагмы), устраняющие рассеянный свет и ограничивающие поле зрения.

Для уменьшения аберраций в телескопах окуляры изготавливаются составными, как правило, из двух линз. Передняя линза называется *полевой*, а задняя — *глазной*. Обычно применяются окуляры двух типов (см. рис. справа):

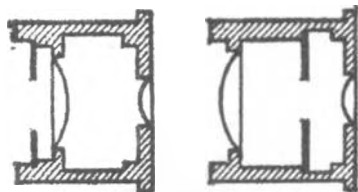
- **положительный**, в котором передний фокус находится перед полевой линзой и создаваемое объективом изображение расположено между нею и объективом;
- **отрицательный**, в котором полевая линза расположена таким образом, что совместный фокус объектива и этой линзы находится внутри окуляра, то есть между полевой линзой и глазной.

В *телескопе-рефлекторе* главным конструктивным элементом является хорошо отполированное стеклянное или металлическое вогнутое зеркало (объектив), расположенное в нижней части открытой трубы. Когда свет от наблюдаемого объекта попадает на это зеркало, оно отражает его обратно вдоль трубы, чтобы построить изображение в *главном фокусе* (см. рис. справа внизу).

Если в главном фокусе рефлектора разместить дополнительные зеркала, то они переотразят свет в окуляр, делая его доступным для наблюдения простым глазом. Также в главном



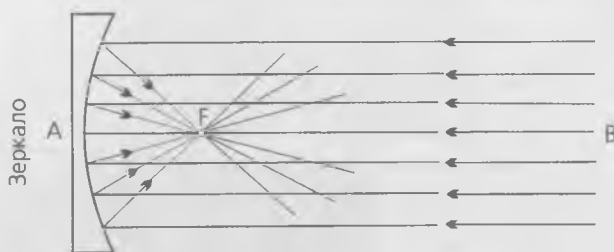
Виды сферической аберрации:
а) сферическая аберрация собирающей линзы;
б) исправление сферической аберрации линзы

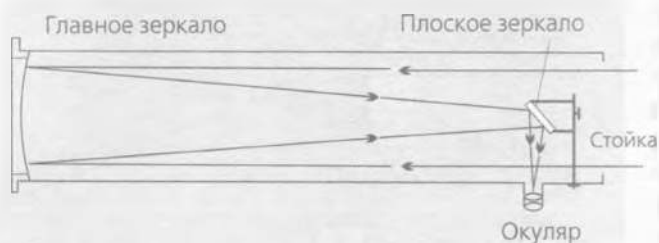


Схемы устройства окуляров

Большинство окуляров, применяющихся в телескопах, создают перевернутое изображение.

Отражение лучей от параболического зеркала





Ход лучей в рефлекторе системы Ньютона

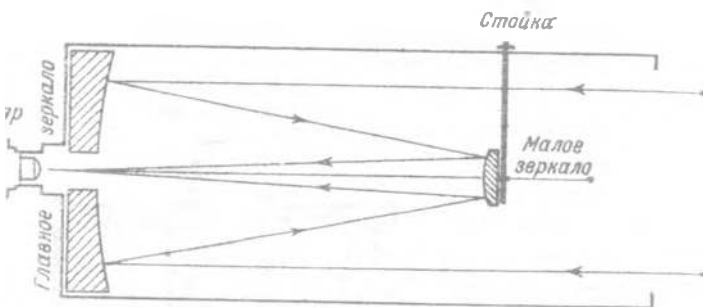
систем изобретена Исааком Ньютоном. В рефлекторах его системы применяется небольшое наклонное плоское диагональное зеркало для переотражения света в окуляр, расположенный на боковой поверхности трубы (см. рис. слева вверху).

В рефлекторах другой популярной системы — Кассегрена — небольшое выпуклое зеркало переотражает свет в отверстие,

фокусе можно разместить фотопленку, чтобы получить фотографическое изображение наблюдаемого объекта. В зависимости от того, как лучи выводятся из главного фокуса в объектив, рассматривают разные системы рефлекторов. Одна из наиболее популярных

имеющееся в центре главного зеркала, где и создается изображение наблюдаемого объекта (см. рис. слева).

По сравнению с телескопами-рефракторами рефлекторы обладают многими преимуществами. Главным отличием является отсутствие хроматической аберрации. Другое бесспорное достоин-



Ход лучей в рефлекторе системы Кассегрена

ство — простота изготовления зеркал.

Однако рефлектор не лишен существенных недостатков, главные из которых — так называемые внеосевые аберрации. В рефлекторах они проявляются в том, что только те лучи, которые параллельны главной оптической оси рефлектора, собираются в его главном фокусе в точку. Если же лучи не параллельны главной оптической оси, возникают сильные искажения

Одними из крупнейших в мире телескопов-рефлекторов являются два телескопа Кека, расположенные на Гавайях. Кек-I и Кек-II имеют эффективный диаметр зеркала 9,8 м. Телескопы расположены на одной платформе и могут использоваться совместно в качестве интерферометра, давая разрешение, соответствующее диаметру зеркала 85 м.



изображений, гораздо более сильные, чем у рефрактора. Поэтому в рефлекторах поле зрения, свободное от искажений, значительно меньше, чем в рефракторках.

Другой недостаток заключается в том, что хотя зеркала и просты в изготовлении, но их поверхность необходимо покрывать специальным отражающим слоем, который с течением времени тускнеет и нуждается в восстановлении.

Еще один крупный недостаток рефлекторов в том, что центрировка зеркал время от времени нарушается и телескоп нужно снова настраивать.

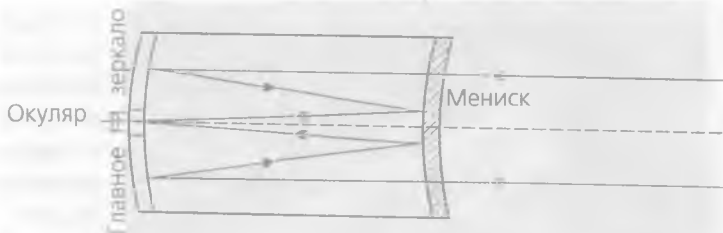
В попытке устранить хотя бы часть перечисленных недостатков разрабатывались различные комбинированные телескопы более сложных систем. Одну из наиболее удачных конструкций, называемую менисковым телескопом, разработал известный русский ученый Д.Д. Максутов. Достоинства телескопа Максутова в том, что он почти свободен от хроматической аберрации, имеет большое (по сравнению с другими рефлекторами) поле зрения и небольшую длину.

В этом телескопе лучи проходят через особую линзу с двумя сферическими поверхностями, направленными выпуклостью в одну сторону (называемую *мениском*), после чего попадают на сферическое вогнутое зеркало, от которого отражаются по направлению к мениску (см. рис. вверху). Небольшой участок на внутренней стороне мениска, покрытый отражающим составом, отражает лучи в обратном направлении. Затем лучи проходят сквозь центральное отверстие в зеркале и создают изображение.

Однозначно сказать, какой тип телескопа лучше — рефрактор или рефлектор, невозможно, поскольку в зависимости от сферы применения каждый телескоп будет иметь по сравнению с другим как достоинства, так и недостатки.

Любительские телескопы могут быть любой конструкции. Отличие в этом случае заключается лишь в том, что рефракторы требуют меньшего ухода, тогда как рефлекторы относительно дешевле и их легче изготовить.

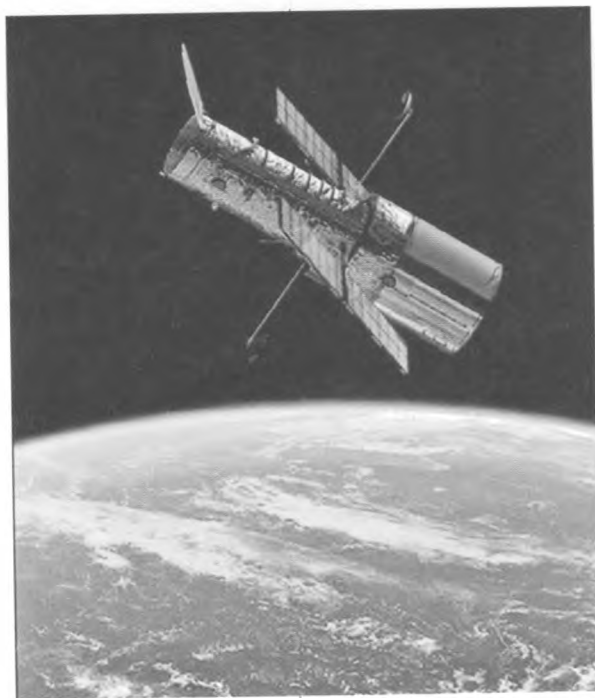
Если же речь идет о серьезных наблюдениях, то рефракторы больших размеров



Ход лучей в телескопе Максутова

БТА (большой телескоп азимутальный) обсерватории на г. Пастухова с диаметром зеркала 6 м — крупнейший в России и один из крупнейших рефлекторов в мире





Космический
телескоп «Хаббл»

Самым известным космическим телескопом является американский космический телескоп «Хаббл» диаметром 2,4 м, который был выведен на орбиту в 1990 г. Этот телескоп находится на круговой орбите высотой 610 км.

используются там, где наиболее важны качество изображения и разрешающая сила, например для наблюдения деталей на поверхности планет.

Рефлекторы с зеркалами больших диаметров (самый крупный рефлектор на г. Пастухова (Россия) имеет диаметр главного зеркала 6 м) используются для наблюдения очень слабых, удаленных на огромные расстояния оптических объектов. Кроме того, большие рефлекторы дешевле и легче построить, и в эксплуатации они оказываются более экономичными, чем рефракторы.

Существует несколько вариантов установки телескопа, отражающихся на конструкции штатива. Первый вариант — *азимутальная установка* — представляет собой треногу, на которой укреплена вертикальная ось с вилкой, поддерживающей горизонтальную ось: на ней и расположен телескоп. Благодаря возможности поворачивать телескоп вокруг обеих осей его легко навести на любую точку неба, кроме области, близкой к зениту. Неудобство подобной установки в том, что из-за наклона к плоскости горизонта суточной параллели, описываемой светилом, во время длительных наблюдений приходится поворачивать трубу вокруг обеих осей.

Второй, более популярный и удобный тип установки — *экваториальная (параллактическая) установка*. Она состоит из двух взаимно перпендикулярных осей, одна из которых расположена параллельно оси мира (так называемая *полярная, или часовая, ось*). Экваториальная установка удобнее азимутальной, поскольку после наведения телескопа на небесный объект наблюдатель, следя за ним, поворачивает инструмент только вокруг одной полярной оси.

С выходом человечества в космос астрономы получили возможность использовать орбитальные телескопы, которые расположены за пределами плотных слоев земной атмосферы. Космические телескопы обладают целым рядом преимуществ. Прежде всего, орбитальным телескопическим наблюдениям не мешает атмосфера, размывающая изображения. К тому же на орбите значительно ниже фон свечения ночного неба. Благодаря этому с помощью космических телескопов можно наблюдать очень слабые оптические объекты, недоступные наземным обсерваториям.

Спектрография

Как мы уже говорили, цвет небесного тела несет в себе информацию о его температуре. Но не только о ней. Изучение спектра звезд позволяет не только установить температуру на их поверхности, но также и сделать выводы относительно ряда других характеристик.

Для подобного спектрального анализа применяется специальный прибор, нередко используемый вместе с телескопом — *спектрограф*. Он состоит из коллиматорной линзы, призмы и зрительной трубы (см. рис. внизу). В обращенной к источнику света передней части коллиматорной линзы, в ее главном фокусе, установлена узкая щель, через которую в спектрограф попадает свет. Проходя через эту линзу, свет выходит в виде параллельного пучка лучей. Призма (или дифракционная решетка — оптическое приспособление для разложения света в спектр, представляющая собой совокупность большого количества параллельных щелей в непрозрачном экране либо отражающих зеркальных полосок, равноотстоящих друг от друга) разлагает этот свет на отдельные цвета, давая на выходе (в окуляре или на фотопластинке) полосу спектра.

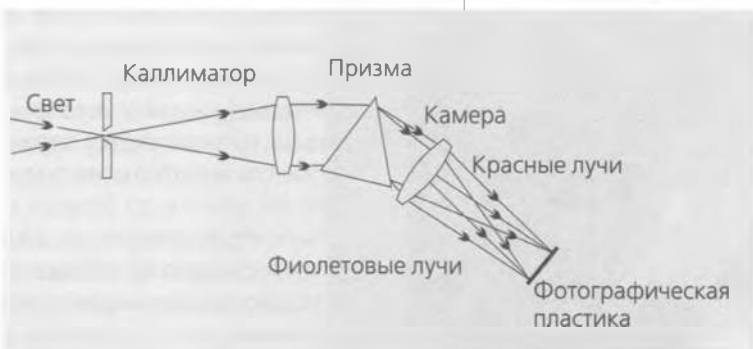
Существует три основных типа спектров: непрерывный, линейчатый и спектр поглощения.

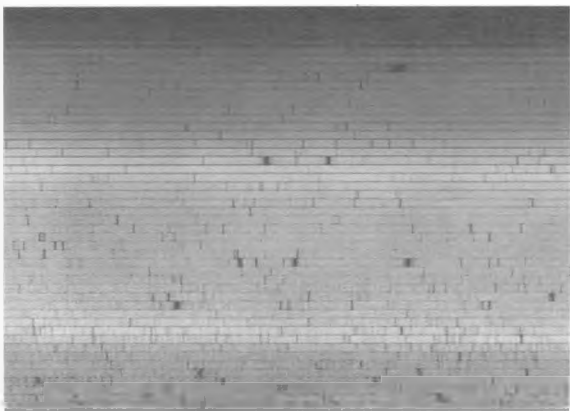
Непрерывный спектр выглядит непрерывной радужной полоской с постепенным переходом цветов от красного к фиолетовому и получается, когда источником света является твердое или жидкое раскаленное тело, очень сильно нагретый ионизованный или очень плотный светящийся газ.

Линейчатый спектр выглядит как совокупность отдельных узких разноцветных линий на черном фоне. Подобный спектр наблюдается у светящегося разреженного газа, и на основании анализа этих линий можно сделать вывод о химическом составе газа.

Спектр поглощения представляет собой радужную полоску, испещренную поперечными узкими темными линиями (линиями поглощения). Этот вид спектра наблюдается в том случае, когда между источником непрерывного спектра и наблюдателем расположен газ, более холодный, чем источник непрерывного спектра. При этом всякий газ поглощает только те лучи, которые он сам испускает в состоянии свече-

Схема спектрографа





Спектр Солнца. Темные полосы представляют собой свет, выходящий из внутренних слоев и поглощенный газом у поверхности Солнца. Разные химические элементы в составе газа поглощают свет разных цветов, поэтому по спектру мы можем определить, из каких химических элементов состоит газ на Солнце. Так, гелий был впервые открыт в 1870 г. именно в солнечном спектре.

Карл Янский



ния. Таким образом, анализируя спектр поглощения, можно установить состав газа, поглотившего часть лучей источника непрерывного спектра.

На основании спектрального анализа (расположения линий, их интенсивности и других особенностей) можно сделать вывод о целом ряде характеристик небесных тел: их плотности, химическом составе, наличии магнитного поля и многом другом.

В XIX в. был открыт принцип, согласно которому при движении источника света вдоль луча зрения спектральные линии смещаются: при приближении светящегося тела — к фиолетовому концу его спектра, при удалении — к красному, причем величина смещения зависит от скорости движения тела. На основании этого принципа, известного как принцип Доплера-Физо, анализ спектра небесных тел позволяет определить скорость их движения и скорости их вращения, а также дает возможность судить и о скорости некоторых процессов, происходящих на его поверхности или в его атмосфере.

Радиоастрономия

Несмотря на огромное значение для астрономии наблюдений в диапазоне видимого света, он не единственный источник наших знаний о Вселенной. В современной астрономии не менее важным является радиодиапазон. И, несмотря на то что способ исследования космоса с помощью радиоволн — *радиоастрономия* — возник сравнительно недавно, он уже зарекомендовал себя наилучшим образом.

Все началось в 1931 г., когда американскому инженеру Карлу Янскому случайно удалось обнаружить в коротковолновом диапазоне необычные шумы. В процессе наблюдений Янский установил, что мощность шумов изменяется с периодом в звездные сутки, из чего сделал вывод о космическом происхождении помех. Попытавшись определить источник сигнала, Янский обнаружил, что загадочная космическая «радиостанция» расположена в созвездии Стрельца, в направлении ядра нашей Галактики.

Несмотря на открытие радиоизлучения космических объектов, вплоть до Второй мировой войны радиоастрономия практически не развивалась. И лишь когда многие государства обзавелись разветвленной системой радиолокационных станций, началась эра радиоастрономии.

Существует ряд отличий между радиоволнами и видимым светом. Прежде всего, радиодиапазон значительно шире, чем диапазон видимого света. Как мы помним, в земной атмосфере существуют три «окна прозрачности» — видимого света, радио- и инфракрасного диапазонов. Так вот, в отличие от видимого света, диапазон которого ограничен участком с длиной волны от 4000 до 7000 Å, «радиоокно» лежит в пределах длин волн от 1,25 см (ультракороткие радиоволны) до 30 м.

Радиоволны, в отличие от видимого света, могут свободно проникать сквозь запыленную межзвездную среду. Благодаря этому астрономы смогли заглянуть в самые далекие и укромные уголки Вселенной, недоступные обычным телескопам. И, главное, радиоволны несут значительно больше информации о физических процессах, протекающих в космосе.

Радиоволны могут быть вызваны различными причинами. Одной из основных причин *теплового радиоизлучения* является тепловое движение частиц излучающего тела. При этом интенсивность теплового излучения различна в разных участках спектра в зависимости от температуры тела: с ее уменьшением падает общая интенсивность излучения, а максимум интенсивности смещается в сторону более длинных волн.

Причиной радиоизлучения, называемого *нетепловым радиоизлучением*, является торможение сверхбыстрых электронов под действием магнитных сил.

Основной инструмент радиоастрономии — *радиотелескоп*, представляет собой устройство, в простейшем варианте состоящее из параболического зеркала (собирателя излучения) и приемника излучения. Электромагнитное излучение, приходящее из космоса, отражается от поверхности зеркала радиотелескопа и собирается в его фокусе, где и располагается приемник сфокусированных радиоволн — облучатель (антенна небольших размеров). Из этого приемника излучения полученный сигнал передается в компьютер, который преобразует электронные сигналы в оптическое изображение радиоисточника.

Зеркало радиотелескопа, или его антенна, может быть сплошным или решетчатым. В отличие от зеркала оптического рефлектора, для антенн радиотелескопов не столь важна точность шлифовки поверхности, поэтому размеры радиотелескопов значительно превышают размеры телескопов-рефлекторов.

Установка радиотелескопа может быть подвижной и неподвижной. При неподвижной антенне телескоп направлен в определенный участок на небе, через который благодаря суточному вращению

На выставке в Кембридже, посвященной радиоастрономии, популярностью пользовался экспонат в виде стопки бумажных листов с надписью: «Взяв со стола эту бумажку, вы затратили больше энергии, чем радиотелескопы всего мира приняли за всю историю радиоастрономии».

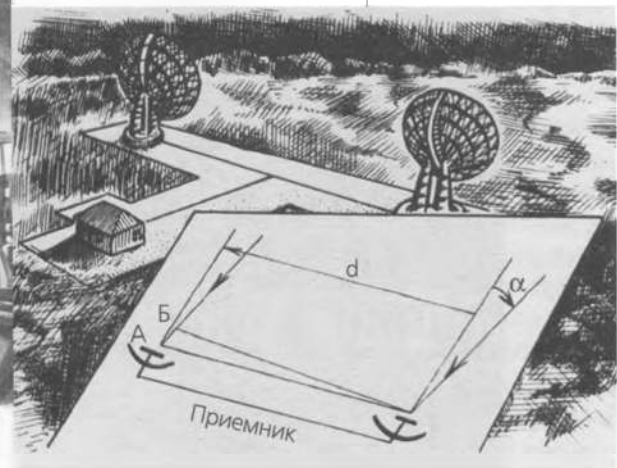
Переносной радиотелескоп обсерватории Венского университета





Самая большая в мире чаша радиотелескопа имеет диаметр 300 м. Она построена в естественном углублении — в горах около Аресибо (Пуэрто-Рико). Самые большие радиотелескопы классической конструкции с единой полноповоротной чашей поперечником в 100 м действуют в обсерваториях Грин Бэнк (США) и Эф-фельдберг (Германия).

Схема радиоинтерферометра (d — его база, т. е. расстояние между радиотелескопами, угол φ характеризует направление на источник)



Земли за 24 часа проходит целая полоса небесной сферы.

Недостатком неподвижных радиотелескопов является то, что для наблюдения доступен ограниченный участок неба. Кроме того, из-за вращения Земли даже тот участок небесной сферы, что доступен для наблюдения, очень быстро покидает зону приема.

Подвижная установка радиотелескопа представляет собой полноповоротную антенну, которую можно направлять в любую точку видимой части небесной сферы (так называемая *параллактическая установка*).

Существуют также варианты подвижной установки, когда антенна поворачивается только вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

Чтобы увеличить разрешающую способность радиотелескопов, применяется метод, называемый *апертурным синтезом*, который позволяет объединить наблюдения двух или более радиотелескопов, расположенных на большом расстоянии друг от друга. Этот метод основывается на явлении интерференции электромагнитных волн.

Самым простым радиотелескопом, использующим этот принцип, является двухантенный *радиоинтерферометр*, представляющий собой комбинацию из двух радиотелескопов (см. рис. слева).

Сигналы, принятые обеими антеннами, передаются на общее приемное устройство, где они подвергаются совместной обработке и сравнению. Наблюдения на радиоинтерферометре позволяют получать результаты, эквивалентные радионаблюдениям с помощью одной антенны очень больших размеров.

В некоторых случаях одну из антенн двухантенного интерферометра делают подвижной, что позволяет в процессе наблюдений менять длину базы интерферометра. После суммирования произведенных наблюдений получается результат, аналогичный тому, который мог быть получен с помощью цепочки неподвижных антенн того же размера.

Сегодня широко применяются многоантенные интерферометры, представляющие собой цепочку или несколько параллельных цепочек антенн. Например, в Нью-Мексико расположен основной инструмент Национальной радиоастро-

номической обсерватории (США) — *Большая антенная система (VLA)*, состоящая из 27 подвижных 25-метровых радиочаш. Во время работы они могут быть размещены на 72 наблюдательных станциях и образовывать 351 двухантенную комбинацию.

Для еще большего увеличения разрешающей способности радиоинтерферометров используют метод *радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ)*, который объединяет наблюдения, выполненные на двух или более радиотелескопах, разнесенных на огромные расстояния друг от друга (например, расположенных на разных континентах).

Поскольку на Земле при создании радиоинтерферометров со сверхдлинными базами астрономы ограничены размерами нашей планеты, то для большего увеличения базы ученые решили одну из антенн вынести в космос. Рассматриваются проекты создания внеземных интерферометров, где одна из антенн будет расположена на поверхности Луны, а другая на Земле.

Все рассмотренные нами до этого методы радиоастрономии относятся к *пассивным* методам и по сути заключаются в приеме и анализе радиоволн, приходящих из космоса.

Существует и вторая группа методов — *активная радиоастрономия*, представляющая собой радиолокацию (ее еще называют *радиолокационной астрономией*).

Радиолокация заключается в том, что от мощного радиопередатчика посылается радиоволна, которая, достигнув цели, отражается от нее и, ослабленная, возвращается в исходную точку. Принимая отраженные радиосигналы, астрономы по их запаздыванию оценивают расстояние до цели и его свойства. Вначале радиолокация была применена для исследования метеоров, а впоследствии — для изучения Луны, Венеры, Меркурия, Марса, Солнца и астероидов.

Инфракрасная астрономия

Точкой отсчета для инфракрасной астрономии, то есть астрономии, использующей излучение с длиной волны от 0,74 мкм до 1–2 мм, стал 1800 г., когда Вильям Гершель открыл инфракрасные лучи, которые он сам называл «тепловыми лучами».

Спустя 40 лет, в 1840 г., Джон Гершель с помощью булмага, пропитанной спиртом с растворенными в нем частичками сажи, впервые получил инфракрасную фотографию



Большая антенная система VLA. Нью-Мексико

Применение РСДБ дало возможность получить разрешающую способность радиоприемных систем, равную одной десяти тысячной секунды дуги, что в 10 тысяч раз превосходит разрешающую способность оптических телескопов.

А. Шалон. Портрет Джона Гершеля. 1829 г.





Центр галактики Млечный Путь. Снимок в инфракрасном диапазоне получен космическим телескопом «Спитцер»

Для большей четкости приема инфракрасные телескопы больших размеров располагают на вершинах высоких гор, где толщина атмосферы минимальна и воздух очень сухой (дело в том, что водяной пар, содержащийся в атмосфере, сильно поглощает инфракрасное излучение). Меньшие телескопы помещают на самолетах, воздушных шарах, ракетах и космических аппаратах.

Солнца. Инфракрасные лучи выпарили спирт, оставив на бумаге нечеткий рисунок.

В основе современных инфракрасных телескопов лежат рефлекторы со специальными приемниками теплового излучения в главном фокусе. Широко применяют *квантовые*, или *фотопроводниковые*, приемники инфракрасного излучения, изготовленные на основе кристаллов, обладающих свойствами полупроводников. Когда на них падают невидимые инфракрасные лучи, кристаллы нагреваются, их про-

водимость меняется, что и фиксируется специальными измерительными приборами.

Источниками инфракрасного излучения являются тела, обладающие температурой от 20 до 5000 К (К, кельвин — единица измерения, по размеру равная градусу Цельсия, в температурной шкале, точкой отсчета в которой является температура абсолютного нуля $-273,15^{\circ}\text{C}$). Источниками инфракрасного излучения является большинство космических объектов. Подобно радиоволнам, инфракрасное излучение обладает высокой проникающей способностью, хорошо проходит сквозь пыль и газ, заполняющие межзвездное пространство.

Исследования в инфракрасном диапазоне дают возможность получать очень важную информацию об атмосферах планет Солнечной системы, о свойствах лунной поверхности, о пылевых туманностях и многом другом. Важнейшую информацию инфракрасное излучение несет о целом ряде космических объектов, которые не видны в других диапазонах электромагнитных волн. Прежде всего, речь идет о загадочных объектах, излучающих в инфракрасном диапазоне, природа и происхождение которых пока неизвестны. Например, вблизи центра Галактики найден очень небольшой (диаметром в 0,3 светового года), но очень мощный инфракрасный источник, поток излучения от которого в 300 000 раз превышает по интенсивности общее излучение Солнца. Не меньшую загадку представляют и квазары (звездopodobные объекты), инфракрасное излучение которых по мощности не уступает их излучению в других диапазонах.

Инфракрасное излучение занимает важную роль в изучении холодных звезд. Кроме того, именно в инфракрасном диапазоне лучше всего видно ядро Галактики — центральная часть нашей звездной системы.

Астрономия высоких энергий

Одной из самых молодых областей наблюдательной астрономии является астрономия высоких энергий, которая исследует Вселенную с помощью трех типов излучений — **ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения**.

Двигаясь по электромагнитному спектру от радиоизлучения к излучению с меньшей длиной волны, после видимого света мы оказываемся в области **ультрафиолетового излучения** с длинами волн от 4000 до 100 Å.

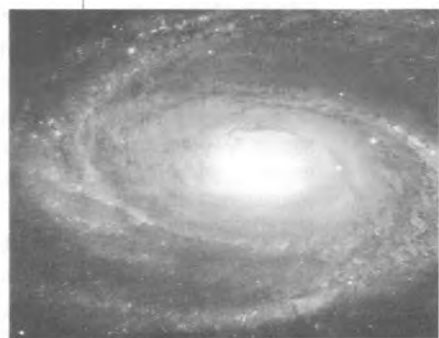
Озоновый слой атмосферы Земли поглощает УФ-излучение с длинами волн меньшими, чем 3000 Å, и сквозь земную атмосферу проникает лишь очень небольшая доля ультрафиолетового излучения. Поэтому большинство УФ-телескопов вынесены за пределы Земли. «Долгожителем» среди них стал космический телескоп IUE (International Ultraviolet Explorer) с диаметром зеркала 45 см, который был запущен на орбиту в 1978 г. и проработал 18 лет. За время его работы было получено около 100 000 спектров звезд, планетарных и диффузных туманностей, галактик, планет.

Основным источником ультрафиолетового излучения для Земли служит Солнце, у которого на УФ-диапазон приходится около десятой доли энергии. Среди других космических объектов, излучающих волны в этом диапазоне, особый интерес представляют горячие звезды. Например, в УФ-лучах самой яркой звездой является не Сириус, а ζ Кормы (Южное полушарие), тогда как в Северном полушарии сияет ζ Ориона, самая восточная звезда в его поясе.

В УФ-диапазоне активно излучают туманности, например туманность в созвездии Ориона, которая в ультрафиолетовых лучах выглядит в несколько раз больше, чем в оптическом диапазоне. Потрясающее зрелище представляет собой исполинская ультрафиолетовая туманность, окутывающая Спикку (α Девы). В УФ-диапазоне она выглядит очень яркой, почти круглой, с поперечником в 50 раз большим видимого диаметра полной Луны.

Кроме того, в УФ-диапазоне обнаружены темные пятна в атмосфере Венеры. Причем период вращения планеты, определяемый по смещению этих пятен, совсем не похож на тот, который получен средствами радиолокации.

Область еще более коротковолновых излучений и более высоких энергий — **рентгеновский диапазон** электромагнитных волн, область примерно от 100-120 до 0,1 Å. В рентгеновском и гамма-диапазоне в качестве основной характеристики обычно используют не длину волны, а энергию —



Галактика М 81 в ультрафиолетовом (вверху) и оптическом (внизу) диапазонах

1 электронвольт (эВ) — энергия, которую приобретает электрон при свободном движении между точками электрического поля с разностью потенциалов, равной 1 вольту (1 В). Эта энергия равна $1,6 \times 10^{-19}$ Дж.

Галактика Сомбреро. Изображения получены тремя космическими телескопами в разных диапазонах электромагнитного спектра. Голубое изображение (обсерватория «Чандра», рентгеновские лучи) свидетельствует о присутствии разреженного горячего газа. На зеленом (оптический снимок телескопа «Хаббл») видно наиболее знакомое свечение звезд Сомбреро. На желтом изображении (инфракрасный телескоп «Спитцер») светится широкая полоса пыли, которая поглощает свет во всех остальных спектральных диапазонах.



рентгеновские фотоны (кванты электромагнитного излучения) имеют энергию от 100 эВ до 100 кэВ. Этот диапазон делится на две части: *мягкое* (< 1 кэВ) и *жесткое* (> 1 кэВ) рентгеновское излучение.

Физические процессы, связанные с высокой температурой (в миллионы градусов), как правило, сопровождаются рентгеновским излучением. Примером подобного процесса является излучение очень горячей разреженной плазмы (например, солнечная корона — горячая разреженная внешняя оболочка Солнца), в которой быстро движущиеся свободные электроны, тормозясь в электрическом поле протонов, излучают электромагнитные кванты (тормозное излучение). Согласно расчетам, при температуре плазмы от 10 до 500 млн кельвинов (К) генерируется рентгеновское излучение с длиной волны от 1 до 10 Å.

Рентгеновское излучение может также возникать вследствие так называемого *обратного комптон-эффекта*. Обычный комптон-эффект наблюдается при взаимодействии рентгеновского фотона с неподвижным электроном. При этом фотон передает электрону часть своей энергии, электрон приходит в движение, а вместо прежнего фотона возникает новый с меньшей частотой. Обратный эффект возникает тогда, когда электрон обладает большей энергией, чем фотон. В результате взаимодействия дополнительную энергию получает фотон, и происходит рождение рентгеновских фотонов.

Еще одним источником рентгеновского излучения, не связанным с высокими температурами, является *синхротронное* (магнитотормозное) излучение. Заряженные частицы в магнитном поле движутся вдоль направления поля по винтовым траекториям. То есть под действием внешнего магнитного поля траектория движения частицы искривляется в соответствии с правилом левой руки. Чем выше напряженность магнитного поля, тем меньше радиус витка такой спирали. А сама частица, движущаяся по криволинейной траектории, отдает свою энергию в виде электромагнитного излучения, в том числе рентгеновского.

Один из основных источников рентгеновского излучения системы из двух звезд (обращающихся вокруг общего центра масс), является *нейтронная звезда*.

В такой системе нейтронная звезда, обладающая чрезвычайно мощным полем тяготения, «всасывает» вещество соседней «нормальной» звезды, разгоняя при этом ее частицы до скоростей, достигающих 0,4 скорости света. При столкновении частиц с поверхностью нейтронной звезды их кине-

тическая энергия переходит в тепловую, температура значительно возрастает, порождая рентгеновское излучение.

По предположениям ученых, рентгеновское излучение может возникать и в двойных системах, где одним из компонентов является *черная дыра*, вокруг которой вещество, перетекающее от нормальной звезды, образует горячий плазменный диск, который излучает в рентгеновском диапазоне.

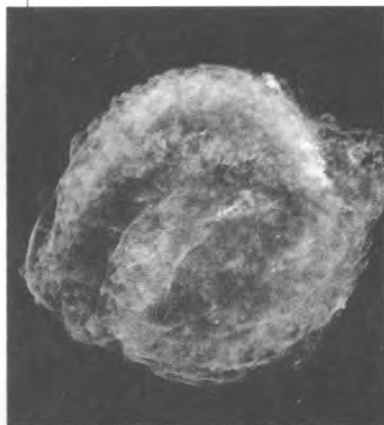
В рентгеновском диапазоне излучают расширяющиеся газовые оболочки сверхновых звезд, с огромной скоростью рассеивающиеся в космическом пространстве. Утратив внешние газовые оболочки, такие звезды резко сжимаются и превращаются в сверхплотные нейтронные звезды диаметром порядка 10 км и плотностью, близкой к плотности нейтронов.

Наиболее известные сверхновые, излучающие в рентгеновском диапазоне, располагаются: одна в созвездии Тельца (в крабовидной туманности), другая — в созвездии Скорпиона. В созвездии Скорпиона сверхновая звезда вспыхнула в 827 г., и эта вспышка была зафиксирована в арабских летописях. В созвездии Тельца вспышка сверхновой звезды произошла в 1054 г., что было отмечено китайскими и японскими летописцами.

Мощное рентгеновское излучение генерируют квазары (подробнее о них мы поговорим чуть позже), и нередко именно наблюдения в рентгеновском диапазоне обнаруживают эти объекты. Дело в том, что на обычных фотографиях квазары выглядят точно так же, как обыкновенные звезды, но на изображениях тех же участков звездного неба, полученных с помощью рентгеновских телескопов, квазары отчетливо выделяются, поскольку интенсивность их рентгеновского излучения намного превосходит рентгеновское излучение звезд.

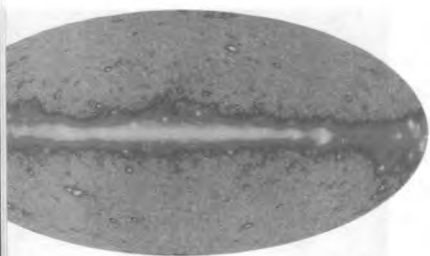
Еще одним источником рентгеновского излучения является разреженный межгалактический газ, заполняющий пространство между галактиками в скоплениях этих звездных систем.

Для приема мягкого рентгеновского излучения обычно используются *полупроводниковые матричные детекторы*, а для жесткого — *сцинтилляционные* и *газовые ионизационные*. Сцинтилляционный представляет собой кристалл, за которым находятся фотоумножители. Когда в кристалл попадает рентгеновский фотон, возникает световая вспышка, которая регистрируется при помощи фотоумножителя. Газовый ионизационный детектор представляет собой трубку с газом, в который введены электроды, — на них подается напряжение. Под действием рентгеновского фотона происходит ионизация и появляется импульс тока, который регистрируется.

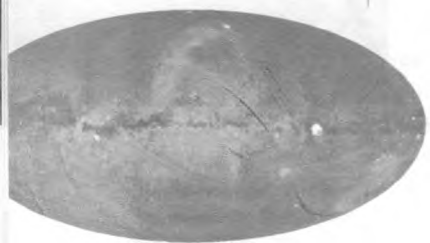


Сверхновая Кеплера в рентгеновском диапазоне. Снимок орбитальной обсерватории «Чандра».

Туманность необычной формы — результат взрыва звезды, известной как сверхновая Кеплера. Свет от взрыва впервые увидели на Земле в октябре 1604 г. как яркую новую звезду в созвездии Змееносец. Астроном Иоганн Кеплер и его современники исследовали ее без помощи телескопа. В распоряжении астрономов XXI в. — орбитальные космические телескопы, позволяющие наблюдать остаток сверхновой Кеплера во всех спектральных диапазонах. Это позволило установить, что, скорее всего, там взорвался белый карлик, масса которого в результате аккреции вещества со звезды-спутника превысила предел Чандрасекара.



А



Б



В

Звездное небо, увиденное в разных диапазонах:

А — гамма

Б — рентгеновском

В — оптическом

Для приема рентгеновского излучения применяются так называемые *телескопы косого падения*, в которых проходящее рентгеновское излучение падает под очень косыми углами ($> 80^\circ$ к нормали). При меньших углах падения рентгеновские лучи попросту не отражаются от зеркала телескопа, а проходят сквозь него благодаря своей достаточно высокой проникающей способности.

Для получения изображения в рентгеновском диапазоне используется также *камера-обскура*.

Благодаря развитию **гамма-астрономии** в последние годы астрономы получили очень интересные данные о физических процессах в космосе. Как мы помним из курса физики, гамма-излучение — это коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны менее 10^{-10} см и энергией в сотни и более кэВ. При этом различают гамма-кванты *малых энергий* от 100 кэВ до 10 МэВ, *высоких энергий* — до нескольких ГэВ ($1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$) и *сверхвысоких энергий* — до 10^{12} эВ и выше. На шкале электромагнитных волн гамма-лучи соседствуют с жестким рентгеновским излучением.

Гамма-излучение возникает при распадах радиоактивных ядер, элементарных частиц, при аннигиляции пар частица-античастица, а также при прохождении быстрых заряженных частиц через вещество.

Гамма-излучение обладает высокой проникающей способностью, то есть может проходить сквозь межзвездную среду, газо-пылевые облака без заметного ослабления.

Гамма-лучи распространяются практически прямолинейно, приходят к нам от весьма удаленных объектов и несут ценнейшую информацию о различных космических явлениях.

Источником космического гамма-излучения является *диффузный фон* гамма-излучения нашей Галактики, причем особенно интенсивное излучение идет из района галактического центра. Другим источником гамма-лучей является *внегалактическое* гамма-излучение. Существует также несколько десятков отдельных источников гамма-излучения — так называемые *гамма-звезды*, часть из которых обладают пульсирующим характером. Также иногда на небе возникают очень яркие вспышки гамма-излучения неуставленной природы.

Гамма-телескопы расположены и на Земле, и на космических аппаратах — как орбитальных, так и удаленных. Гамма-излучение фиксируется специальными детекторами, например, черенковскими счетчиками. В них гамма-квант, встречаясь с электроном, передает ему свою энергию, а быстро движущийся в прозрачном веществе электрон рождает вспышку света (эффект Черенкова — Вавилова), которая и регистрируется фотомножителем.

Нейтринная астрономия

Самой молодой отраслью наблюдательной астрономии является *нейтринная астрономия*, в которой источником информации о процессах, происходящих во Вселенной, являются элементарные частицы *нейтрино*.

Эти частицы возникают при радиоактивном β -распаде, когда ядро одного химического элемента испускает электрон и превращается в ядро другого химического элемента. Нейтрино не имеет электрического заряда и очень слабо взаимодействует с веществом, участвуя только в так называемых слабых физических взаимодействиях. Эта частица не вступает ни в электромагнитные, ни в ядерные взаимодействия.

Из-за невероятной проникающей способности нейтрино нейтринные детекторы располагают глубоко под Землей. Этого хватает, чтобы экранировать их от других видов космического излучения, но совершенно не ослабляет приходящие потоки нейтрино (ученые рассчитали, что для полной защиты от потока нейтрино нужно было бы расположить один за другим 10 млрд земных шаров!). Поэтому нейтринные детекторы состоят из огромных количеств вещества «мишени» (вода, соединения хлора, галлий, литий и др.), в котором идут ядерные реакции с участием нейтрино и порождаемых ими вторичных частиц. Продукты реакций извлекаются химическим путем или наблюдаются непосредственно.

Основным источником уловленных нейтрино является Солнце. Но не так давно на пределе чувствительности были зарегистрированы нейтрино от сверхновой в Большом Магеллановом Облаке вскоре после ее вспышки. В современной астрономии появление нейтрино рассматривается как свидетельство рождения нейтронной звезды.

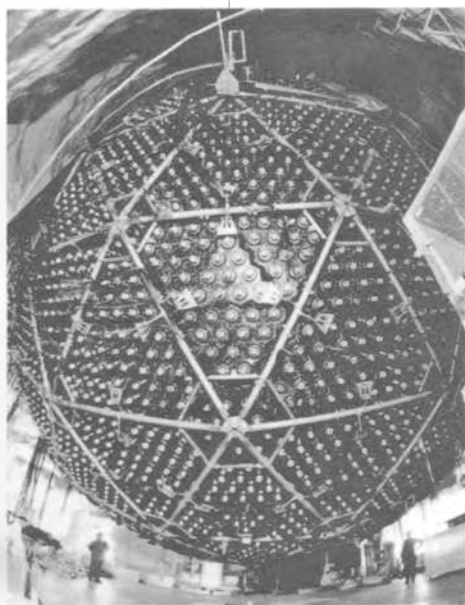
По мнению ученых, кратковременные нейтринные вспышки могут происходить на последней стадии жизни массивных звезд, когда «умирающая» звезда катастрофически сжимается и превращается в черную дыру.

Важнейшей задачей нейтринной астрономии является разработка методов регистрации так называемых *реликтовых нейтрино*, родившихся на самых ранних стадиях существования нашей Вселенной.

Естественно, что информация о подобных процессах является просто бесценной, поэтому нейтринная астрономия имеет блестящие перспективы.

Наименование «нейтрино» предложил знаменитый итальянский физик Энрико Ферми, по-итальянски это слово означает «маленький» и «нейтральный».

Нейтринный детектор в Садбери (Канада). Гигантская 12-метровая сфера, заполненная тяжелой водой, расположена на глубине двух километров. С помощью этого детектора астрофизики изучают нейтрино, приходящие из недр Солнца, и надеются обнаружить другие источники, находящиеся глубоко во Вселенной.



Глава 3

Солнечная система

Особенности движения планет

Солнечная система состоит из центральной звезды — Солнца, восьми планет с их спутниками (раньше считалось, что планет девять, но решением МАС в 2006 г. из списка убрали Плутон, который по многим своим характеристикам не подходит под гордое звание планеты), тысячи астероидов (малых планет), комет и частичек космической пыли.

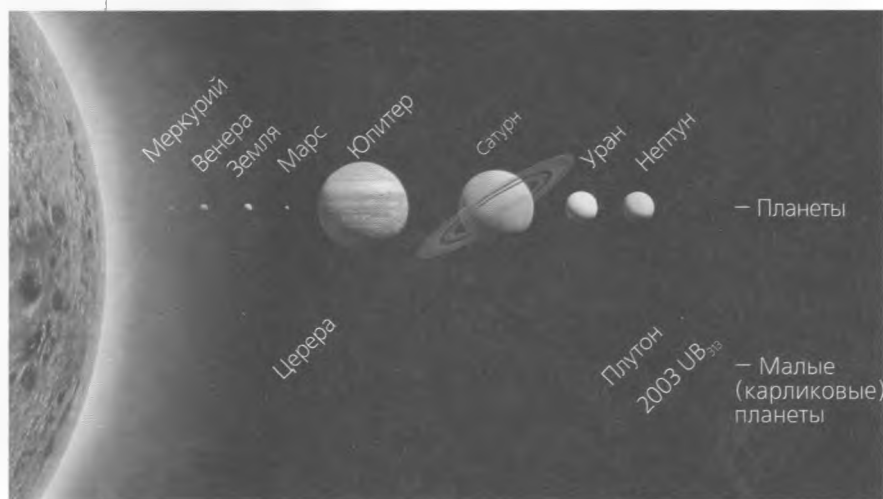
Все перечисленные тела Солнечной системы удерживаются вместе притяжением Солнца и движутся вокруг него в соответствии с тремя законами Кеплера, которые были обобщены Ньютоном на основе его теории тяготения.

Первый закон Кеплера гласит, что каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Как известно из геометрии, эллипсом называется плоская замкнутая кривая, при этом сумма расстояний каждой ее точки от двух точек, называемых фокусами, остается постоянной. Эллипс имеет две полуоси — большую a и малую b . Фокусы F_1 и F_2 располагаются на большой оси, симметрично относительно центра O (см. рис. на с. 127). Расстояние от фокусов до центра эллипса определяется по формуле:

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}.$$

Схема Солнечной системы



Степень вытянутости эллипса определяется его **эксцентриситетом**, который равен отношению расстояния фокуса от центра к длине большей полуоси:

$$e = c/a.$$

Солнце находится в одном из фокусов эллиптической орбиты, и поэтому расстояние планеты от Солнца — радиус-вектор r — периодически изменяется с периодом P , равным периоду обращения планеты вокруг Солнца. Ближайшая к Солнцу точка орбиты P называется **перигелием**, а самая далекая от него точка A называется **афелием**. Прямая линия, проходящая через перигелий, Солнце и афелий, называется **линией апсид**.

Орбиты большинства планет представляют собой эллипсы, мало отличающиеся от окружностей, и поэтому их эксцентриситеты малы (например, у Земли $e = 0,017$). У большинства комет эксцентриситеты приближаются к 1. Если же эксцентриситет ≥ 1 , то такая орбита становится разомкнутой кривой. При $e = 1$ это парабола, при $e > 1$ — гипербола.

Второй закон Кеплера говорит, что при движении планеты по эллипсу ее скорость изменяется таким образом, что радиус-вектор, проведенный от Солнца к планете, описывает равные площади за равные промежутки времени.

Так как за равные промежутки времени проходятся равные площади, то в перигелии скорость планеты максимальная, а в афелии она достигает своего наименьшего значения.

Третий закон Кеплера устанавливает связь между периодом T , за который планета совершает один полный оборот по орбите, и большой полуосью эллипса a : для всех планет Солнечной системы отношение $a^3 : T^2$ одинаково.

Таким образом, видно, что первый закон Кеплера определяет форму орбиты, второй показывает, как движется планета по орбите, а третий сравнивает орбитальное движение разных планет.

Но описания механизма движения явно недостаточно, необходимо знать, почему они движутся именно таким, а не иным образом. Из первого закона Ньютона следует, что, если планета не движется по прямой линии с постоянной скоростью, значит, на нее действует некая сила. Но как установить величину и направление этой силы? На этот вопрос можно ответить благодаря

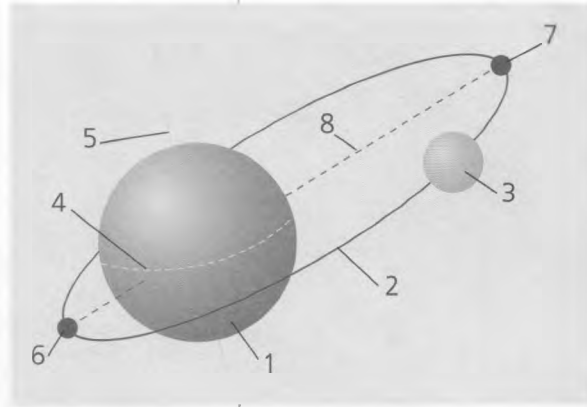
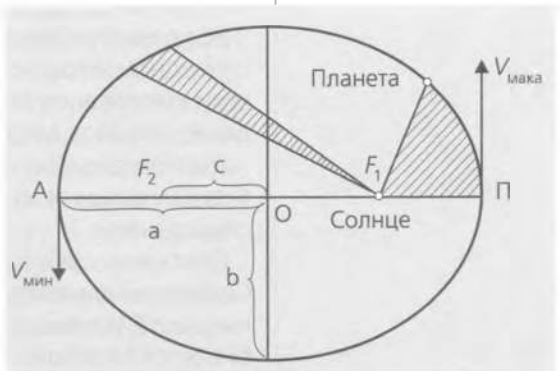
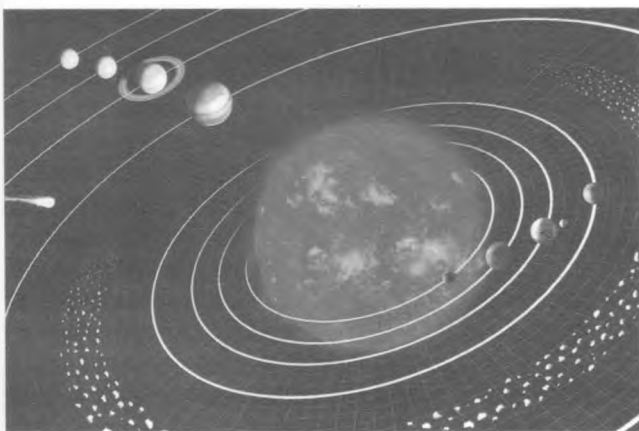


Иллюстрация первого закона Кеплера для системы из 2 небесных тел (Земля — спутник):

- 1 — Земля
- 2 — орбита спутника
- 3 — спутник Земли
- 4 — линия земного экватора
- 5 — ось вращения Земли
- 6 — перигей
- 7 — апогей
- 8 — линия апсид

Эллиптическая орбита и неравномерность движения планеты по ней





Планеты удерживает на их орбитах притяжение к Солнцу

второму закону Ньютона, который гласит, что сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этой силой ускорение. Зная ускорение планеты, движущейся согласно законам Кеплера, мы сможем определить и действующую на нее силу.

Ньютон установил, что ускорение планеты направлено к тому фокусу эллипса, в котором находится Солнце, а величина ускорения изменяется *обратно пропорционально* квадрату расстояния от планеты до Солнца. Эта за-

висимость получила название **закона обратных квадратов**.

Зная, что планета массой m_p имеет направленное к Солнцу ускорение, величина которого определяется законом обратных квадратов, и опираясь на законы Кеплера, Ньютон вывел свой знаменитый **закон всемирного тяготения**, объясняющий причину, по которой планеты движутся вокруг Солнца. Этот закон формулируется следующим образом: сила притяжения между двумя телами прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними

$$F_{AB} = Gm_A m_B / r^2,$$

где G — гравитационная постоянная,
 r — расстояние между телами A и B ,
 m_A и m_B — соответственно массы этих тел.

Таким образом, именно сила притяжения Солнца удерживает планеты,двигающиеся по криволинейным орбитам вокруг Солнца. А если говорить точнее, то комбинация прямолинейного движения по инерции и движения по направлению к Солнцу под действием силы гравитации удерживает планеты на орбитах вокруг Солнца.

Все планеты Солнечной системы обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении — против часовой стрелки, если смотреть со стороны Северного полюса Земли, и такое движение называется *прямым движением*.

Период обращения планет вокруг Солнца по отношению к звездам называется *звездным*, или *сидерическим*, *периодом обращения*.

Плоскость орбиты Земли, по которой она движется вокруг Солнца, называется *плоскостью эклиптики*. Орбиты всех планет расположены вблизи этой плоскости, и лишь Плутон выбивается из общей закономерности. Но, как мы уже говори-

ли, с 2006 г. Плутон не считается планетой.

Подобное расположение планет позволило астрономам выдвинуть теорию о происхождении Солнечной системы путем *аккреции* (конденсации) вещества, то есть образования всех планет и Солнца из вращающегося с запада на восток *первичного облака*.

Некоторые характерные взаимные расположения планет Земли и Солнца называют *конфигурациями планет*. Планеты, орбиты которых расположены ближе к Солнцу, чем Земля, называются *внутренними*, а все остальные — *внешними*.

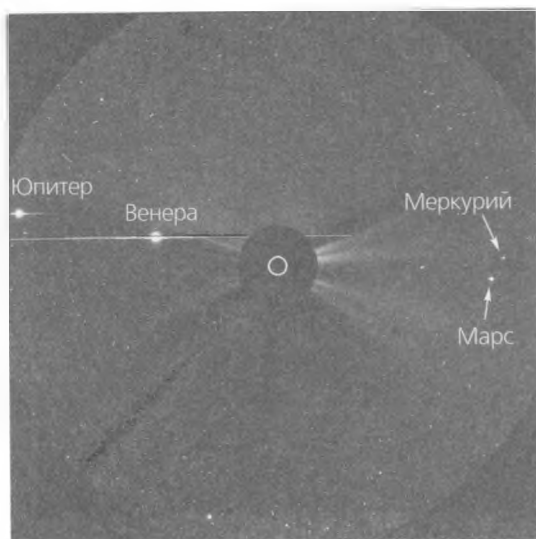
При этом условия видимости внешних и внутренних планет с Земли резко различаются. Внутренние планеты могут расположиться на прямой линии Земля — Солнце между Землей и Солнцем или за Солнцем. В этих положениях планеты будут невидимы, поскольку в первом случае они теряются в лучах Солнца, а во втором — Солнце их заслоняет. Такие положения называются *соединениями* планеты с Солнцем. В нижнем *соединении* планета ближе всего к Земле, а в *верхнем соединении* она от нас дальше всего (см. рис. вверху).



Конфигурации планет

Планеты — менее массивные и более холодные небесные тела, чем звезды. Размеры планет значительно меньше звезд, и поэтому в их недрах не начинается реакция ядерного синтеза. Планеты светят не собственным светом, а отраженным светом звезд.

Внешние планеты аналогично внутренним могут находиться по отношению к Земле за Солнцем (в соединении с ним). Но, в отличие от внутренних планет, они могут располагаться на продолжении прямой линии Земля — Солнце, так что Земля при этом оказывается между планетой и Солнцем. Такая конфигурация называется *противостоянием* и является наиболее удобной для наблюдений, поскольку в этот момент планета ближе всего к Земле и повернута к ней своим освещенным полушарием. Кроме того, в это время планета находится в верхней кульминации в полночь, поэтому большее время доступна для наблюдения.



На изображении, полученном с помощью коронографа космической обсерватории SOHO Юпитер, Венера, Марс и Меркурий запечатлены рядом с Солнцем. Положение Солнца отмечено белым кружком, размер которого соответствует размеру Солнца

Относительно земного наблюдателя внутренние планеты меняют свои фазы, подобно Луне. В нижнем и верхнем соединении с Солнцем планеты невидимы: в первом случае из-за того, что повернуты к нам своей неосвещенной стороной, а во втором хоть планета и обращена к нам своим дневным полушарием, но она теряется в солнечных лучах. На пути внутренней планеты от нижнего соединения к верхнему мы можем наблюдать увеличивающийся серп. Промежуток времени между повторениями одинаковых конфигураций планеты (например, между двумя противостояниями или двумя верхними соединениями) называется *синодическим периодом обращения*.

Чем ближе планета расположена к Солнцу, тем выше ее скорость относительно планет, расположенных дальше от нашего светила. То есть относительно внешних планет Земля движется быстрее. Поэтому *синодическим периодом* внешней планеты называется промежуток времени, по истечении которого Земля обгоняет планету на 360° при их движении вокруг Солнца. Синодический период определяется по формуле:

$$1/S = 1/T_{\text{Земли}} - 1/T_{\text{планеты}}$$

где S — синодический период планеты в сутках, $T_{\text{Земли}}$ — число суток в году, $T_{\text{планеты}}$ — звездный период обращения планеты в сутках. При этом для внутренних планет (то есть тех, которые движутся быстрее Земли) формула приобретает вид:

$$1/S = 1/T_{\text{планеты}} - 1/T_{\text{Земли}}$$

Как мы уже говорили, движение планет подчиняется законам Кеплера. Однако точное соблюдение этих законов возможно только тогда, когда рассматривают движение двух изолированных тел под влиянием их взаимного притяжения. Солнечная система, как и любая другая планетная или звездная система, включает множество тел с различными массами и, как следствие, с разными силами тяготения. Поэтому, рассматривая движение планет в Солнечной системе, астрономы отметили ряд отклонений от предписанного им законами Кеплера движения. В астрономии подобные отклонения от движения, которое происходило бы строго по законам Кеплера, называются *возмущениями*. Благодаря силе притяжения Солнца, которая значительно превышает притяжение других

тел, в Солнечной системе возмущения невелики. Самые сильные возмущения в движение тел Солнечной системы (особенно астероидов и комет) вносит планета Юпитер, которая примерно в 300 раз массивнее Земли.

Прежде чем переходить непосредственно к характеристике планет и других тел Солнечной системы, упомянем следующий факт. Меркурий, Венера, Земля и Марс имеют сходные физические и орбитальные характеристики и называются планетами *земной группы*. Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун также сходны между собой, и их объединяют под названием *планеты-гиганты*, или же *планеты группы Юпитера*. Плутон по своим характеристикам не вписывается ни в одну из этих групп.

Земля и Луна

Начнем наше рассмотрение тел Солнечной системы с нашей родной планеты Земля и ее единственного спутника Луны.

Земля — это третья по счету планета от Солнца. По предположениям ученых, наша планета образовалась около 4,6 млрд лет назад. Она возникла вместе с другими планетами и Солнцем из одного сжимающегося газо-пылевого облака. У нее не было законченной формы, но по мере конденсации вещества Земля начала принимать сфероидную форму.

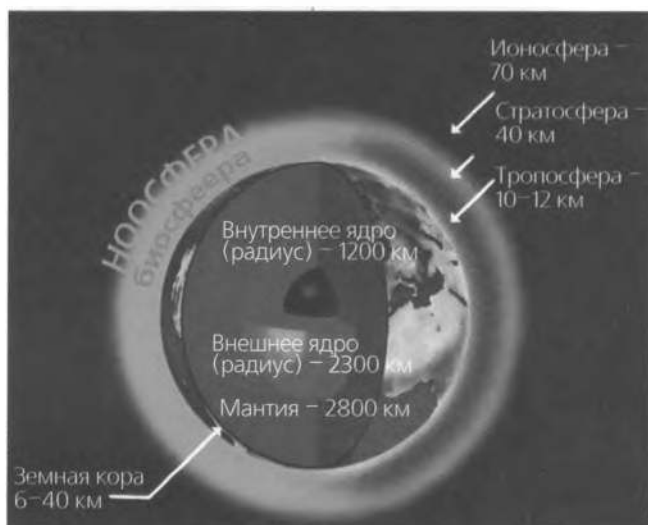
Согласно распространенной гипотезе, примерно 300 млн лет назад суша по обе стороны Атлантики была объединена в единый материк — *Пангею*. 50 млн лет назад Пангея раскололась на отдельные части, которые стали современными материками.

Более 70% поверхности Земли покрыто уникальным химическим соединением — водой. Масса Земли составляет $5,977 \times 10^{24}$ кг. Эта масса обеспечивает ту силу тяжести, к которой мы привыкли.

Форма Земли немного напоминает грушу — *геоид* и создана ее вращением вокруг оси, взаимодействием сил тяготения и центробежных сил. Ее суточное вращение вокруг оси образовало *экваториальное вздутие* и *полярное сжатие*. Средний экваториальный радиус длиннее половины земной оси на 21,4 км. Разная длина и у радиусов, лежащих в экваториальной плоскости, разница составля-

Снимок Земли, сделанный из космоса





Строение Земли

Самая высокая гора на Земле — Эверест (Джомолунгма) в Гималаях, ее высота более 8,8 км над уровнем моря. Самая низкая точка поверхности земной коры — Марианская впадина, она уходит на 11 км в глубину ниже уровня Тихого океана.

Эверест



ет 213 м. Неодинаковы и полярные полуоси — та, что направлена к Южному полюсу, короче на 70–100 м.

Измерения со спутников показали, что полярное сжатие Земли несколько больше того, какое должно быть при современной скорости вращения. Причина, по мнению ученых, заключается в высокой вязкости недр Земли. Планета не сразу реагирует на изменение скорости вращения, не сразу приобретает новую форму. Поэтому в земной коре постоянно существуют напряжения, стремящиеся уменьшить ве-

личину полярного сжатия.

Земной шар делится на несколько слоев, различных по химическому составу, агрегатному состоянию вещества и его свойствам: внутреннее и внешнее ядро, нижнюю и верхнюю мантию, земную кору, гидросферу (водная оболочка Земли) и атмосферу.

Земной корой (литосферой) называется твердый поверхностный слой, состоящий в основном из легких пород (гранита и базальта), со средней толщиной около 35 км. На коре расположены континенты и океаны.

Следующий слой толщиной около 2880 км называется мантией. Ученые полагают, что мантия в основном состоит из плотных силикатных пород, которые сжимаются при постепенном увеличении давления, но трескаются при ударе.

Центральный слой толщиной около 3470 км называется ядром. Здесь внешний жидкий слой (внешнее ядро) толщиной около 2080 км окружает твердую центральную часть. По мнению ученых, ядро состоит из уплотненного железа и никеля с температурой около 6400 К.

Атмосфера — газовая оболочка Земли, простирающаяся в космос на несколько сотен километров, играет важную защитную роль. Первичная атмосфе-

ра, которая была у Земли свыше 4 млрд лет назад, по мнению ученых, сильно отличалась от сегодняшней. Она содержала ядовитые соединения водорода, углерода, кислорода и азота, такие как углекислый газ, аммиак и метан, а также пары воды. По мере развития растительных форм жизни, считают ученые, в результате фотосинтеза образовался *свободный* кислород, необходимый для дыхания.

В настоящее время воздух содержит около 78% азота, 21% кислорода и 1% аргона, углекислого газа, водяного пара, угарного газа и других газов, а также химических отходов промышленности. Общая масса всей атмосферы составляет около 5000 триллионов тонн. Примерно половина массы этого воздуха расположена в пределах всего 6 км над поверхностью Земли. С увеличением высоты плотность воздуха резко падает.

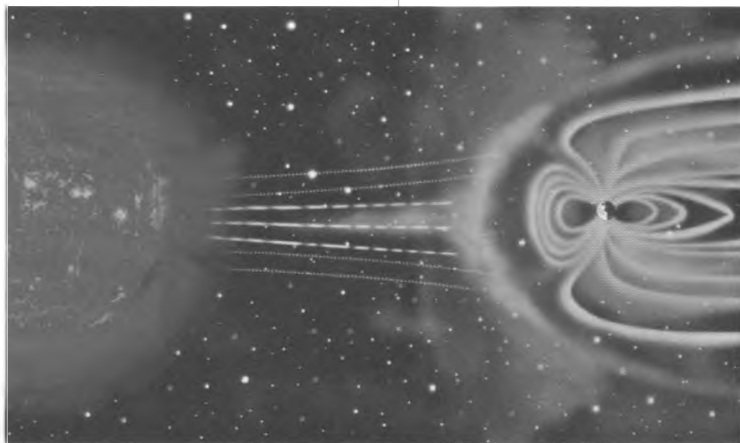
Земная атмосфера разделена на несколько слоев. Нижний

Тела, находящиеся на земной поверхности, испытывают атмосферное давление (давление всей толщи воздуха), которое выражается в единицах, называемых паскалями. 1 Па — это давление, создаваемое силой 1 Н на площади 1 м². На уровне моря давление воздуха составляет 101 325 Па.

слой — *тропосфера*, в нем температура падает в среднем на 0,65° каждые 100 м. Над тропосферой расположена *стратосфера*, температура которой равна 60–80 °С ниже нуля. Примерно на высоте от 12 до 50 км над уровнем моря находится *слой озона (озоносфера)*, содержащий наибольшую концентрацию озона и защищающий Землю от губительного для живых организмов солнечного ультрафиолетового излучения. На высотах около 100 км расположена *ионосфера*, где наряду с ионами содержатся свободные электроны. Здесь температура возрастает с увеличением высоты. Выше ионосферы расположена крайне разреженный слой — так называемая *экзосфера* (высота свыше 350 км). Газокинетическая температура этого слоя составляет от 800 до 1700 °С.

В отличие от своих ближайших космических соседей — Марса, Венеры, Луны и Меркурия, — Земля обладает достаточно сильным *магнитным полем*, которое ориентирует стрелку магнитного компаса и напряженность которого примерно в 20 тыс. раз выше, чем в межпланетном пространстве. С удале-

Деформация магнитосферы Земли



нием от поверхности Земли величина напряженности падает, и на расстоянии в 10 земных радиусов она «всего» в 20 раз сильнее межпланетного поля. Ось магнитного поля не совпадает с осью вращения Земли, отклоняясь на 10° .

В результате воздействия солнечного ветра, представляющего собой поток частиц высоких энергий (электронов, протонов, ионов водорода и гелия), магнитное поле Земли асимметрично и вытянуто в направлении от Солнца. На обращенной к Солнцу стороне Земли магнитное поле простирается в космос на расстояние до 60 000 км, а на противоположной стороне — значительно дальше. Эта область вокруг Земли называется *магнитосферой*.

Исследованиями установлено, что напряженность магнитного поля Марса в 500, а Венеры — в 2000 раз слабее земного. Слабое магнитное поле обнаружено и на Меркурии.

Изменения напряженности магнитного поля Земли часто происходят внезапно, импульсивно и носят название «магнитные бури». Установлено, что изменчивость магнитного состояния Земли связана с колебаниями солнечной активности, с периодичностью пятнообразования на Солнце.

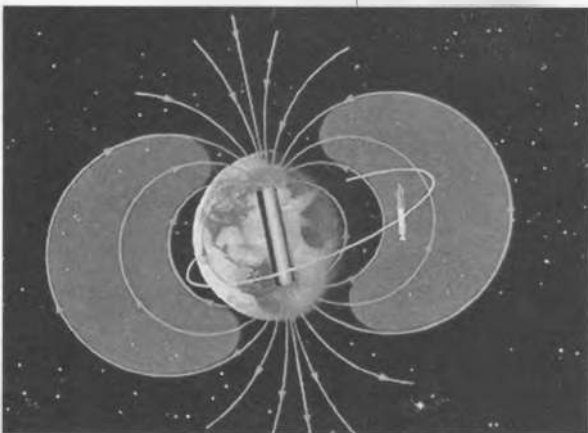
Магнитные полюсы все время находятся в движении. Они совершают суточные миграции эллиптической формы, которые суммируются в определенном направлении, в результате чего годовое смещение составляет около 50 километров.

В 2001 г. северный магнитный полюс был в точке с координатами 81° с.ш., 110° з.д., на расстоянии менее 1000 км от северного географического полюса и продолжал двигаться на север.

В течение последних ста лет Северный магнитный полюс сначала удалялся от географического, уходя на юго-восток, а затем, подобно маятнику, качнулся в обратном направлении. Самый грандиозный скачок в состоянии земного магнетизма совещается примерно раз в полмиллиона лет, когда происходит смена знака полярности.

Земным магнитным полем улавливается множество смертоносных для человека электрически заряженных частиц солнечного ветра. Они продолжают двигаться внутри двух поясов, называемых *радиационными поясами Земли*, — *протонного* и *электронного*, расположенных на высотах 400 и 20 000 км соответственно. Они образовались в результате перехватыва-

Радиационные пояса Земли



ния частиц магнитным полем и их «нанизывания» на силовые линии. Ученые считают, что наличие магнитного поля является одним из тех важнейших факторов, которые обеспечили сохранение жизни на Земле.

Двигаясь по эллиптической орбите вокруг Солнца, Земля в то же время вращается вокруг своей оси. С течением времени вращение замедляется из-за тормозящего действия приливов Мирового океана — за столетие удлинение суток составляет 0,0017 сек. По утверждениям ученых, 500 млн лет назад сутки составляли всего 20,8 современного часа.

Ось вращения не сохраняет неизменного положения в теле Земли. За 428 суток она описывает около среднего положения очень сложную конусоподобную поверхность. Это приводит к изменению положений полюсов, которые колеблются относительно среднего положения в пределах около 40 м.

Луна — единственный спутник нашей планеты. Это самое близкое к нам небесное тело, расположенное от Земли на *среднем расстоянии* 384 404 км и движущееся по эллиптической орбите. Эксцентриситет лунной орбиты равен 0,055. Во время одного оборота по орбите расстояние Луны от Земли изменяется от 356 410 км в перигее до 406 740 км в апогее.

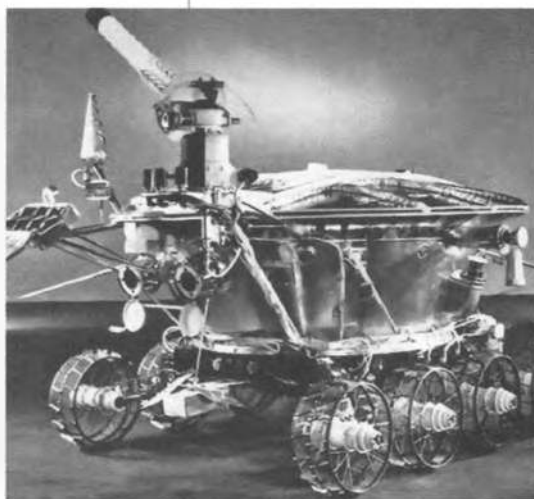
Лунная орбита наклонена к плоскости эклиптики на угол около 5°, а период орбитального обращения Луны (сидерический месяц) равен 27,3217 суток.

Звездная величина Луны в полнолуние составляет -12,5, и это означает, что она в 250 000 раз ярче звезд первой величины.

Диаметр Луны равен 3474 км, ее масса составляет $7,35 \times 10^{22}$ кг (1/81 массы Земли). Средняя плотность Луны — 3,35 г/см³, ускорение силы тяжести на Луне равно 1,62 м/с², а скорость улетучивания — 2,38 км/с, что некогда привело к полному рассеиванию лунной атмосферы в мировом пространстве. На Луне отсутствует не только атмосфера, но и вода.

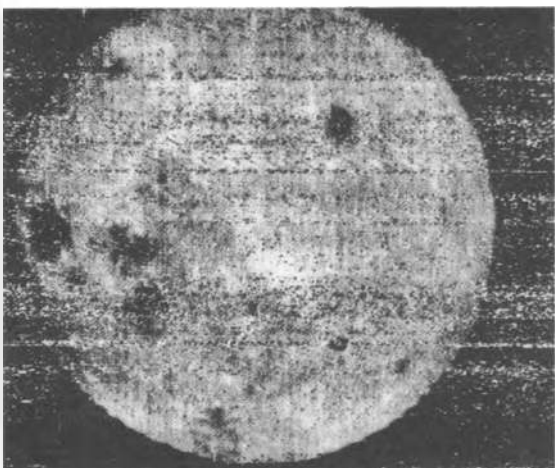
Лишенная атмосферы поверхность Луны подвергается сильному нагреванию лучами Солнца. Дневная сторона Луны нагрета до 130 °С, в то время как во время лунной ночи (при отсутствии солнечного излучения) поверхность Луны охлаждается до -160 °С.

Сила притяжения Земли является причиной *синхронного вращения* Луны. Луна делает один оборот вокруг своей оси за 27,3 суток, и, из-за воздействия приливных сил, действующих в системе «Земля — Луна», такое же количество времени требуется ей для завершения одного оборота вокруг Земли. Поэтому Луна обращена к Земле всегда одной и той же сто-



17 ноября 1970 г. советская космическая станция «Луна-17» доставила на поверхность нашего естественного спутника первый в истории дистанционно управляемый самоходный аппарат. «Луноход-1» весил менее 800 кг и должен был проработать 90 дней под управлением команды из 5 человек, находящейся на Земле в Центре дальней космической связи под Москвой. На самом деле «Луноход-1» путешествовал по Моря Дождей целых 11 месяцев.

Альбедо Луны (та часть падающего на нее солнечного света, которую она отражает обратно в космос) составляет 0,07. Большая часть солнечного света, падающего на безатмосферную Луну, поглощается ее поверхностью.



Обратная сторона Луны была впервые сфотографирована 7 октября 1959 г. советской автоматической межпланетной станцией «Луна-3».

роной. Неравномерность орбитального движения Луны по эллиптической орбите и наклон ее оси вращения к плоскости ее орбиты, отличающийся от 90° , приводят к возникновению так называемых *либраций* — смещений деталей относительно центра лунного диска.

Когда Галилео Галилей впервые навел свой телескоп на Луну, он увидел большие темные области, которые принял за водные пространства, и назвал их *морями*. Спустя несколько столетий космические аппараты совершили посадку на Луне, и они не обнаружили ни малейших признаков воды. Лунные моря, часто имеющие примерно круг-

вую форму, на самом деле являются застывшими лавовыми излияниями.

Светлые участки Луны называются *материками*. Это по сравнению с морями более возвышенные, более неровные и более древние районы Луны.

При исследовании лунных пород, взятых в разных местах Луны, выяснилось, что материковые породы старше морских. В породах, взятых астронавтами «Аполлонов» и советскими автоматическими станциями серии «Луна», не было обнаружено ни воды, ни окаменелых организмов, ни каких-либо органических соединений.

Поверхность морей состоит из *базальтов*, которые образуются при застывании вулканической лавы. Самое большое море на видимой стороне Луны — Море Дождей, диаметр которого около 1100 км. Большинство морей расположено на стороне Луны, обращенной к Земле, тогда как на обратной стороне Луны находятся только два моря — Восточное и Море Москвы. Причина таких сильных отличий в рельефе между сторонами Луны до настоящего времени достоверно не определена. На обратной стороне Луны обнаружены подобные морям округлые площади (диаметром до 500 км), которые залиты не темным, а более светлым веществом — *талассоиды*.

Обратная сторона Луны чрезвычайно гориста, причем самые высокие горные пики на Луне возвышаются более чем на 8000 м над поверхностью. Лунные горы отличаются от земных как по химическому составу, так и по внешнему виду. На видимой стороне Луны также видны горные цепи, названия которых соответствуют земным горам: Пиренеи, Алтай, Апеннины, Кавказ и др. Некоторые из горных хребтов пересечены широкими долинами. Видны также и узкие глубокие ущелья, которые называются *трещинами*.

Поверхность Луны усеяна *кратерами*, типичная форма которых — круглая. Многие из них представляют собой гладкие равнины, окруженные кольцевыми горными хребтами — *валами*. В центре кратеров часто имеются остроконечные горки. Размер их колеблется от нескольких метров в диаметре у мелких, до 250 км у кратеров-гигантов; высота валов вокруг них может достигать трех километров.

По традиции, кратеры называют в честь выдающихся физиков и астрономов, например Коперника и Платона, Эйнштейна и Омара Хайяма. Большинство кратеров образовалось, по видимому, в результате ударов о поверхность Луны летевших с большой скоростью метеоритов. Самые большие кратеры, такие как Клавий, имеющий в поперечнике 240 км, раньше называли *цирками*. Самые маленькие называют *кратерочками*.

Помимо описанных деталей, на Луне существует несколько все еще загадочных образований, так называемых «лучей». Вдоль дуг больших кругов от некоторых кратеров (Тихо, Коперник, Кеплер) отходят длинные, светлые, сравнительно тонкие линии — лучи. На снимках эти лучи представляются длинными цепочками мелких кратеров, обладающих повышенной яркостью.

Благодаря исследованиям, проведенным с помощью космических аппаратов, ученые смогли реконструировать историю развития Луны.

На основании возраста самых древних лунных пород, доставленных из материковых районов, ученые оценивают возраст спутника в 4,6 млрд лет. Самые молодые породы, взятые из морских районов, образовались примерно 3,1 млрд лет назад. Из-за серьезных отличий в химическом составе между земными и лунными породами ученые подвергли сомнению теорию, которая утверждает, что Луна в прошлом была частью Земли, а затем оторвалась от нее.

Доставленное на Землю космическими аппаратами лунное вещество было подвергнуто химическому анализу, который показал, что в лунные породы входит большой процент кислорода. Кроме того, там были обнаружены следующие химические элементы: кремний (от 16 до 20%), железо (от 12 до 16%), кальций (от 6 до 8%), титан (от 4 до 8%), алюминий (от 4 до 7%) и магний (от 3 до 6%). Обнаружены меньшие количества хрома, марганца, циркония, иттрия, никеля, стронция и бария.

Большинство астрономов придерживаются гипотезы, согласно которой Луна образовалась в результате слипания многих маленьких частичек солнечной туманности (первичного облака).

На Луну для проведения научных экспериментов посылались шесть экспедиций американских космических кораблей «Аполлон» (1969–1972), а также ряд советских космических аппаратов серии «Луна». Для лабораторных исследований они доставили на Землю около 400 кг лунных пород.

Лунный кратер Дедал.
Диаметр — 93 км,
глубина — 3 км





Фазы Луны

1. Новолуние
2. Растущий серп
3. Первая четверть
4. Растущая Луна
5. Полнолуние
6. Убывающая Луна
7. Последняя четверть
8. Убывающий серп

В настоящее время у Луны отсутствует магнитное поле, хотя древние лунные породы указывают на то, что некогда оно существовало. Гравитационное поле Луны не вполне однородно, на него влияют неоднородности распределения вещества в лунных недрах. Было обнаружено, что в глубине Луны существуют области повышенной плотности — *масконы* (концентрации массы), которые вызывают в движении спутника возмущения.

Наличие масконов плюс отсутствие сильных *лунотрясений* дало основание астрономам предположить, что Луна обладает холодным, твердым, толстым внешним слоем, или *корой*, толщиной около 60 км.

Под корой на глубину примерно 1000 км простирается *мантия*, а в центре нашего спутника расположено *ядро* радиусом 700 км, физические характеристики которого до сих пор остаются загадкой. Температура ядра, вероятно, около 1500 К, и оно частично расплавлено.

При своем орбитальном движении Луна занимает различные положения

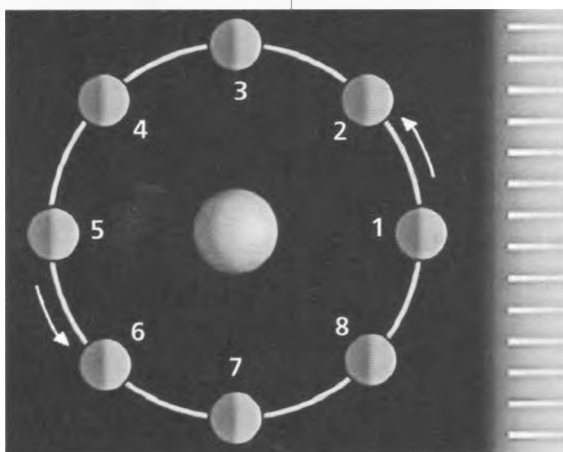
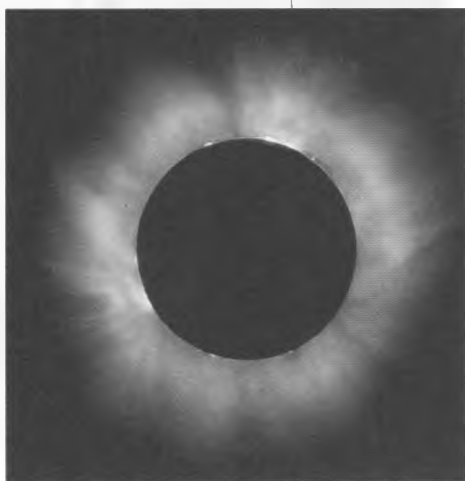


Схема возникновения фаз Луны
Солнечное затмение

по отношению к Солнцу, которое освещает Луну и Землю, в результате чего возникают *лунные фазы*. Та фаза Луны, при которой она обращена к нам неосвещенной стороной, называется *новолунием*. Если во время новолуния Земля, Луна и Солнце выстраиваются по одной прямой, могут происходить *солнечные затмения*, при которых темный диск Луны закрывает на время диск Солнца.

Солнечное затмение называется *полным*, если Луна находится на меньшем расстоянии от Земли, чем длина конуса ее тени. В этом случае она выглядит на небе больше Солнца и полностью закрывает от наблюдателя его диск. Это очень впечатляющее зрелище: по небу разливается неестественная тьма, температура падает, и в дневное время на небе появляются звезды и планеты. Полное затмение продолжается всего лишь несколько минут и может



наблюдаться лишь в узкой *полосе затмения* на поверхности Земли. В одном и том же месте затмение происходит в среднем один раз в 360 лет.

Если Луна находится на большем расстоянии от Земли, чем длина конуса ее тени, то происходит *кольцеобразное затмение*. В таком случае Луна выглядит меньше Солнца и закрывает от нашего взора все, кроме тоненького колечка.

Частное затмение происходит чаще всего тогда, когда Луна не полностью закрывает солнечный диск, так как находится на некотором расстоянии от линии Солнце — Земля.

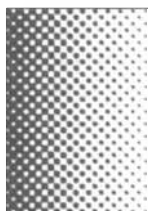
После новолуния Луна видна по вечерам, и через неделю, когда лучами Солнца освещена правая половина лунного диска, наступает фаза, называемая *первой четвертью*.

Через неделю после первой четверти наступает *полнолуние*, когда лучами Солнца освещен весь обращенный к Земле диск Луны. Во время полнолуния могут происходить *лунные затмения*, если Солнце, Земля и Луна находятся точно на одной линии. Попад в земную тень, Луна начинает темнеть, но не исчезает полностью, так как получает немного солнечного света, который преломляется в земной атмосфере. Цвет Луны (обычно тускло-красный) и ее яркость зависят от облачности, запыленности и загрязненности атмосферы Земли.

По сравнению с наблюдением солнечного затмения шансы увидеть полное лунное затмение намного выше. Когда наступает лунное затмение, то его можно видеть в любом месте Земли, где Луна находится над горизонтом. Длительность лунного затмения может достигать одного часа.



Солнечное затмение

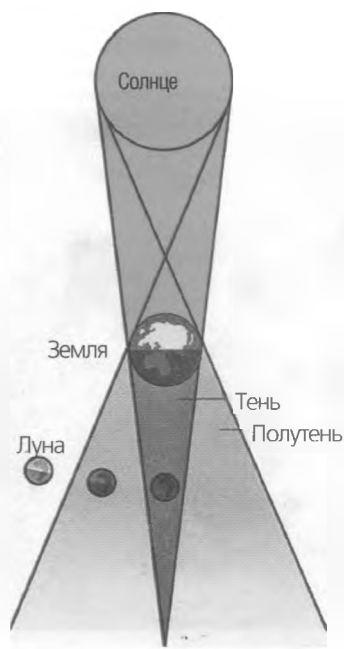


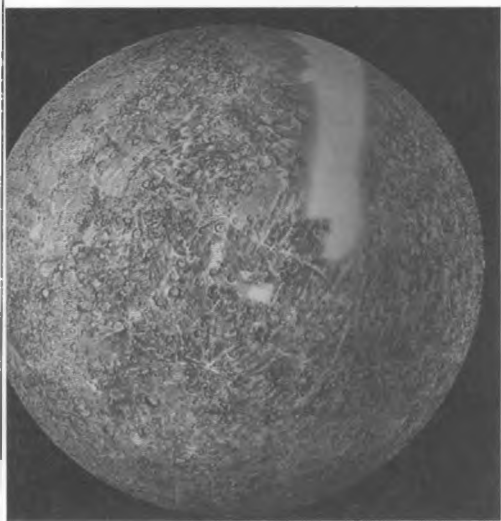
Покрытие — это затмение одного небесного тела другим, например затмение звезды или планеты Луной на короткое время при прохождении Луны перед ними. Это явление представляет интерес для наблюдения радиоисточников и точного определения их местоположения на небе.

Еще через неделю наступает *последняя четверть*, при которой Луна наблюдается во вторую половину ночи. Через 7 дней наступит новолуние и цикл смены лунных фаз замкнется. Промежуток времени между одноименными фазами называется *синодическим месяцем*, его длительность составляет 29,5306 суток.

Максимальное число солнечных и лунных затмений, которые могут произойти в течение одного года, равно семи.

Схема лунного затмения





Меркурий. Снимок составлен из фотографий, переданных космическим аппаратом «Маринер-10»

Планеты земной группы

Первой от Солнца и самой маленькой среди планет является **Меркурий**. Он же — самая быстрая планета Солнечной системы (его период обращения вокруг Солнца составляет всего 88 суток), отчего и получил свое название. Как мы помним, Меркурий, он же Гермес, был покровителем торговцев, посланцем богов и обладал замечательным средством передвижения — крылатыми сандалиями, позволяющими ему всюду успевать.

Вследствие близости к Солнцу Меркурий является очень ярким небесным телом и в максимуме блеска достигает почти нулевой величины. Однако оптические наземные наблюдения Меркурия затруднены, поскольку, как правило, он виден в лучах вечерней или утренней зари.

Вокруг Солнца Меркурий обращается по довольно вытянутой орбите. Вследствие этого его максимальное удаление от Солнца в 1,5 раза больше минимального, что приводит к колебаниям температуры на поверхности планеты с перепадом в 130 градусов. На экваторе Меркурия температура меняется от чрезвычайно высокой в полдень — около 700 К — до очень низкой в полночь — около 90 К.

На Меркурии имеются следы атмосферы: зафиксированы гелий, аргон, кислород, углерод и ксенон. Общее газовое давление у поверхности Меркурия составляет 10^{-12} земного.

Меркурий обладает также очень слабым магнитным полем сложной структуры, которое влияет на движение заряженных частиц солнечного ветра.

Меркурий похож на Луну с ее множеством кратеров, гор и морей. Наличие кратеров на Меркурии свидетельствует о том, что метеориты бомбардировали внутренние планеты на конечной стадии их образования. Самая большая впадина на Меркурии (бассейн) носит название Равнины Зноя и имеет поперечник 1300 км. Большие ровные области, напоминающие лунные моря, по мнению ученых, свидетельствуют о крупных лавовых излияниях в прошлом.

В плотном железистом ядре диаметром 1800 км сосредоточено 80% всей массы планеты.

Период осевого вращения планеты составляет 2/3 орбитального и тем самым находится с ним в резонансе. Кроме того, ось вращения Меркурия перпендикулярна к плоскости орбиты, поэтому на нем нет чередования времен года в разных полушариях.

Строение Меркурия:

- 1 — кора,
- 2 — мантия,
- 3 — ядро



Солнечные сутки длятся на Меркурии 176 земных суток. Иными словами, солнечные сутки длятся на Меркурии два меркурианских года!

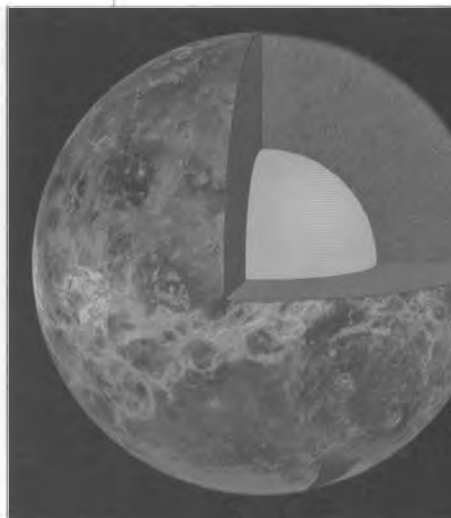
На долготах, близких к 90° и 270° , восход и заход Солнца совпадают по времени с прохождением Меркурия через перигелий, когда на короткое время (8 суток) угловая скорость орбитального движения превышает угловую скорость его вращения. В результате Солнце на небе Меркурия после восхода вдруг останавливается, поворачивает обратно и заходит почти в той же точке, где взошло. Но спустя несколько земных суток оно снова всходит в той же точке и уже надолго. На заходе картина повторяется в обратном порядке.

Венера — вторая по расстоянию от Солнца планета Солнечной системы и третье по яркости (после Солнца и Луны) небесное тело. В периоды сближения с Землей ее блеск достигает $-4,2$ визуальной звездной величины, и тогда Венера оказывается ярче любой звезды. Неслучайно это светило было известно в глубокой древности под именем «Утренней» или «Вечерней звезды». Кстати, наши предки полагали, что это два разных светила. Это связано с тем, что, поскольку угол между Солнцем и Венерой для земного наблюдателя никогда не превышает 48° , Венера видна либо в восточной части неба незадолго до восхода Солнца, либо в западной части неба в течение некоторого времени после захода Солнца.

Венера, как и Меркурий, обращается вокруг Солнца внутри орбиты Земли, в результате чего обе планеты проходят цикл смены фаз. Венера вращается вокруг своей оси с востока на запад, то есть имеет *обратное вращение*. Близость периода осевого вращения к периоду обращения вокруг Солнца приводит к тому, что продолжительность дня и ночи на Венере составляет по 58,5 земных суток.

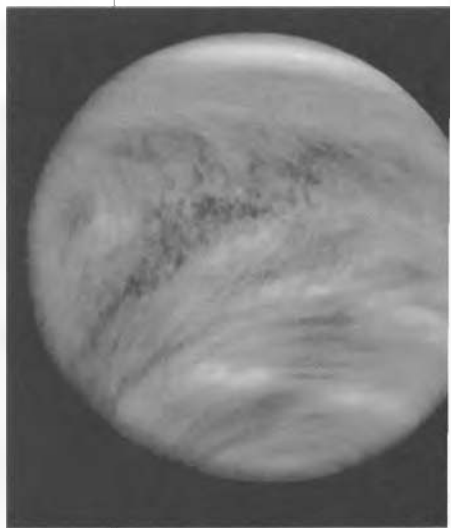
Венера окружена мощной *атмосферой* с высокими отражательными свойствами: плотные облачные слои венерианской атмосферы отражают около 80% падающего на них света.

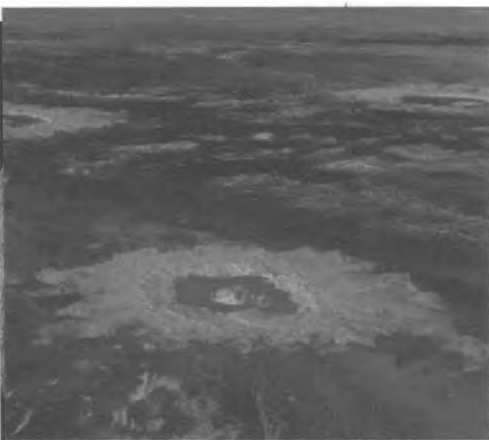
Атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа (97%). Имеются в ней пары воды (0,1%), азот и инертные газы (2%), кислород (менее 0,1%), замечены следы паров серной, соляной и фтористоводородной (плавиковой) кислот. В самых верхних слоях атмосферы обнаружен водород. Толщина всех облаков достигает 19 км, а находятся они над поверхностью на расстоянии 50–70 км.



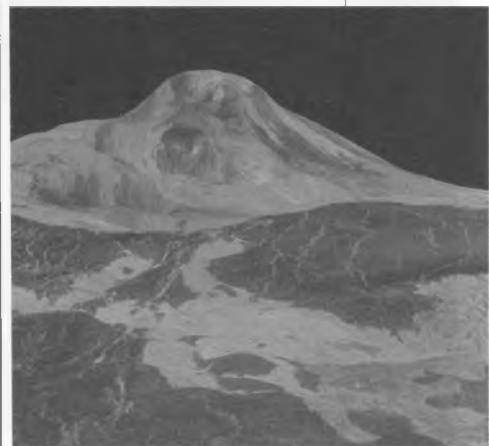
Строение Венеры

Облачный покров Венеры





Компьютерная реконструкция на основе данных радиолокатора межпланетной станции «Магеллан». Цвета основаны на цветных изображениях поверхности Венеры, переданных советскими аппаратами «Венера-13 и -14», совершившими посадку на поверхность. Кратеры (вверху) и Земля Афродиты (внизу)



На уровне поверхности планеты давление газов составляет 90 атм, температура — около 470 °С; на высоте 30 км — 20 атм и 270 °С соответственно. Высокая температура венерианской атмосферы объясняется так называемым парниковым эффектом, при котором атмосфера достаточно прозрачна для солнечного излучения, падающего на поверхность планеты, но непрозрачна для теплового излучения, идущего в обратном направлении от поверхности. Преобладающий в атмосфере углекислый газ почти полностью поглощает и задерживает тепловое излучение планеты. Увеличение температуры вследствие парникового эффекта достигает на Венере значения 350–400 °С.

В венерианский полдень освещенность на поверхности планеты такая, как при раннем рассвете на Земле. Скорость ветра над твердой поверхностью 0,6–1,3 м/с. На высоте 60–70 км в атмосфере Венеры бушуют ураганы, вызванные разностью угловых скоростей вращения твердой и газовой оболочек Венеры, скорость которых достигает 100 м/с.

Основные сведения о Венере получены в результате исследований, проведенных с помощью космических аппаратов. Начало им положено полетом в 1961 г. советской автоматической межпланетной станции «Венера-1». Последующие полеты советских автоматических межпланетных станций серии «Венера» и американских автоматических межпланетных станций серии «Маринер» были посвящены исследованиям толщины и состава атмосферы Венеры, условиям на поверхности. В октябре 1975 г. советские автоматические межпланетные станции «Венера-9» и «Венера-10» передали на Землю первые панорамные изображения поверхности этой планеты. В декабре 1978 г. американский аппарат «Пионер-Венера-1» перешел на орбиту искусственного спутника Венеры. Он изучил рельеф планеты

с помощью радара и сделал фотографии облаков в ультрафиолетовых и инфракрасных лучах. Другие ценные данные о Венере были собраны советскими космическими аппаратами в 1978 и 1982 гг. В 1983 г. на орбитах около Венеры начали длительную работу советские АМС «Венера-15 и -16», главной задачей которых было составление детальной карты рельефа Венеры с помощью бортовых радиолокаторов.

Радиолокационные исследования показали, что поверхность Венеры гористая, перепады высот между отдельными участками в среднем составляют 2–3 км. Примерно 60% поверхности занимают сравнительно ровные холмистые равнины с хоро-

шо различными кратерами, отстоящие от центра планеты на расстоянии среднего радиуса (6050 км). Около 16% поверхности — безводные бассейны и рифтовые долины с уровнем ниже среднего радиуса. Остальная часть поверхности планеты находится на уровне выше среднего радиуса по крайней мере на несколько тысяч метров.

Возвышенные области, которые похожи на континенты, занимают примерно 8% площади равнин. Самая большая из них — Земля Афродиты — имеет размер в половину Африки. Несколько меньше Земля Иштар, на территории которой находятся горы Максвелла — самый высокий горный массив, поднимающийся на 11 км над уровнем поверхности среднего радиуса.

Обнаружен гигантский разлом в коре длиной 1500 км, шириной 150 км и глубиной 2 км. Было обнаружено 10 кольцевых структур диаметром 30–150 км, напоминающих сильно сглаженные метеоритные кратеры Луны.

Марс — четвертая по расстоянию от Солнца планета Солнечной системы, первая от Земли внешняя планета. Древним римлянам красноватый цвет планеты напоминал кровь и огонь, поэтому ее называли в честь покровителя войны.

Иногда, в моменты *великого противостояния*, когда Земля находится в точке наибольшего удаления от Солнца, а Марс максимально близок к нему, расстояние между Марсом и Землей сокращается до 56 млн км и диск планеты виден под углом 25". Это время особенно хорошо для наблюдений за нашим соседом. Это бывает в августе один раз в 15–17 лет.

В моменты великих противостояний в телескоп отчетливо видны детали поверхности планеты: темные и светлые полосы в центральной части диска и светлые области у полюсов — так называемые *полярные шапки*, которые летом уменьшаются в размерах. По аналогии с Луной темные области получили название *морей*, светлые области — *материков*. По мнению ученых, темные области — это поверхность, которая обнажается после пылевых бурь.

Некоторые астрономы наблюдали темные образования, называемые *каналами*, в то время как другие никогда их не видели. Впервые об этих образованиях сообщил в 1877 г. итальянский астроном Джованни Скиапарелли. В начале XX в. американский астроном Персиваль Ловелл заявил, что каналы созданы разумными марсианами.

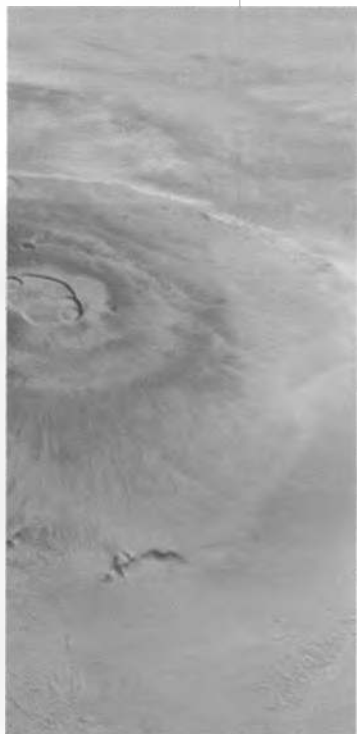
Сегодня на поверхности Марса нет жидкой воды. Однако существуют косвенные свидетельства древних катастрофических потоков. Вода на Марсе, вероятно, находится в полярных шапках и под поверхностью планеты в виде вечной мерзлоты.

Полярные шапки представляют собой области, покрытые толстым (до нескольких десятков метров) слоем замерзшей углекислоты с примесью водяного инея и частиц пыли. Размеры полярных шапок подвержены сезонным колебаниям. В том полушарии, где наступает зима, полярная шапка увеличивается. С приходом лета она настолько уменьшается, что иногда становится невидимой.

Марс. Снимок сделан космическим телескопом «Хаббл»



Гора Олимп на Марсе. Высота Олимпа – 27 км по отношению к его основанию и 25 км по отношению к среднему уровню поверхности Марса. Это в несколько раз выше самых высоких гор на Земле. Олимп простирается на 540 км в ширину и имеет крутые склоны по краям высотой до 7 км. Возникновение этих гигантских обрывов пока не нашло убедительного объяснения.



Данные, полученные космическими аппаратами, показали, что каналов на Марсе нет.

Впервые астрономы смогли увидеть хорошее изображение поверхности Марса с помощью автоматических телекамер, установленных на космическом аппарате «Викинг-1», который опустился на Марс 20 июля 1976 г. Двумя месяцами позже спускаемый аппарат «Викинг-2» опустился на равнине Утопия на расстоянии около 7500 км к северо-западу от своего предшественника.

Рельеф поверхности Марса очень сложный: имеются многочисленные кратеры с центральной горкой, горные хребты, плоские возвышенности, отдельные вершины и т. п. Средний перепад высот – более 10 км. Самая высокая точка планеты – гора Олимп – древний вулкан, возвышающийся над окружающей поверхностью на 24 км.

Особое место в создании рельефа Марса принадлежит гигантским трещинам и разломам в коре планеты. Самый крупный разлом при ширине 120 км простирается в длину почти на 4000 км. Южное полушарие планеты более возвышенное, средняя высота гор на ней почти на 3 км больше, чем на северном, а кроме того, здесь гораздо чаще встречаются кратеры. Значительную часть поверхности южного полушария занимают пустыни, над которыми почти постоянно дует ветер, поднимающий облака мелкой пыли. Иногда перемещение воздушных масс приобретает планетарный масштаб. На протяжении последних 25 лет на Марсе трижды происходили пылевые бури, в течение месяцев исключавшие возможность наблюдений его поверхности.

Цвет марсианской пыли и поверхностных пород таков, что при наблюдении с Земли планета выглядит оранжево-красной.

Атмосфера Марса очень разрежена и состоит в основном из углекислого газа с примесью азота (если быть точнее, 95% углекислого газа, 2–3% азота, 1–2% аргона, 0,1–0,4% кислорода, а также следы водяного пара и других газов). Абсолютное содержание газов настолько мало, что атмосферное давление у поверхности планеты почти в 170 раз меньше нормального земного.

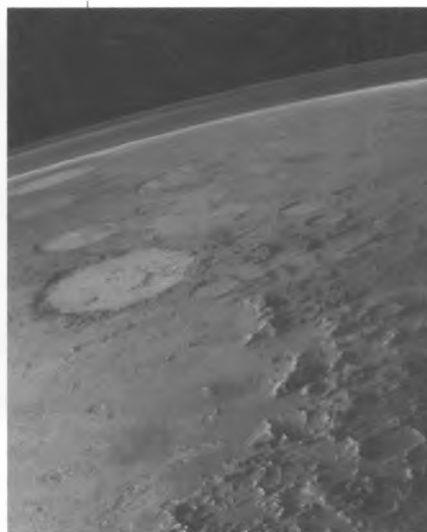
Разреженная атмосфера Марса не может задерживать и сохранять тепловое излучение планеты. Поэтому на Марсе наблюдаются значительные суточные колебания температуры воздуха, особенно в экваториальной области. Здесь воздух в полдень может прогреваться до +5 °C и более, а за ночь охлаждается до –60 °C.

На основании многолетних исследований была выдвинута модель внутреннего строения Марса, в соответствии с которой верхние 30–40 км поверхности составляет марсианская кора, под которой находится основное тело планеты. В центре его расположено ядро планеты, в котором сосредоточено приблизительно 5% всей ее массы. Диаметр ядра около 1000 км.

Исследования, проведенные советскими автоматическими межпланетными станциями серии «Марс», обнаружили марсианское *магнитное поле*, напряженность которого в 500 раз меньше напряженности земного магнитного поля.

Марс имеет два маленьких спутника, называемых Фобос («страх») и Деймос («ужас»). Они были открыты в 1877 г. американским астрономом Асафом Холлом (1829–1907), хотя еще в 1727 г. о существовании у Марса двух спутников писал автор легендарного «Путешествия Гулливера» Джонатан Свифт.

Фобос и Деймос — это маленькие, неправильной формы каменные глыбы диаметром около 21 и 15 км соответственно. Фобос делает один оборот вокруг Марса за 7 часов 39 минут, а Деймос примерно за 30 часов. На Фобосе видны борозды и цепочки маленьких кратеров.



Снимок атмосферы Марса, полученный с низкой орбиты

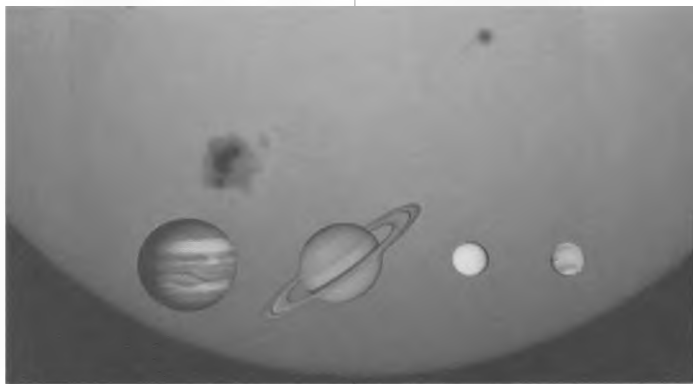
Планеты-гиганты

Юпитер — самая большая, пятая по расстоянию от Солнца планета Солнечной системы. Это — планета-гигант и один из самых ярких небесных объектов (в максимуме достигает –2 звездной величины), уступающий в блеске только Венере.

Подобный сильный блеск, несмотря на удаленность от Солнца, связан с громадными размерами Юпитера: он в 318 раз массивнее Земли и почти в 1400 раз превосходит ее по объему. Более того, Юпитер массивнее, чем все остальные планеты и их спутники вместе взятые. Он едва не стал звездой. Если бы Юпитер был еще в восемьдесят раз массивнее, то в его недрах могли бы начаться реакции ядерного синтеза, характерные для звезд.

В телескоп Юпитер выглядит как сплюснутый диск, пересеченный системой чередующихся темных и светлых полос клочковатой структуры, идущих параллельно экватору планеты. Свет-

Планеты группы Юпитера на фоне Солнца (в масштабе)

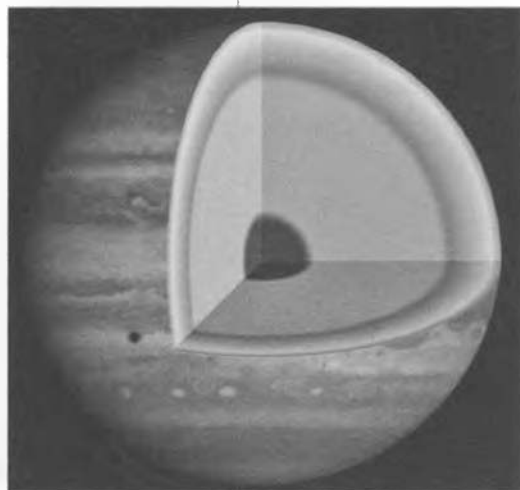




Большое красное пятно и Земля

Юпитер оказывает наиболее ощутимое возмущающее влияние на движение других тел Солнечной системы (планет, астероидов, комет и т. д.).

Строение Юпитера



лые полосы на поверхности Юпитера называются *зонами*. Полярные области выглядят несколько более темными по сравнению с центральными.

Наиболее заметной деталью в атмосфере Юпитера является *Большое красное пятно*, колоссальный атмосферный вихрь, вращающийся против часовой стрелки, видимый в форме овала на широте 20° к югу от экватора. Площадь поверхности Большого красного пятна сравнима с площадью поверхности всей Земли. Его длина составляет 30–40 тыс. км, а ширина — 14 тыс. км.

Большое красное пятно наблюдается с 1878 г., и за это время оно несколько раз изменяло свой размер, яркость и цвет.

Полосатая структура поверхности Юпитера обусловлена его быстрым вращением вокруг оси: полный оборот занимает менее 10 часов, при этом точка на экваторе Юпитера движется со скоростью около 12 км/с. Большое центробежное ускорение, проявляющееся при быстром вращении, придает поверхности планеты сплюснутую форму.

Юпитер представляет собой огромный, быстро вращающийся жидкий шар, окруженный толстой атмосферой, состоящей в основном из водорода и гелия с примесью других газов. По мнению ученых, он имеет относительно небольшое железо-силикатное ядро диаметром 8 тыс. км и температурой в 30 000 К. Над ним располагается мощный слой металлического водорода, достигающий в высоту 42 тыс. км. Далее простирается слой молекулярного водорода высотой 24 тыс. км, а над ним находится собственно атмосфера, высота которой не превышает 1000 км.

Атмосфера имеет сложный газовый состав, кроме водорода и гелия в нее входят метан, аммиак, этан, ацетилен и водяной пар. В атмосфере наблюдаются мощные горизонтальные и вертикальные движения, постоянно бушуют грозы и сверкают молнии. Частота электрических разрядов — 245 в год на 1 км^2 поверхности.

Температура верхних слоев атмосферы Юпитера колеблется от -130° до -145°C , что значительно выше той температуры, которую она имела бы при нагревании только солнечными лучами. Расчеты и наблюдения показывают, что Юпитер излучает тепло-

вой энергии в 2 раза больше, чем получает ее от Солнца. По мнению ученых, это объясняется высокой температурой ядра.

Юпитер обладает сильным магнитным полем, напряженность которого в 20 раз превышает напряженность земного. Кроме того, планета имеет сложную систему больших мощных *радиационных поясов*, сходных с радиационными поясами Земли. По-видимому, именно существование этих поясов обуславливает высокую активность Юпитера в радиодиапазоне.

Магнитное поле Юпитера двухполюсное, но обратное по сравнению с земным (стрелка компаса на Юпитере показывала бы на юг). Его источником, по мнению ученых, являются электрические токи в слое жидкого водорода. Размеры магнитосферы меняются из-за колебаний давления солнечного ветра: она может вытягиваться в направлении Солнца на 15 млн км и в противоположную сторону почти на 690 млн км, иногда выходя за орбиту Сатурна.

У Юпитера имеется очень тонкое кольцо, состоящее из отдельных частичек (от микроскопических до размеров в несколько метров), расположенное над экватором планеты. Оно находится на расстоянии около 52 000 км над верхними слоями экваториальных облаков. Внешний край кольца отстоит от поверхности Юпитера на 58 тыс. км. Ширина кольца — не менее 6 тыс. км, толщина — значительно меньше 30 км. Наблюдаться с Земли на ярком фоне планеты кольцо не может. Существование этого кольца было предсказано российским астрофизиком С.К. Всехсвятским в 1960 г., и в 1979 г. фотографии планеты, полученные с помощью космических аппаратов, подтвердили его существование.

Вокруг Юпитера обращаются 63 спутника, большинство из которых имеют небольшие размеры. Четыре самых ярких спутника Юпитера были открыты Галилео Галилеем и потому называются *галилеевыми спутниками*. Это Ио, Европа, Ганимед, Каллисто.



Полярное сияние на Юпитере

Вследствие удаленности от Солнца Юпитер, в пересчете на единицу поверхности, получает в 27 раз меньше солнечного тепла, чем Земля.

Спутники Юпитера: Ио, Европа, Ганимед, Каллисто



Впервые внимание на необычный вид Сатурна обратил в 1610 г. Галилео Галилей, который решил, что наблюдает два близких спутника планеты. В 1655 г. было установлено, что это не спутники, а плоское кольцо, ни где не соприкасающееся с планетой.

Самым геологически активным внеземным миром является *Ио*. Действующие на нем вулканы выбрасывают богатые серой вещества, которые и окрашивают различные районы поверхности этого спутника в красный, оранжевый, коричневый, голубой, черный и белый цвета. На расстоянии орбиты Ио вокруг Юпитера движется гигантское облако заряженных частиц (в основном ионов серы и кислорода), образовавшихся при вулканических извержениях на Ио. Это облако также может двигаться вдоль силовых линий магнитного поля Юпитера в направлении северных и южных полярных районов, вызывая юпитерианские *полярные сияния*.

Европа примерно такого же размера и плотности, как и Луна, это самый яркий из галилеевых спутников. Ее поверхность покрыта ледяным панцирем, иссеченным длинными, похожими на разломы, линиями.

Ганимед — самый большой спутник планеты в Солнечной системе, его диаметр 5276 км. На поверхности Ганимеда встречаются темные области со множеством кратеров. Имеются также и светлые районы, пересеченные разломами, образовавшимися в результате тектонической активности.

Поверхность *Каллисто* выглядит самой древней, с большим количеством ударных кратеров. Согласно некоторым оценкам, ее возраст может быть более 4 млрд лет. По мнению ученых, Ганимед и Каллисто могут на 50% состоять из воды, смешанной с твердыми породами.

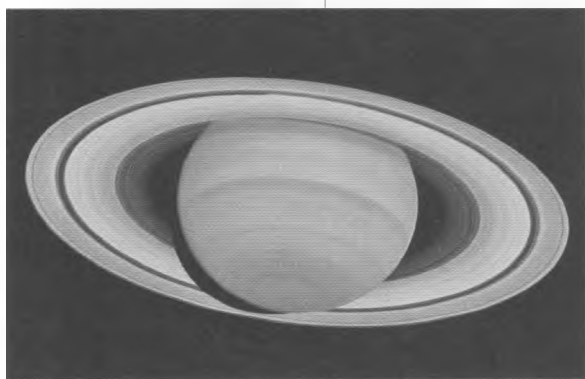
Сатурн — шестая по счету от Солнца, вторая после Юпитера по величине и массе планета Солнечной системы, относящаяся к группе планет-гигантов. Отличительной особенностью этой планеты является сложное кольцо, окружающее ее.

Сатурн, как и Юпитер, — это многослойный шар с постепенным переходом от жидкости к газу, состоящий в основном из водорода и гелия, с относительно небольшим железо-силикатным ядром. Из-за быстрого осевого вращения (линейная скорость точки, находящейся на поверхности планеты вблизи экватора, составляет 9,5 км/с) Сатурн заметно сжат с полюсов.

Сатурн обладает самой низкой средней плотностью по сравнению с другими планетами.

В отличие от Юпитера, поверхность Сатурна невыразительна. Детали, если такие и существуют, затеняют газовая дымка (в основном аммиак) и разреженный слой облака водорода, в которых рассеивается солнечный свет. Лучше всего заметны темные и светлые полосы, опоясывающие планету параллельно экватору, и отдельные светлые пятна. В 20° к северу

Сатурн



от экватора находится самая яркая широкая светло-золотистая полоса, называемая *экваториальной областью*. Северная полярная область имеет голубоватый оттенок.

На экваторе Сатурна дуют ветры с огромными скоростями — свыше 600 км/ч. Вблизи верхней границы облаков температура около 86 К, а в центре экваториальной зоны она доходит до 92 К. Там полыхают молнии и сверкают полярные сияния.

Размер *магнитосферы* Сатурна составляет примерно 1/3 от магнитосферы Юпитера, и она также зависит от интенсивности солнечного ветра. Магнитосфера простирается в направлении Солнца примерно на 2 млн км. Так же, как и Юпитер, Сатурн является источником радиоизлучения.

Сатурн окружен не менее чем пятью *кольцами*, не примыкающими друг к другу, простирающимися более чем на 65 000 км, толщиной в несколько километров. Они состоят из частиц размером от долей миллиметра до нескольких метров, и поэтому сквозь них даже можно видеть звезды. Кольца представляют собой покрытые льдом камни, которые движутся по орбитам вокруг Сатурна и светят отраженным солнечным светом.

Названия присваивались кольцам по мере их открытия. В порядке удаления от планеты они известны как *D, C, B, A, F, G* и *E*. Внешний радиус кольца *A* 140 тыс. км. От самого яркого кольца *B* его отделяет темный промежуток, называемый *щелью*, или *делением*, *Кассини*. Внутри кольца *B* находится самое темное кольцо *C*, внутренний край которого отстоит от поверхности планеты лишь на 15 тыс. км. Эти три кольца окружены с обеих сторон очень слабым кольцом *D* (с внутренней стороны) и кольцом *E*, отстоящим с внешней стороны от кольца *A* на 3,5 тыс. км. Кольцо *F* настолько слабо, что было обнаружено лишь в 1979 г. американским космическим аппаратом «Пионер-11» непосредственно перед подлетом к Сатурну. Оно включает в себя три отдельных кольца, которые переплетены друг с другом. В 1980 г. космический аппарат «Вояджер-1» открыл кольцо *G*.

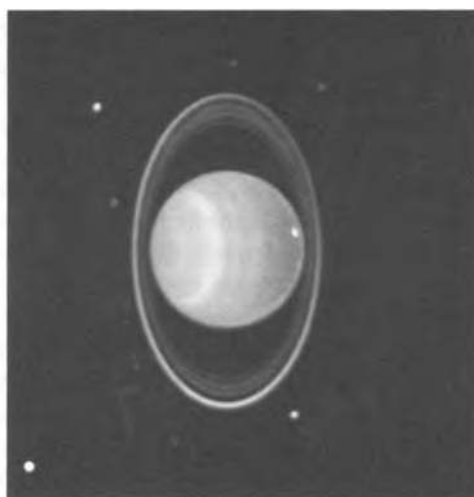
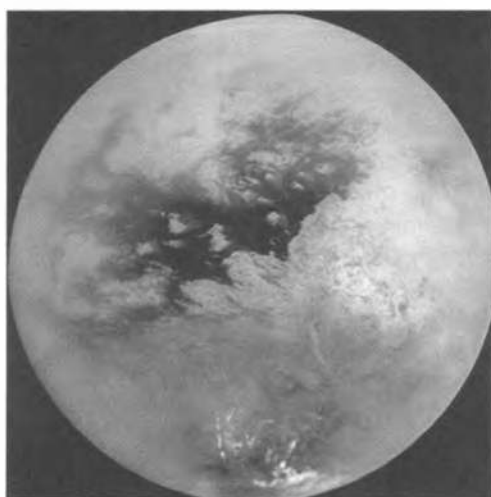
По мнению исследователей, кольца Сатурна могут быть либо частицами материала несформировавшегося спутника, либо, наоборот, остатками разрушенного спутника.

Сатурн окружает огромное облако нейтральных атомов водорода, расположенное между орбитами Титана и Реи. Внутри этого облака движутся частицы, излучающие ультрафиолетовые лучи.

Сатурн имеет по меньшей мере 60 спутников (см. Приложение). Внутренние спутники — *Мимас*, *Энцелад*, *Тетис*, *Диона* и *Рея* — имеют размеры меньше Луны. Кроме Энцелада, все они покрыты многочисленными кратерами. Внешние спутники — *Гиперион* и *Япет*, — возможно, состоят из водяного льда.



Кольца Сатурна



Титан (слева). Снимок получен космическим аппаратом «Кассини». Уран (справа). Снимок получен космическим аппаратом «Вояджер-2»

Титан — единственный из известных спутников со значительной атмосферой. Она состоит в основном из азота с углеводородами, такими как этан, ацетилен, этилен и цианид водорода. Поверхность Титана скрывает плотный туман. По предположениям ученых, спутник состоит из твердых пород и льда.

Седьмая по расстоянию от Солнца планета Солнечной системы — планета-гигант **Уран**. Несмотря на свои огромные размеры (хотя и не такие впечатляющие, как у Юпитера), вследствие большой удаленности от Солнца он выглядит в максимальном блеске как звезда — светило 5,4 звездной величины, то есть находится на пределе видимости для невооруженного глаза.

Характерной особенностью планеты является необычно большой угол наклона экватора к плоскости орбиты (98°), вследствие чего ось вращения Урана почти лежит в плоскости эклиптики. Возникает впечатление, что Уран движется вокруг Солнца, вращаясь на боку. Вокруг своей оси он вращается в обратном направлении.

В атмосфере Урана обнаружены молекулярный водород H_2 и метан. По массе, химическому составу и температурному режиму Уран не отличается принципиально от Сатурна и Юпитера. На этом основании предполагают, что строение всех трех планет имеет общие черты.

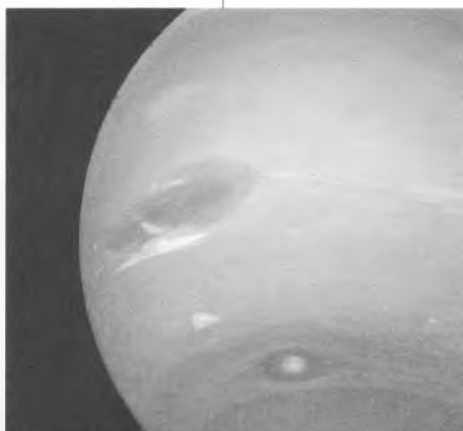
Уран окружают, по меньшей мере, девять колец, лежащих в плоскости его экватора. Самое широкое из этих колец — внешнее. Ширина его всего несколько десятков километров.

За кольцами вокруг планеты вращаются 27 небольших спутников. Суммарная масса спутников составляет около $1/10\,000$ массы планеты. Уран не был известен астрономам ни в древности, ни в средние века. Он стал первой планетой, открытой с помощью телескопа.

Нептун — восьмая по счету от Солнца планета-гигант — выглядит как близнец Урана. Она также имеет толстый покров водородно-метановых облаков. По химическому составу и строению Нептун, по-видимому, похож на другие планеты-гиганты.

В 1846 г. астроном Иоганн Галле в Берлинской обсерватории навел телескоп в указанное место и обнаружил там Нептун (подробнее об этом случае смотрите в разделе, посвященном истории астрономии).

У планеты имеется 13 спутников, причем Тритон — весьма крупный и Нереида — чуть меньше (см. Приложение).



Атмосферный вихрь на Нептуне 24 августа 1989 г. Снимок космического аппарата «Вояджер-2»

Малые тела Солнечной системы

Давайте познакомимся с бывшей девятой планетой Солнечной системы — **Плутоном**, — «отправленной в отставку» в 2006 г. Что же послужило причиной такой резкой смены статуса? Согласно исследованиям, диаметр Плутона не превышает 2300 км, а его масса составляет около 0,002 массы Земли. Эти результаты дали основание полагать, что Плутон — не только самая далекая, но и самая малая планета Солнечной системы (диаметр Меркурия — 4880 км) и по размерам сравним с Луной и некоторыми спутниками Юпитера, Сатурна и Нептуна.

В отличие от остальных планет, обращающихся вокруг Солнца в одной плоскости, орбита Плутона лежит вне этой плоскости. По этой причине Плутон может наблюдаться с Земли вне пояса зодиакальных созвездий. Кроме того, траектория движения Плутона вокруг Солнца представляет собой заметно вытянутый эллипс с эксцентриситетом 0,25, вследствие чего разность между максимальным и минимальным удалением планеты от Солнца так велика, что иногда Плутон оказывается ближе к Солнцу, чем Нептун. К открытию Плутона привели отклонения в движении Урана и Нептуна. Его открыл в 1930 г. американский астроном Клайд Томбо.

Максимальный блеск Плутона не превышает 14,7 визуальной звездной величины, но из сопоставления видимой величины, расстояния до планеты и ее диаметра следует, что отражательная способность Плутона должна быть очень высокой. Ученые предполагают, что поверхность планеты покрыта замерзшим метаном.

В 1978 г. американский астроном Джеймс Кристи получил фотографии, на которых рядом с изображением Плутона

Клайд Томбо
(1906–1997)





Старт космического аппарата NASA «Новые горизонты» к Плутону

был замечен небольшой выступ, представляющий собой спутник. Он был назван *Хароном* в честь мифологического перевозчика душ умерших в царство мертвых. Харон находится на расстоянии 17 000 км от Плутона. Он совершает один оборот вокруг Плутона за 6 суток 9 часов.

Еще в XVIII в. астрономы заметили, что, согласно расчетам, между Марсом и Юпитером должна располагаться

еще одна планета. После долгих поисков в 1801 г. в расчетном месте была обнаружена малая планета, названная Церерой. Позже обнаружилось, что в указанном районе проходят орбиты более чем 2000 малых тел — **астероидов**.

Некоторые астероиды движутся по очень вытянутым орбитам, заходя внутрь орбит Земли, Венеры и даже внутрь орбиты Меркурия. Другие астероиды удаляются на расстояние, почти равное радиусу орбиты Сатурна.

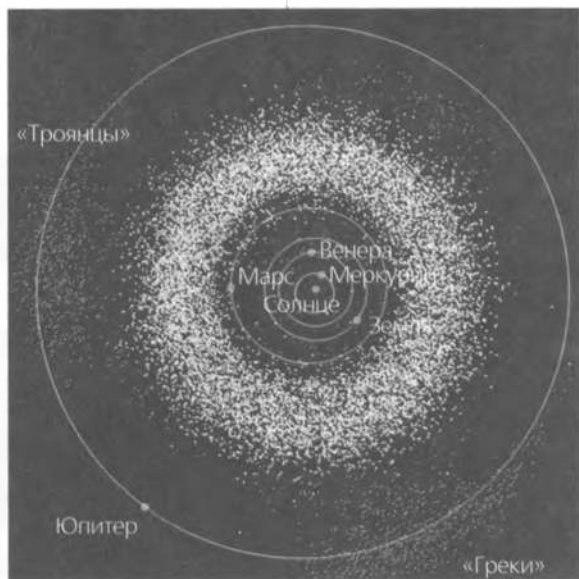
Что же делают на месте гипотетической планеты эти бесформенные обломки? Некоторые ученые предполагают, что это остатки взорвавшейся планеты, легендарного Фазтона, который двигался вокруг Солнца по орбите, проходившей между Марсом и Юпитером.

В этом случае общая масса всех астероидов должна дать представление о массе планеты-прародительницы. Но, исходя из современных оценок количества астероидов и оценок их масс, общая масса ничтожно мала и недостаточна для того, чтобы объяснить происхождение астероидов взрывом планеты.

Некоторые из астероидов имеют достаточно большие размеры для того, чтобы быть хорошо наблюдаемыми в телескоп. Крупнейшие астероиды имеют поперечник от 450 км (Гигеи) до 1000 км (Церера). Остальные астероиды имеют меньшие размеры, вплоть до 1–2 км в поперечнике у самых маленьких.

Другими малыми телами Солнечной системы являются **кометы**, которые в основном обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам.

Главный пояс астероидов (белый цвет) и троянские астероиды (зеленый цвет)



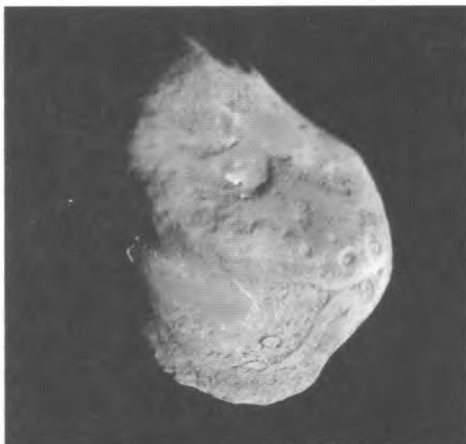
Самой примечательной особенностью комет является светящийся хвост, растущий по мере приближения их к Солнцу.

Кометы были названы так за свой внешний вид: греческое слово *kometes*, а также латинское *cometa* означают «волосатая» или «косматая».

Согласно модели «грязного снежка», предложенной в 1950 г. Фредом Уиплом, большую часть своей «жизни» кометы находятся вдалеке от Солнца, оставаясь для нас невидимыми. В этот период они лишены хвоста и представляют собой ледово-каменный конгломерат: неправильной формы глыбы смерзшихся газов, таких как углекислый газ, аммиак, метан и водяной пар («снег»), куда вкраплены твердые частицы самых разных размеров, в том числе пылинки («грязь»). Это замерзшее ядро кометы, масса которого составляет не более 10^{-8} доли массы Земли, а поперечник колеблется от 1 до 10 км.

По мере приближения к Солнцу ядро постепенно прогревается потоком солнечного излучения, что приводит к испарению газов. Вместе с газами из ядра выделяются твердые вкрапления, образуя вокруг него газово-пылевую оболочку, называемую *головой*, или *комой*, кометы, размеры ее исчисляются тысячами километров. Комета светит за счет того, что пыль отражает солнечный свет, а газы флуоресцируют.

Когда расстояние между кометой и Солнцем становится приблизительно равным радиусу марсианской орбиты (око-



Длина изображенного здесь ядра кометы Темпель 1 — около 5 км

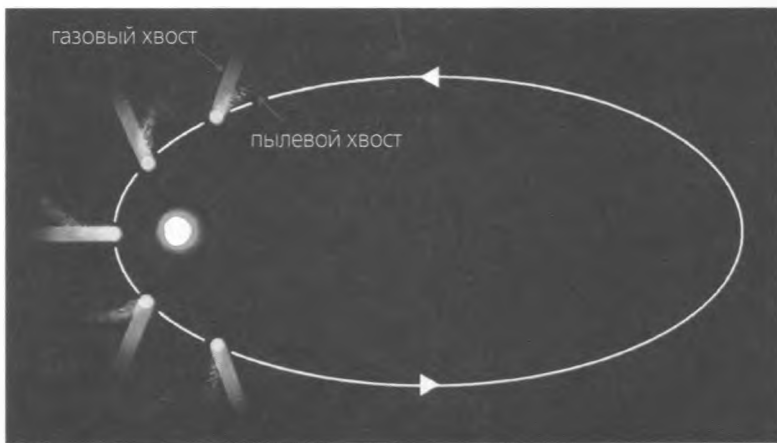


Схема движения кометы вокруг Солнца

Кометы, первый раз появляющиеся на нашем небе, представляют особый интерес для исследователей. Возможно, это единственные тела, оставшиеся от первичного вещества, из которого образовалась вся Солнечная система.

ло 250 млн км), приток световой энергии Солнца настолько увеличивается, что наряду с усилением выделения газа и пыли начинается процесс образования хвоста кометы. Все возрастающая сила светового давления заставляет твердые частицы покидать голову кометы и уходить в противоположную от Солнца сторону. Пылинки увлекают за собой часть газа, формируя хвост кометы.

Иногда комета подходит так близко к Солнцу, что образуются два длинных красивых кометных хвоста. Интенсивный солнечный свет толкает частички пыли и относит их в сторону. Комета продолжает двигаться, а за ней тянется искривленный хвост пыли. Солнечный ветер выдувает ионизированные газы на миллионы километров в космос, образуя *газовый*, или *ионный*, хвост. Плотность кометных хвостов настолько мала, что сквозь них, не меняя видимого блеска, просвечивают слабые звезды. Но при достаточном приближении комет к Солнцу хвосты становятся очень яркими, потому что составляющие их пыль и газ хорошо отражают и рассеивают солнечный свет.

Исследования показали, что в состав кометных хвостов входят соединения азота, углерода, водорода и кислорода. В головах комет обнаружены натрий, молекулы углерода и некоторые более сложные органические соединения.

Если комета после очередного сближения с Солнцем еще не совсем распалась, то она продолжает двигаться по своей орбите обратно в холодные области космоса. Вещество кометы вновь замерзает, при этом исчезают кома и хвост.

Согласно распространенной теории, предложенной в 1950 г. нидерландским астрономом Яном Оортом, кометы образуются в обширном кометном облаке, расположенном в 50 000–10 000 раз дальше от Солнца, чем Земля. *Кометное облако Оорта* может содержать до 100 млрд «зародышей» комет.

Большинство комет, не очень далеко удаляющихся от центра Солнечной системы, движутся вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля, то есть имеют *прямое движение*.

Случайно проходящая звезда может замедлить движение какой-либо кометы и послать ее в сторону Солнца. Эта комета будет *долгопери-*

одической кометой, путь которой вокруг Солнца до тех пор пройдет около Юпитера, поле которого переведет ее на новую орбиту.

Самой известной периодической является комета *Галлея*. Первые свидетельства о ее появлении относятся к XVI в. Английский астроном Галлей обнаружил, что она появлялась в 1531, 1607 и 1682 гг. Это был тот же объект, образующийся в окрестностях Солнца по замкнутой кривой с периодом около 76 лет. Он предсказал следующее прохождение кометы в 1758 г. Предсказание оправдалось: комета была названа его именем.

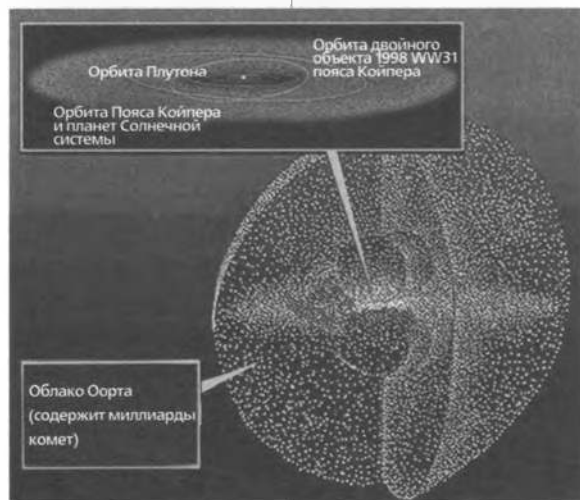
Известны многочисленные кометы. Например, комета Биеллы распалась на несколько комет. В 1852 г. комета Гольдшмидта была разделена на 25 млн км. Аналогичная комета, приблизившись к Солнцу в 1886 г., распалась на несколько светящихся тел.

При каждом приближении к Солнцу комета теряет значительную часть своего вещества и улетучивается в окружающее пространство. Чем короче период кометы, тем быстрее заканчивается ее существование.

Еще одной разновидностью являются **метеоры** («падающие звезды»). Многие из них являются метеороидными телами, врезаясь в земную атмосферу. Трение о воздух сжигает их, оставляя следы от 80 до 100 км над Землей. Если метеороидное тело survives, оно называется **болидом**.

В течение года в определенное время можно наблюдать большое количество метеоров из какой-то конкретной области неба. Новизна метеоров называется **метеорными потоками**, связанными с тем, что Земля пересекает простирающийся по орбите

Пояс Оорта



одической кометой, путешествующей по эллипсу вокруг Солнца до тех пор, пока она не пройдет около Юпитера, гравитационное поле которого переведет долгопериодическую комету на новую орбиту.

Самой известной периодической кометой является комета Галлея. Первые письменные свидетельства о ее наблюдениях датируются XVI в. Английский астроном Э. Галлей обнаружил, что наблюдения комет в 1531, 1607 и 1682 гг. относятся к одному и тому же объекту, обращающемуся вокруг Солнца по замкнутой кривой с периодом около 76 лет. Он предсказал год следующего прохождения кометы около Солнца. Предсказание оправдалось: комета появилась в конце 1785 г., а затем возвратилась вновь в 1835 г. В честь Галлея комета была названа его именем.

Известны многочисленные случаи распада комет. Например, комета Биэлы распалась в 1846 г. на две самостоятельные кометы. В 1852 г. обе они были замечены в последний раз, причем разделявшее их расстояние возросло до 25 млн км. Аналогичная судьба постигла комету Брукса. Приблизившись в 1886 г. на очень малое расстояние к Юпитеру, комета испытала очень сильное притяжение с его стороны, вследствие чего круто изменила орбиту и распалась на несколько светящихся тел.

При каждом приближении к Солнцу кометы теряют значительную часть своего вещества, которое распыляется и улетучивается в окружающее пространство. В среднем чем короче период кометы, тем меньше продолжительность ее существования.

Еще одной разновидностью малых тел Солнечной системы являются **метеоры**, известные всем нам как «падающие звезды». Многие из нас видели полосы света, возникающие в результате сгорания метеорных тел, которые врезаются в земную атмосферу со скоростью до 72 км/с. Трение о воздух сжигает эти маленькие частички на высоте от 80 до 100 км над Землей. Очень яркий метеор называется **болидом**.

В течение года в определенные промежутки времени можно наблюдать большое количество метеоров, вылетающих из какой-то конкретной области неба. Такая разновидность метеоров называется **метеорным потоком**. Метеорные потоки связаны с кометами и наблюдаются в тех случаях, когда Земля пересекает рой метеорных тел, простирающийся по орбите кометы.



Комета Галлея. Снимок с борта летающей обсерватории «Койпер» 1986 г.

Э. Вейсс. Метеорный поток Леониды над Северной Америкой в ночь с 12 на 13 ноября 1833 г.



В 1969 г. в Австралии упал редкий тип каменного метеорита с высоким содержанием углерода – углистый хондрит. В нем обнаружены простейшие аминокислоты, являющиеся основными кирпичиками жизни.

При наблюдении метеорного потока кажется, будто все метеоры вылетают из одной точки неба, называемой радиантом потока. Метеорные потоки названы по созвездиям, в которых находится их радиант.

В относительно редких случаях Землю посещает гость из космических глубин в виде куска камня или металла – **метеорит**. Согласно статистическим данным, за 10 лет в среднем только два или три метеорита падают в населенные места и еще реже они вызывают какие-либо повреждения. При этом не зафиксировано ни одного случая, чтобы упавший с неба камень кого-нибудь убил.

Все метеориты делятся на три основных типа:

- железные метеориты, состоящие в основном из железа (около 90%) и никеля, плотность которых примерно в 8 раз выше плотности воды;
- железо-каменные метеориты содержат железо, никель и силикаты. Их плотность примерно в 6 раз выше плотности воды. Возраст этих метеоритов оценивается в 4,6 млрд лет, что примерно соответствует возрасту нашей Солнечной системы;
- каменные метеориты в основном состоят из силикатов, и только 10% их массы приходится на железо и никель. Плотность таких метеоритов примерно в 3 раза выше плотности воды. Каменные метеориты выглядят как обычные земные породы, и обычно их не замечают, за исключением тех случаев, когда наблюдается непосредственное падение.

При столкновении больших метеоритов с Землей образуются гигантские кратеры, поперечником до нескольких сотен километров. Самый известный, сохранившийся в первозданном виде метеоритный кратер Бэрринджер расположен в Соединенных Штатах Америки, в Аризоне, около Винслоу. Его поперечник 1,5 км, а глубина 180 м.

Метеоритный кратер Бэрринджер. Аризона, США



Звезда по имени Солнце

Заканчивая обзор Солнечной системы, мы познакомимся поближе с нашим светилом – Солнцем, которое дает столь необходимые для жизни свет, тепло и энергию.

Солнце – самая близкая к Земле звезда, центральное тело нашей

планетной системы, и из звезд — наиболее доступная для наблюдения. Исследование особенностей Солнца служит ключом для понимания физической природы далеких звезд, которые нельзя изучать столь же детально. В Солнце сосредоточено более 99,9% всего вещества Солнечной системы, что обеспечивает силу тяготения, удерживающую планеты на орбитах. В солнечном спектре было найдено более шестидесяти химических элементов. Ученые предполагают, что внешние слои Солнца имеют тот же химический состав, что и в момент его образования: около 71% водорода, 27% гелия и 2% других элементов по массе. За 4,5 млрд лет в солнечном ядре в результате реакций ядерного синтеза произошли изменения, и гелий здесь составляет 38%.

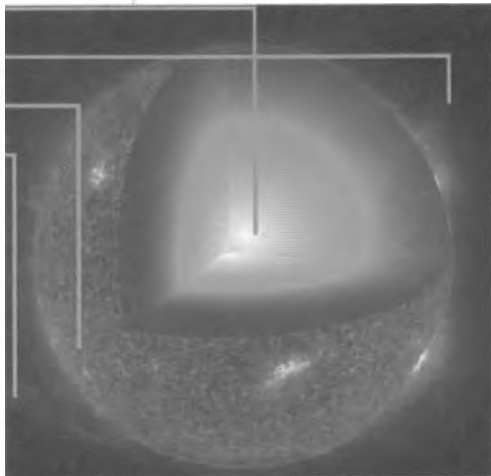
Благодаря лучистой энергии Солнца температуры поверхностей больших планет достигают сотен градусов (в абсолютной шкале). *Общий расход солнечной энергии* огромен (светимость Солнца составляет $3,83 \times 10^{26}$ Вт). Количество солнечной энергии, которое каждую секунду попадает на единичную поверхность верхней границы земной атмосферы, называется *солнечной постоянной* и составляет $1,35 \text{ кВт/м}^2$. Изменение потока солнечной энергии оказывает влияние на атмосферу Земли, на земной климат и погоду, а также на современные системы связи и энергопередающие коммуникации.

Среднее *расстояние* между Землей и Солнцем называется *астрономической единицей* (а. е.) и составляет примерно 149 597 870 км. Астрономическая единица используется для измерения расстояний в Солнечной системе.

Солнце — огромный газовый шар радиусом около 696 000 км. С Земли Солнце воспринимается ослепительно ярким диском угловым диаметром около $0,5^\circ$ и выглядит на небе примерно таким же, как полная Луна.

Наблюдения за Солнцем показывают, что яркость солнечного диска неодинакова во всех его точках: максимальная в центре, она постепенно падает к краю. Эффект потемнения к краю резко зависит от длины волны: при наблюдении солнечного диска через красный фильтр оно едва заметно, но в синих и фиолетовых лучах достигает максимальной величины.

Солнце, подобно Земле, вращается вокруг своей оси с запада на восток. При этом оно вращается не как твер-

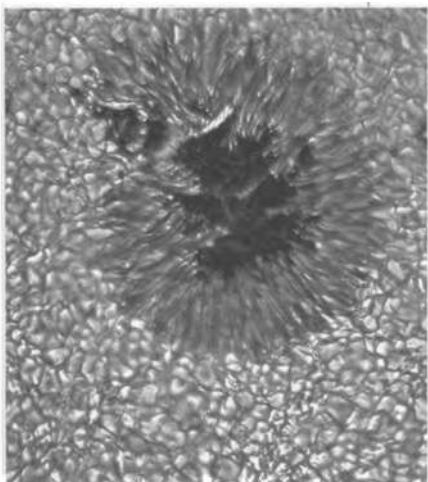
1
2
3
4

Строение Солнца:

- 1 — ядро
- 2 — корона
- 3 — фотосфера
- 4 — протуберанцы

Солнце — источник энергии и жизни на Земле





Пятно на Солнце
и гранулы

дое тело: угловая скорость солнечного вращения уменьшается от экватора к полюсу. Период вращения экваториальных областей составляет 25 суток, приполярных — около 30 суток.

Все те знания о строении Солнца, которыми располагает астрономия, получены либо в результате прямых наблюдений внешних слоев нашего светила, либо с помощью нейтринных детекторов, которые отслеживают все изменения в солнечном ядре.

В центре Солнца находится природная атомная электростанция, где солнечная энергия генерируется в реакциях *ядерного синтеза*, когда с выделением огромного количества тепловой и световой энергии происходит превращение водорода в гелий.

Из внутренних областей светила, где температура измеряется миллионами градусов, энергия термоядерных превращений переносится к внешним слоям путем *лучеиспускания*. В прилегающем к поверхности слое, глубина которого составляет приблизительно 100 тыс. км, температура солнечного вещества опускается до десятков и сотен тысяч градусов, что делает его малопрозрачным для переноса энергии подобным путем. В результате основная часть *внутрисолнечной* энергии передается наружу путем *конвекции* — перемешивания потоков вещества с разной температурой. При этом потоки вещества, имеющего более высокую температуру, поднимаются вверх, а между ними в глубину Солнца опускаются струи более холодного вещества. Эта область называется *зоной конвекции*.

Последствием конвективного движения в солнечных глубинах является появление на поверхности Солнца так называемой *грануляции*. В телескоп хорошо видно, что поверхность светила испещрена светлыми пятнышками с темными границами — *гранулами*, размер которых составляет 500–700 км в поперечнике, скорость вертикального движения — 1–2 км/с, а время жизни — 5–10 минут. Участки гранул с более высокой температурой выглядят светлыми, а на их фоне более холодные промежуточные зоны, температуры которых всего на несколько сотен градусов меньше, кажутся темными.

Гранулы входят в состав *супергранул*, ячеек около 15 000–30 000 км в поперечнике. В супергранулах, помимо вертикальных течений (как в гранулах), существует поток газов из центра к краям.

За счет конвективного движения вещества на поверхность Солнца выносятся огромная тепловая энергия, которая расходуется на лучеиспускание и поддержание температуры солнечной поверхности на уровне около 6000 К.

Фотосфера — это внешняя область Солнца, которую мы видим. Здесь образуется подавляющая часть излучения, идущего от Солнца. Глубина (или высота) фотосферы не превышает нескольких сот километров. Фотосфера — это разреженный газовый слой, разогретый до температуры примерно 5800 К, из которого в космос излучается энергия.

Лимб — это видимый край солнечного диска, который выглядит темнее, чем центр. Эффект, называемый *потемнением лимба*, возникает из-за того, что излучение, идущее из центра диска, приходит к нам из более глубоких и горячих слоев фотосферы, а на лимбе излучение приходит из более высоких и холодных участков фотосферы.

Хромосфера — это самая внутренняя часть солнечной атмосферы. Она простирается на несколько тысяч километров над фотосферой и становится видимой с Земли только во время полного солнечного затмения, когда светит красным светом благодаря наличию там водорода. Хромосфера содержит и другие элементы, включая гелий и кальций.

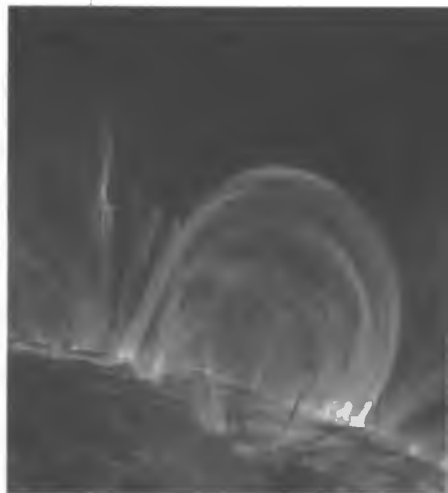
Над хромосферой располагается самый внешний слой солнечной атмосферы — *солнечная корона*. Она содержит разреженный горячий (1–2 млн. К) газ, который простирается на миллионы километров от Солнца. Корона начинается на расстоянии 0,1 солнечного радиуса от фотосферы и простирается вокруг светила на расстояние нескольких таких радиусов. Яркость короны резко падает по мере удаления от поверхности Солнца. Корона не имеет четких границ, ее форма неправильная и со временем претерпевает существенные изменения, о чем свидетельствуют фотографии, снятые в периоды минимальной и максимальной солнечной активности.

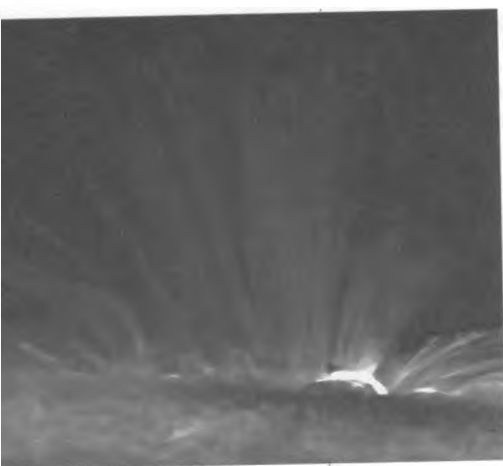
Увидеть корону невооруженным глазом можно только во время полного солнечного затмения, когда намного более яркая фотосфера ненадолго закрывается Луной. Связано это с тем, что даже самые яркие части короны, непосредственно прилегающие к хромосфере, в тысячи раз слабее фотосферы. Вне затмений их можно изучать при помощи специального телескопа, называемого *коронографом*, который сконструирован для создания искусственных затмений.

Солнечные пятна — это темные, относительно холодные участки, которые появляются на яркой фотосфере Солнца. Хотя холодными их можно назвать лишь относительно других участков Солнца, так как на самом деле солнечные пятна ярче и горячее многих звезд. Их температура в области *тени* около 4200 К, а в области *полутени* (внешнем сером поясе, окружающем большое пятно) достигает 5700 К.

Сравнение Солнца с другими звездами показывает, что наше светило почти по всем характеристикам (размеру, массе, светимости, температуре и др.) представляет собой рядовую звезду Галактики.

Размеры корональных петель в десятки раз превышают диаметр Земли.





Выброс солнечного вещества происходит по магнитным линиям

Солнечные пятна впервые зафиксировали китайские астрономы еще в 800 г. до н. э. Самые большие солнечные пятна можно увидеть невооруженным глазом при восходе или при заходе Солнца либо сквозь туман.

Обычно пятна возникают группами (по два и более). Их появление связано с резким локальным усилением солнечного *магнитного поля*, препятствующим конвективному выносу энергии на поверхность светила и тем самым понижающим в этих областях его температуру. Напряженность магнитного поля в районе солнечного пятна может в тысячи раз превышать напряженность земного магнитного поля. Это поле может быть зарегистрировано еще до того, как станет видно само пятно, а также и после его исчезновения. Длительность существования отдельных солнечных пятен может составлять от нескольких часов до нескольких месяцев. Размер типичного солнечного пятна

сопоставим с размером Земли, тогда как большие солнечные пятна могут превосходить размеры Земли в 10 раз и более.

Вначале на диске Солнца образуется темное пятно, имеющее вид поры, затем в течение нескольких дней эта пора разрастается в темный круг диаметром в несколько десятков тысяч километров, с резкой наружной границей. Через три-четыре дня после этого вокруг пятна возникает менее темная полутень, имеющая отличительную радиальную структуру. Обычно пятна развиваются в течение примерно 10 дней и затем на протяжении такого же промежутка времени разрушаются. Наиболее крупные и долгоживущие образования могут наблюдаться на протяжении двух солнечных оборотов (около 60 суток).

Наблюдения показали, что в некоторые моменты на Солнце может появиться больше сотни солнечных пятен, а иногда их может и не быть вовсе. Число солнечных пятен регулярно увеличивается и уменьшается с периодом в 11 лет. Этот 11-летний цикл изменения числа солнечных пятен получил название *цикла солнечной активности*. На протяжении этих 11 лет также изменяются частота появления и количество протуберанцев и других активных образований, форма солнечной короны и прочие характеристики. Основной характеристикой солнечной активности служат так называемые *числа Вольфа*, которые пропорциональны количеству пятен, наблюдаемых на обращенной к Земле части Солнца. Чем выше солнечная активность, тем больше соответствующие ей числа Вольфа.

Протуберанцы — это выбросы газов с солнечной поверхности, несущиеся в сторону от центра светила со скоростью, составляющей десятки и сотни километров в секунду. Протуберанцы поднимаются на сотни тысяч километров над солнечным лимбом. По этой причине их относят к числу са-

мых больших образований в солнечной атмосфере. Вещество протуберанцев частично рассеивается в солнечной короне, частично попадает в область хромосферы. Протуберанцы состоят из относительно холодного (10 000 K) плотного газа в более горячей (10 000 000 K) и более разреженной окружающей короне.

Появление протуберанцев тесно связано с эволюцией солнечных пятен. На первых стадиях развития пятна появляются быстро развивающиеся протуберанцы, которые с течением времени заметно снижают свою активность и постепенно переходят в стадию *спокойных протуберанцев*, время существования которых измеряется неделями. *Эруптивные протуберанцы*, видимые обычно на краю солнечного диска в форме клочковатых дугообразных выбросов, развиваются и разрушаются в течение нескольких часов.

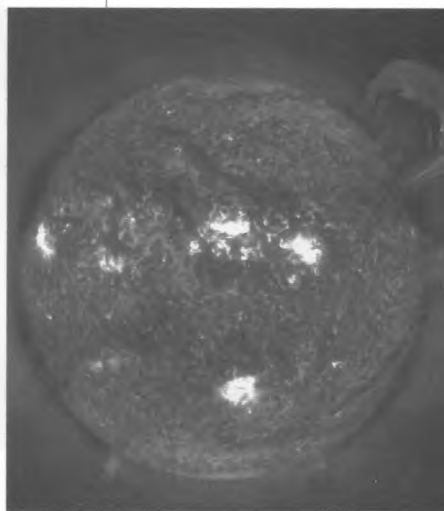
Другой формой активных образований являются *факелы*, имеющие вид ярких струй, прожилок и точек, хорошо видимых лишь на краю солнечного диска. Факелы возникают в областях, где напряженность магнитного поля лишь ненамного превышает среднюю для Солнца величину. В таких небольших локальных магнитных полях улучшаются условия для вертикальной конвекции, что способствует большему выносу внутреннего тепла на поверхность. Именно здесь появляются факелы, температура которых на 200–300 K выше температуры фотосферы. Срок существования факела в среднем составляет несколько недель.

Ось магнитного поля Солнца наклонена на 15° к оси его вращения. По мнению ученых, от северного полушария магнитное поле Солнца распространяется на расстояние около 6 млрд км — через всю Солнечную систему до Плутона. Около границ Солнечной системы оно искривляется и возвращается к южному полушарию Солнца.

Это поле генерируется заряженными частицами, находящимися вокруг Солнца. По всей поверхности Солнца (кроме активных районов) напряженность магнитного поля примерно в 2 раза выше, чем средняя напряженность магнитного поля Земли.

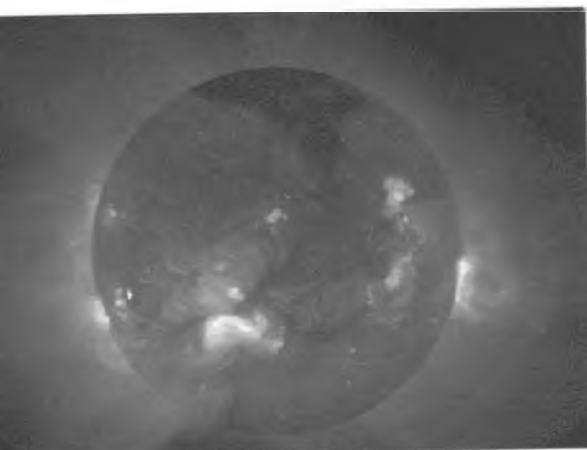
Северный и южный полюса солнечного магнитного поля меняются местами в каждом цикле солнечной активности. Соответственно, через два цикла магнитные полюса возвращаются в первоначальное положение. Поэтому цикл пятнообразования иногда считается в 22 года, а не в 11 лет, как время одного цикла солнечной активности.

Солнце обладает рядом характеристик (например, периодичностью солнечной активности), дающих основание неко-



Гигантский протуберанец высотой свыше 100 тыс. км

На Солнце часто даже при относительно небольшом увеличении можно рассмотреть детали, отличающиеся по яркости от окружающего фона. Наиболее заметными из них являются пятна, факелы и протуберанцы, называемые в совокупности активными образованиями.



Вид Солнца в рентгеновском диапазоне

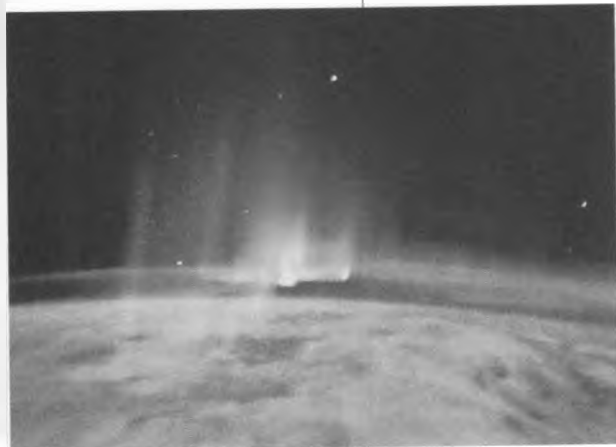
торым ученым относить его к *переменным звездам* (подробнее о них рассказано в следующей главе). Одним из самых ярких (как в прямом, так и в переносном смысле) проявлений переменности нашего светила являются *солнечные вспышки*, представляющие собой неожиданный гигантский взрывной выброс света и вещества из Солнца. Обычно вспышки возникают между молодыми растущими пятнами, где есть зоны с разными знаками направленности магнитного поля. Здесь появляется светлая область, яркость которой быстро уве-

личивается и в течение нескольких минут достигает максимума, увеличиваясь в десятки и даже сотни раз. Жизнь вспышки коротка и продолжается в среднем около 20 минут.

Энергия вспышки обеспечивается за счет энергии сжимающихся магнитных полей вблизи пятен и выделяется за короткое время. Затем в течение десятков минут после максимума происходит постепенное затухание вспышки. Вспышки на Солнце сопровождаются скачкообразным увеличением потока гамма-лучей, вслед за которым значительно возрастает ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоизлучение Солнца. Мощная вспышка может выбросить в Солнечную систему такое количество излучения и частиц, которое сравнимо с взрывом миллиардов водородных бомб.

Излучение достигает Земли через несколько минут, частицы — через несколько дней, и если бы не мощнейшее магнитное поле Земли, то подобный поток солнечного излучения мог бы давно уже уничтожить все живое на планете. Спустя несколько суток после появления на Солнце отдельных вспышек усиливается активность земной ионосферы, возникают магнитные бури и яркие *полярные сияния*.

Северное сияние и южное сияние — это яркие полосы света, которые иногда появляются на ночном небе преимущественно в Арктике и Антарктике, но иногда могут наблюдаться и в средних широтах. Максимальная активность сияния проявляется на широте около 68° . Полярные сияния возникают спустя примерно двое суток после солнечной вспышки и достигают своего пика в среднем через два года после максимума солнечной активности.



Полярное сияние

Во время солнечной вспышки происходит усиление *солнечного ветра* — потока электрически заряженных частиц большой энергии, которые все время улетают из солнечной короны в направлении границ Солнечной системы. Температура солнечного ветра составляет тысячи градусов, а его скорость — сотни тысяч километров в час. Эти значения изменяются вместе с солнечной активностью.

Наиболее силен солнечный ветер в периоды, когда на Солнце видно много пятен и солнечная активность высока. Мощные выбросы солнечного ветра могут вызывать особенно яркие полярные сияния. По мнению ученых, солнечный ветер приходит из районов солнечной короны, называемых *корональными дырами*, где газы намного более разрежены, чем в других местах. Корональные дыры не могут удержать потоки солнечного ветра и позволяют ему вырываться с высокими скоростями.

Являясь центром Солнечной системы, вокруг которого обращаются все тела этой системы, Солнце движется в мировом пространстве подобно другим звездам. По отношению к соседним звездам Солнце движется в направлении созвездия Геркулеса со скоростью 72 000 км/ч (20 км/с). А так как Солнце вместе со своими планетами находится внутри нашей Галактики, то оно обращается вокруг ее центра, в то время как сама Галактика также вращается в пространстве.

Для наблюдения Солнца сегодня астрономы используют наиболее совершенные приборы и методы. За последние два-три десятилетия они собрали больше данных о Солнце, чем за всю историю его изучения.

На Земле специальные *оптические солнечные телескопы* фотографируют видимую поверхность Солнца, где происходят различные изменения, тогда как гигантские *радиотелескопы* принимают и записывают радиоволны от различных участков Солнца. *Инфракрасные телескопы* наблюдают солнечный лимб и солнечные пятна.

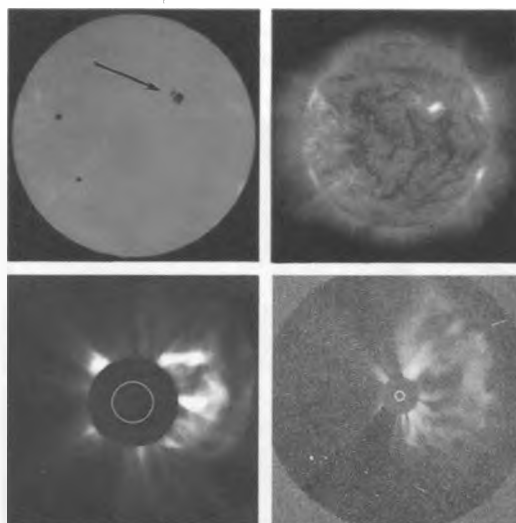
Важный вклад в исследование Солнца вносят и орбитальные *ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-телескопы*. Установленные на космических аппаратах, они регистрируют изображения процессов, происходящих на Солнце в самых горячих и наиболее активных областях.



Солнечный ветер

Конденсационная теория происхождения Солнечной системы рассматривает совместное образование нашего Солнца и его планетной семьи из вращающегося газопылевого облака около 5 млрд лет назад.

Вид Солнца и солнечной короны в разных диапазонах



Звезды: их природа и эволюция

В прежние времена люди верили в уникальность своего светила — Солнца, но с развитием астрономии все более убеждались что это не так. Солнце — это одно из многих небесных светил, называемых звездами.

Звезды — огромные пылающие шары, расположенные за пределами Солнечной системы на расстоянии, нередко исчисляющемся в сотнях, а то и тысячах световых лет.

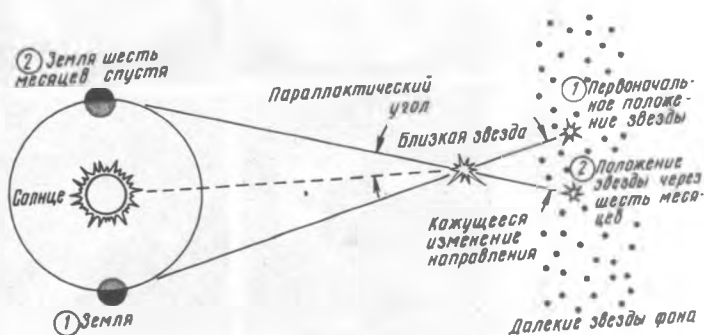
Определение расстояний до звезд

С самого начала существования астрономии одной из основных задач, которая стояла перед учеными, было познание природы звезд, определение их основных характеристик.

Но для того, чтобы установить физические характеристики звезды, прежде всего нужно определить расстояние до нее. Самый распространенный способ определить расстояние до далеких светил — *метод параллакса*. В его основе лежит понятие о *параллаксе звезды* — видимом угловом изменении положения звезды при последовательном наблюдении из разных точек земной орбиты.

Для определения параллакса тщательно измеряется положение звезды по отношению к другим звездам. Через 6 месяцев, когда Земля переместится в диаметрально противоположную точку своей орбиты, проводится повторное измерение положения звезды.

Звездный параллакс



Расстояние до звезды вычисляется с использованием *параллактического угла* — половины видимого углового изменения ее положения, исчисляемого в секундах дуги ($1''/3600$). Поскольку измерять расстояние до звезд в километрах неудобно (слишком громоздкие величины получаются), была введена единица расстояния *парсек*. Один пар-

сек (пк) — это расстояние до звезды, которая имеет параллакс в 1 секунду дуги ($1''$). Один парсек составляет $3,0857 \times 10^{13}$ км, или 3,26 св. года.

Зная параллакс звезды p , определить расстояние D до нее в парсеках можно по формуле:

$$D = 1/p.$$

Однако у данного метода есть один существенный недостаток. Дело в том, что с увеличением расстояния до звезды звездный параллакс уменьшается. А измерен он может быть с Земли с точностью лишь до одной сотой доли секунды ($0,01''$), что соответствует расстоянию в 100 ПК (326 св. лет). Поэтому для звезд, расстояние до которых превышает указанное (а таких звезд — подавляющее большинство), метод параллакса может применяться только с борта космических аппаратов.

Светимость

Одной из важных характеристик звезды, ее полного излучения является понятие *светимость*. Светимостью звезды называют полную энергию, излучаемую звездой в 1 секунду. Часто за единицу светимости принимается светимость Солнца, которая составляет $3,83 \times 10^{26}$ Вт. От светимости отличают видимый *блеск звезды* — какой звезда видна на небе.

Светимость наиболее ярких звезд почти в миллионы раз превышает светимость Солнца. Самые слабые известные нам звезды испускают лишь одну миллионную часть излучения нашего Солнца.

Мерой того, насколько яркой выглядит звезда на небе, является *видимая звездная величина*, обозначаемая буквой m .

Как мы помним из предыдущих разделов, по современной шкале звездных величин звезды 1-й звездной величины ровно в 100 раз ярче, чем звезды 6-й звездной величины.

Существует и другой показатель — *абсолютная звездная величина* — мера светимости, которая показывает, сколько света звезда действительно излучает в пространство. Ученые определяют абсолютную звездную величину как видимую звездную величину,

Скопление звезд разной светимости и звездных величин в Волосах Вероники



которую имела бы звезда, отнесенная от нас на стандартное расстояние в 10 пк, и обозначают буквой M .

Если звезда расположена от нас дальше 10 пк, ее видимая звездная величина численно превосходит абсолютную, если же звезда расположена ближе 10 пк, то ее видимая звездная величина будет численно меньше, чем абсолютная. Различие между видимой звездной величиной (m) и абсолютной (M) называется *модулем расстояния*:

$$m - M = 5 \lg (D/10),$$

где D — расстояние до звезды в парсеках.

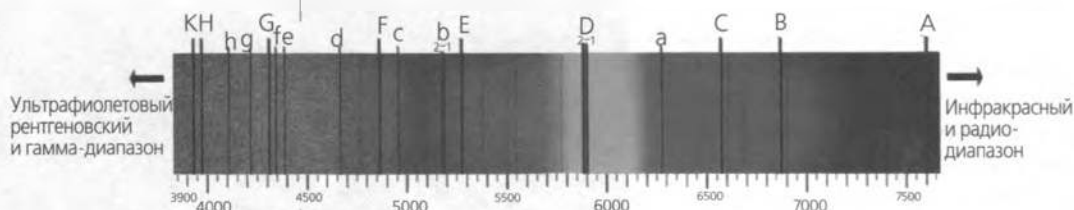
Эта формула позволяет определить расстояние до очень далеких объектов, чьи параллаксы не могут быть измерены, но из анализа спектров могут быть установлены абсолютные звездные величины.

Что таит в себе звездный спектр

Огромное количество информации о физических и химических характеристиках звезд было получено с изобретением метода спектрального анализа. Первой звездой, у которой проанализировали темные линии спектра, было наше Солнце. Как мы уже рассказывали в разделе, посвященном истории астрономии, в начале XIX в. Йозеф Фраунгофер насчитал более шестисот таких линий, называемых теперь *фраунгоферовыми линиями*. С тех пор в каталоги занесено тысячи темных линий солнечного спектра. Сравнивая их со спектральными линиями, образованными различными химическими элементами на Земле, ученые «опознали» на Солнце более 60 химических элементов.

Вид звездного спектра в основном зависит от температуры звезды, хотя определенную роль играет и химический состав. Но установлено, что, даже если у звезд одинаковый химический состав, но разные температуры, вид спектра может существенно различаться. Когда звезду называют гелиевой или водородной, это не означает, что в ее оболочке нет атомов других элементов. Просто при данной температуре их спектральные линии могли не появиться.

Линии Фраунгофера



O6.5		HD 12993
B0		HD 158659
B6		HD 30584
A1		HD 116608
A5		HD 9547
F0		HD 10032
F5		BD 61 0367
G0		HD 28099
G5		HD 70178
K0		HD 23624
K5		SAO 76083
M0		HD 260655
M5		Yale 1755
F4 metal poore		HD 94028
M4.5 emission		SAO 81292
B1 emission		HD 13256

Спектры звезд, относящихся к разным спектральным классам

По спектрам поглощения звезды разделяются на семь различных типов, называемых *спектральными классами*. Первоначально звезды классифицировали по интенсивности водородных линий в их спектрах от самых сильных (класс A) до самых слабых (класс Q) в алфавитном порядке. Сегодня они распределяются по спектральным классам соответственно температуре, но для их обозначения остались традиционные буквы. Поэтому для звезд, расположенных в порядке уменьшения температуры, спектральная классификация (так называемая гарвардская) выглядит так: O, B, A, F, G, K и M.

Звезды *спектрального класса O* относятся к числу очень горячих звезд: температура их внешних слоев составляет от 25 000 до 50 000 К. Это голубые звезды. В спектре подобных звезд присутствуют линии поглощения, производимые атомами ионизованного гелия, азота и кислорода.

Звезды с температурой от 15 000 до 25 000 К входят в *спектральный класс B*. Цвет голубоватый, а в спектре видны главным образом линии поглощения атомов гелия.

Главная особенность следующего по очередности *спектрального класса A* — интенсивная серия линий поглощения Бальмера, принадлежащая атомам водорода. Температура звезд этого спектрального класса — от 8000 до 15 000 К, а цвет — белый.

Далее следует *спектральный класс F*. Звезды этого класса светят желтоватым светом и имеют температуру внешних слоев около 7500 К. В их спектрах присутствуют линии поглощения ионизованных металлов и ослабленные линии поглощения водорода.

Звезды *спектрального класса G* — желтого цвета; имеют температуру, близкую к 6000 К. Этот спектральный класс характеризуется огромным числом линий поглощения, как нейтральных, так и ионизованных металлов. К спектральному классу G относится и наше Солнце.

Звезды *спектрального класса K* имеют оранжевый цвет, температура их поверхности около 5000 К, а спектры содер-

жат многочисленные линии поглощения, производимого нейтральными атомами металлов.

Самыми холодными звездами являются красные звезды *спектрального класса М* — их температура около 3000 К. При такой низкой температуре становятся устойчивыми молекулы различных химических соединений, вследствие чего спектры этих звезд пересечены широкими полосами поглощения молекул (особенно интенсивны полосы поглощения, производимого молекулами окиси титана).

Кроме того, существуют два *дополнительных класса*. В отдельный *класс С* выделены звезды, имеющие такую же температуру поверхности, как и звезды класса К, но отличающиеся своим химическим составом (в их спектрах, помимо линий поглощения нейтральных металлов, видны молекулярные полосы поглощения углерода). К *классу S* отнесены звезды, имеющие такую же температуру, как и звезды класса М (3000 К), но содержащие в спектрах интенсивные полосы поглощения окиси циркония. Встречаются также звезды, которые могут быть отнесены как к классу М, так и к S.

Спектральные классы О, В, А называют ранними спектральными классами, а К, М и S — поздними. Каждый из спектральных классов делится на 10 подклассов, причем самый ранний подкласс обозначается нулем (например А0). Исключением является спектральный класс О, начинающийся с подкласса О3.

Анализ спектра звезд позволяет получить информацию не только о температуре и химическом составе небесного тела. Тщательное изучение с помощью чувствительных фотометров *формы спектральных линий* дает представление о некоторых физических характеристиках звезды:

- *уширение линий вследствие столкновений атомов* указывает на плотность газа;
- *уширение линий* также указывает на осевое вращение звезды вокруг своей оси. Если оно наблюдается, то по уширению линий можно установить нижний предел скорости вращения звезды вокруг своей оси;
- по *магнитному уширению* определяется средняя напряженность магнитного поля. В магнитном поле происходит расщепление либо уширение спектральных линий.

Используя спектр, мы можем определить и *пространственную скорость* звезды (ее движение в космосе по отношению к Солнцу), которая складывается из двух компонентов: *лучевой скорости*, или скорости вдоль луча зрения к Солнцу или от Солнца, и *собственного движения*, или изменения углового положения звезды за год по отношению к другим, гораздо более удаленным звездам.

Лучевая скорость звезды определяется из анализа ее спектра на предмет доплеровского смещения. Как мы помним, если звезда движется к нам, то длины волн (спектральные линии) становятся короче (*фиолетовое смещение*), а если звезда движется от нас, то длины волн увеличиваются (*красное смещение*). Для определения лучевой скорости спектральные линии звезды сравнивают с эталонным спектром.

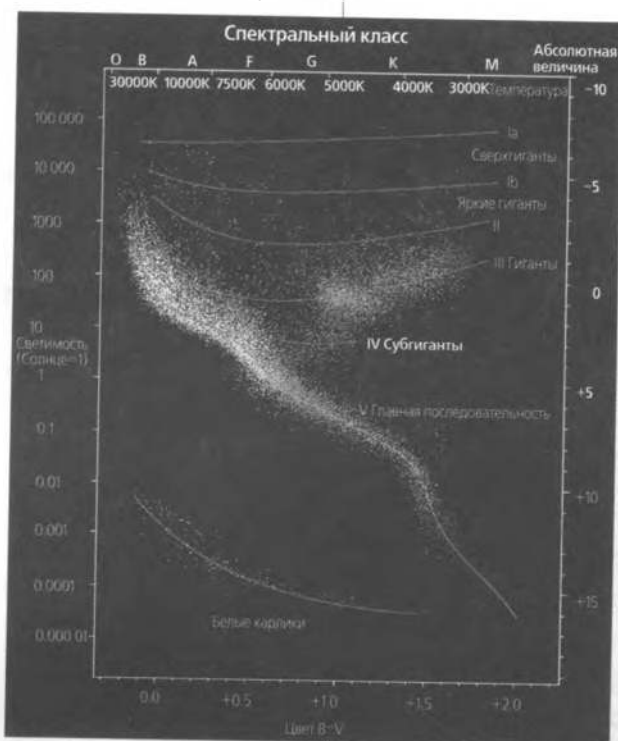
Собственное движение звезд устанавливают по измерению с интервалом в 20–30 лет. Среднее собственное движение всех звезд, видимых невооруженным глазом, меньше 0,1 секунды дуги (0,1") за год.

Диаграмма Герцшпрунга — Рассела

Важное значение для изучения звезд имеет зависимость между спектральным классом звезды и ее светимостью. Эта зависимость, представленная в графическом виде, получила название *диаграмма Герцшпрунга—Рассела* (Г-Р-диаграмма), по имени своих авторов. На горизонтальной оси этой диаграммы расположены спектральные классы звезд в порядке понижения температуры, а на вертикальной оси откладываются абсолютные звездные величины в порядке возрастания светимости. Если заполнить эту диаграмму, то оказывается, что точки группируются в избранных местах — *последовательностях*. При этом наибольшее количество точек (около 90%) заполняет наклонную полосу, которая называется *главной последовательностью*. Она тянется от верхнего левого угла (горячие, с очень большой светимостью *голубые гиганты*) через всю диаграмму к нижнему правому (холодные, слабосветящиеся *красные карлики*). Большая часть оставшихся звезд попадает в верхнюю правую часть (холодные, яркие *гиганты* и *сверхгиганты*) или в левый нижний угол (горячие, с низкой светимостью *белые карлики*).

Положение звезды на главной последовательности определяется

Диаграмма Герцшпрунга—Рассела (диаграмма спектральный класс — светимость). Фиолетовыми линиями отмечены классы светимости



Массы звезд, расположенных вдоль главной последовательности, не изменяются в таких же огромных пределах, как их светимости. Самые слабосветящиеся красные карлики имеют массу примерно в одну десятую солнечной, в то время как самые большие массы устойчивых звезд примерно в 60 раз больше солнечной.

Близкая пара звезд в Большой Медведице, объект М 40 каталога Мессье

ее *массой*. По сути, — это последовательность звезд разной массы от наиболее массивных, расположенных в верхней части диаграммы, до наименее массивных, обладающих наименьшей светимостью, — в нижней части диаграммы.

Изучение двойных звезд, о которых чуть позже мы поговорим подробнее, показало, что наиболее массивные звезды обладают и наибольшей светимостью, причем светимость звезды примерно пропорциональна ее массе, возведенной в степень 3,5.

На основании *закона излучения Стефана—Больцмана*, гласящего, что светимость звезды L пропорциональна квадрату радиуса R , умноженного на четвертую степень температуры поверхности T , может быть вычислен размер звезды:

$$R = \sqrt{L / (4\pi\sigma T^4)}$$

где σ — постоянная Стефана—Больцмана.

Размер звезд главной последовательности изменяется постепенно от больших бело-голубых гигантов до широко распространенных холодных красных карликов, радиус которых составляет лишь одну десятую радиуса Солнца. Самыми большими звездами являются *сверхгиганты* (например, Бетельгейзе из созвездия Ориона, радиус которой почти в 400 раз больше солнечного). Самыми маленькими из распространенных звезд являются *белые карлики*, размер которых приблизительно равен размеру Земли.

В результате сравнительно небольших отличий в массе, но значительной разницы в размерах, различия в плотности вещества тех или иных видов звезд может достигать фантастических величин. Например, белые карлики отличаются от сверхгигантов по плотности в 10^{23} раз!

Двойные звезды

Многие звезды невооруженному глазу кажутся одиночными, но если посмотреть на них в телескоп, то можно обнаружить, что у них есть один, два, а иногда и несколько спутников. Такие звезды называются *двойными* и *кратными*. Двойная звезда образуется двумя звездами, связанными взаимным притяжением и обращающимися вокруг общего центра масс. Кроме двойных, встречаются также и кратные звезды, состоящие из трех и более компонентов. Существует несколько разновидностей двойных звезд.



Двойная звезда
Сириус А и Сириус В

Оптические двойные звезды — это случайно расположенная близкая пара звезд на небесной сфере, физически не связанная между собой. Нередко одна из звезд находится значительно дальше, чем другая.

Визуальными-двойными называются звезды, которые видны как две отдельные звезды при визуальных наблюдениях, в том числе и в телескоп. Известно свыше 70 000 визуально-двойных звезд, среди которых и самая близкая к нам звезда — α Кентавра. Первой двойной звездой, открытой еще в 1650 г., была двойная звезда Мицар-Алькор в Ковше Большой Медведицы.

Но, как правило, визуально увидеть спутник тяжело, поскольку он меркнет в присутствии более яркой главной звезды. Однако установить его наличие можно по вариациям в собственном движении видимой звезды. Тогда мы говорим об *астрометрических двойных звездах* — видимой звезде плюс невидимый спутник. Известный пример такой звезды — Сириус, который с 1844 г. считался астрометрической двойной звездой, пока в 1862 г. не был визуально зафиксирован его слабый спутник Сириус В.

Спектральные двойные звезды определяются при изучении спектров. По мере того как компоненты пары то приближаются к Земле, то удаляются, происходит доплеровское смещение спектральных линий. Всего исследовано около 800 таких звезд. В частности, выяснилось, что Мицар, входящая в визуальную двойную звезду Мицар-Алькор, сама является спектрально двойной со своим ярким компонентом Мицар А.

Затменные двойные звезды так расположены относительно друг друга, что одна из звезд проходит перед второй, ослабляя ее свет через правильные промежутки времени. В связи с этим блеск затменной двойных звезд регулярно меняется. Примером затменной двойной звезды является видная невооруженным взглядом звезда Алголь в созвездии Персея, имеющая пе-

риод примерно 2 дня 21 час в интервале звездных величин от 2,2 (наибольший блеск) до 3,5 (наименьший блеск).

Переменные звезды

Еще одна разновидность звезд — переменные звезды, видимый блеск которых изменяется со временем. Всего открыто, классифицировано и занесено в каталоги несколько десятков тысяч переменных звезд. Они обозначаются прописными буквами латинского алфавита либо числом, перед которым стоит буква V (от *variable* — переменный).

По мнению многих ученых, большинство звезд, в том числе и наше Солнце, являются переменными. Амплитуда, период и характер изменения блеска звезды зависят от типа ее переменности.

Затменные переменные звезды. В настоящее время известно несколько тысяч таких звезд. Каждая из них представляет собой систему из двух звезд, плоскость вращения которых так расположена в пространстве, что при движении вокруг общего центра масс звезды по очереди закрывают от нас друг друга. Многочисленность этого типа переменных звезд объясняется тем, что большая половина звезд нашей Галактики входит в состав двойных систем, о которых мы говорили перед этим.

Пульсирующие переменные звезды представляют собой звезды, внешние слои которых в такт изменениям температуры периодически вздуваются и опадают. В ритме этих изменений колеблется блеск звезд. Нарастание блеска происходит, как правило, с большей скоростью, чем его последующее ослабление.

Самыми удивительными среди пульсирующих звезд является группа звезд, объединенная общим названием *цефеиды* (по названию первой открытой звезды такого типа — δ из созвездия Цефея). Эти звезды строго сохраняют период пульсаций и отличаются сравнительно небольшими амплитудами изменения блеска, которое характеризуется быстрым увеличением и плавным уменьшением излучения. В течение суток блеск этой переменной может возрасти почти на целую звездную величину.

При изучении цефеид выяснилось, что чем выше абсолютная звездная величина цефеиды, тем больше ее период. Установив путем наблюдений период звезды, можно вычислить ее истинную светимость и расстояние до нее. Именно благодаря цефеидам были точно определены расстояния до различных

Переменная звезда
V838 Единорога



участков Млечного Пути, шаровых скоплений, спутников нашей Галактики и других удаленных небесных объектов. По этой причине цефеиды называют «маяки Вселенной».

Причина изменения блеска цефеид заключается в том, что находящийся неглубоко под наружными слоями звезды ионизованный газ временами задерживает и накапливает энергию, идущую из недр звезды, а затем порциями передает ее наружу. Это приводит к тому, что оболочка звезды нагревается изнутри периодически, в такт поступающим порциям энергии.

Все цефеиды — звезды-гиганты, превосходящие Солнце размером в десятки, а иногда и сотни раз, а их светимость превышает светимость нашего светила в сотни и тысячи раз. Температура поверхности цефеид составляет 7000–6000 К, из-за чего они имеют беловато-желтый цвет.

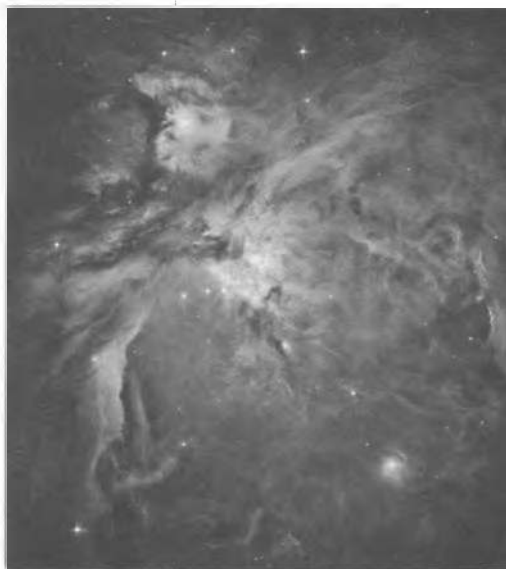
Еще одной разновидностью переменных звезд являются так называемые *зрूपтивньне звезды*. Это взрывные переменные звезды, характеризующиеся циклическими или неправильными колебаниями яркости. На некоторых стадиях развития, обычно в начале и в конце эволюционного пути, равновесие в звездах нарушается, и в их недрах происходят существенные изменения, отражающиеся на их видимой яркости. Молодые звезды очень активно взаимодействуют с окружающим их газово-пылевым веществом. Кроме того, звезды сами выбрасывают в околозвездное пространство вещество и создают свои собственные пылевые оболочки (см. рис. на с. 172). Вещество таких оболочек частично рассеивается в окружающем пространстве, частично снова падает на звезду, а этот расход пополняется новыми порциями материи, выброшенной звездой. В результате блеск таких звезд изменяется самым непредсказуемым образом.

В туманности Ориона идет активный процесс образования звезд

Звездная эволюция

Говоря о циклах жизни звезд, или их эволюции, следует помнить, что мы не в состоянии наблюдать этот процесс непосредственно, поскольку он происходит на протяжении миллиардов лет. Согласно современным представлениям, звезды зарождаются в газо-пылевой диффузной среде в результате гравитационного сжатия отдельных газовых облаков под действием собственного тяготения.

Для разработки эволюционных теорий большое значение имеет уже рассмотренная нами





Оранжевая звезда в центре снимка — это Т Тельца, прототип класса переменных звезд типа Т Тельца. Желтое пылевое космическое облако около нее — переменная туманность Хинда (NGC 1555/1554).

левых облаках. В настоящее время астрономы имеют возможность наблюдать за звездообразованием, которое происходит в знаменитой *туманности Ориона* (газо-пылевом облаке), расположенной на расстоянии приблизительно 1500 св. лет от Солнца в созвездии Ориона. В телескоп туманность имеет зеленоватый оттенок, который, по мнению астрономов, вызван свечением газов, которое обусловлено вновь образовавшимися звездами.

Первым этапом звездообразования можно считать формирование протозвезды. *Протозвезда* — это огромное вращающееся, сжимающееся газообразное облако, образовавшееся внутри существующих в космосе облаков газа (в основном водорода) и пыли.

Под действием сил гравитации вещество стягивается в центр звезды, вызывая ее сжатие. Гравитационное сжатие приводит к быстрому повышению внутреннего давления и температуры, в результате чего тепло начинает распространяться от горячих недр к более холодной поверхности. Протозвезда излучает эту энергию в космос, сияя темно-красным светом.

Когда температура в центре протозвезды превышает 10 млн К, начинаются реакции *ядерного синтеза*, в результате которых высвобождается огромное количество энергии. Когда направленная наружу сила давления горячих газов приходит в равновесие с силами гравитации, стягивающими вещество в центр, протозвезда перестает сжиматься и начинает равномерно излучать свой собственный свет в космос, превращаясь в звезду.

Время, в течение которого звезда проходит все стадии своего развития — от рождения до смерти, — зависит от ее *массы* и первоначального *химического состава*. Звезды одного химического состава, но с разными массами проходят свой жизненный цикл с разной скоростью, причем звезды, обладающие намного большей массой, эволюционируют быстрее всех, в то время как звезды с малой массой — дольше всех.

Г-Р-диаграмма. Ученые делают теоретическое предсказание относительно последовательности изменений светимости и температуры звезд по мере их продвижения от рождения к смерти. Эти изменения наносят на Г-Р-диаграмму и строят теоретические *эволюционные треки*. После этого теоретические Г-Р-диаграммы сравнивают с Г-Р-диаграммами для групп реальных звезд.

Как мы уже сказали, согласно распространенным представлениям, звезды рождаются в межзвездных газо-пы-

Большую часть своего существования температура и светимость звезды остаются неизменными, и их значения соответствуют положению звезды на главной последовательности Г-Р-диаграммы. Основным источником энергии звезд главной последовательности являются реакции ядерного синтеза, в результате которых находящийся в центре звезды водород превращается в гелий. Четыре ядра водорода объединяются в одно ядро гелия, которое по массе оказывается меньше, чем масса четырех ядер водорода, взятых по отдельности. Избыточная масса превращается в энергию и высвобождается в виде излучения.

Количество энергии, высвобождаемой в результате реакции ядерного синтеза, вычисляется по формуле Альберта Эйнштейна $E = mc^2$, где E — энергия, m — разница в массе и c — скорость света.

Самые массивные, горячие звезды заканчивают свой цикл существования раньше других, потому что быстрее исчерпывают запасы водорода. Например, бывает, что время существования *голубых гигантов* исчисляется несколькими миллионами лет, что по меркам Вселенной крайне мало. Звезды с наименьшей массой, холодные и слабосветящиеся, живут дольше всех, потому что «экономно» расходуют водородное топливо. Самыми старыми и наиболее многочисленными звездами главной последовательности являются *красные карлики* с малой массой, чья жизнь продолжается многие миллиарды лет.

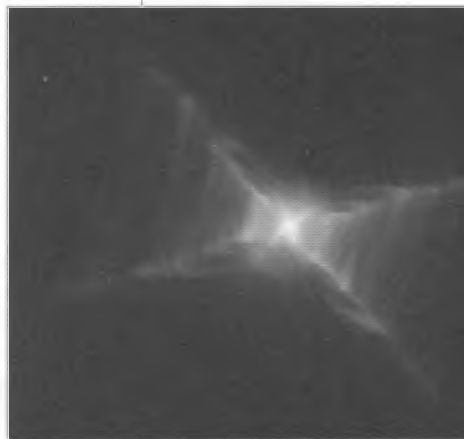
Когда в ядре звезды заканчивается водородное топливо, оно начинает сжиматься под действием сил гравитации, в результате чего повышается его температура. Увеличение температуры приводит к ускорению выгорания оставшегося на границе гелиевого ядра водорода, что вызывает рост светимости звезды. Огромное количество энергии, высвобождаемое в результате горения водорода и гравитационного сжатия, заставляет звезду расширяться до гигантских размеров, и ее плотность становится очень низкой (за исключением ядра).

В результате стремительного расширения звезды температура ее внешних слоев снижается, и ее цвет становится красным. Звезда превращается в огромную красную стареющую звезду — *красного гиганта*, — яркую за счет огромной площади излучающей поверхности, но с низкой температурой внешних слоев. Самыми известными сверхгигантами на нашем небе являются Бетельгейзе и Антарес, диаметр которых более чем в 400 раз превосходит диаметр Солнца.

Продолжающееся гравитационное сжатие гелиевого ядра приводит к повышению его температу-

Ученые считают, что и наше Солнце пройдет стадию красного гиганта и будет светить настолько ярко, что на Земле расплавятся горные породы, испарятся океаны, и жизнь в той форме, какой мы ее сейчас знаем, прекратится.

Протопланетарная туманность HD 44179: асимметричный выброс газо-пылевой материи красным гигантом





Сверхновая в созвездии Паруса взорвалась 11 тыс. лет назад

На небе обнаружено около тысячи планетарных туманностей. По мнению ученых, их возраст меньше 50 000 лет, так как атомы газов в планетарных туманностях быстро разлетаются и через 100 000 лет оболочка становится слишком разреженной, чтобы ее можно было заметить.

ры до 100 млн К. При этих температурах начинают протекать реакции ядерного синтеза, в результате которых гелий превращается в углерод. Внутри массивных красных гигантов при последующих реакциях синтеза могут образоваться кислород, натрий, магний и другие химические элементы тяжелее гелия. При еще более высоких температурах могут образовываться металлы, например железо.

Наступает момент, когда начинается горение гелиевого ядра. При этом ядро почти не расширяется, и температура быстро повышается без стабилизирующего расширения. Это неуправляемое горение гелия при ненормальных условиях называется *гелиевой вспышкой*. Через некоторое время температура поднимается достаточно высоко, чтобы ядро начало опять расширяться. Происходит охлаждение,

и горение гелия протекает теперь с постоянной скоростью.

В результате непонятных современной науке процессов звезда может несколько раз переходить из области красных гигантов на главную последовательность и обратно, пока не достигнет заключительной стадии своей эволюции. Вероятно, большинство звезд, перед тем как окончательно погибнуть, превращаются из красных гигантов в пульсирующие переменные звезды, о которых мы рассказывали ранее. Они периодически расширяются и сжимаются, становясь соответственно то ярче, то слабее.

Последняя стадия эволюции до окончательного умирания во многом зависит от массы звезд. Маленькие звезды, масса которых не превышает 1,4 солнечной, окончательно умирают без каких-либо катаклизмов, тихо угасая. Очень массивные звезды кончают свою жизнь мощным взрывом — взрывом *сверхновой*, ярко вспыхивая перед тем, как закончить свой жизненный цикл.

Когда звезды, подобные нашему Солнцу, исчерпывают запасы гелиевого топлива, то в последний раз становятся разбухшими красными гигантами, после чего сбрасывают в окружающее пространство часть своей массы. Наиболее удаленная от центра водородная оболочка звезды улетает в космос. Эта расширяющаяся газовая оболочка называется *планетарной туманностью* и имеет поперечник от 0,5 до 1 св. года. Покидая ядро звезды, она продолжает расширяться со скоростью примерно 20–30 км/с.

После утраты газовой оболочки у звезды остается углеродное ядро, окруженное слоем «горящего» гелия. Исчерпав все свое ядерное топливо, звезда не может больше проти-

востоять силам гравитации — она продолжает сжиматься, и силы гравитации стягивают вещество в центр. Гравитационное сжатие вызывает резкое повышение температуры и давления, в результате чего от атомов отрываются электроны. Звезда превращается в горячий *белый карлик*, вещество которого состоит из свободных электронов и голых ядер.

На определенном этапе, когда белый карлик достигает земных размеров, он не может больше сжиматься. Плотность подобной звезды достигает колоссальных величин, и сила тяжести на ней в 350 000 раз больше, чем на Земле.

В случае, если белый карлик принадлежит двойной системе, на этой стадии эволюции он может вспыхнуть *новой звездой*, поскольку вещество со второй звезды может падать на белый карлик и вызывать короткий, но яркий пожар.

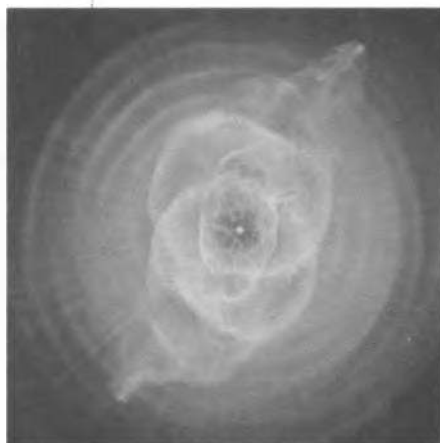
Постепенно белый карлик остывает и превращается в тускло-красную звезду, излучающую в космос последние запасы энергии. Затем и это излучение прекращается, и белый карлик становится мертвым *черным карликом* — безжизненной глыбой сверхплотного вещества.

Как мы уже говорили, массивные звезды (масса которых примерно в четыре раза больше солнечной) перед своей смертью могут превратиться в *сверхновую*, что представляет собой гигантский звездный взрыв.

Массивное углеродное ядро подобной звезды сжимается за счет сил гравитации так же, как и у меньших звезд. Но в отличие от небольших звезд здесь температура ядра все время продолжает повышаться и доходит до 600 млрд К, когда начинает «гореть» углеродное ядро. После того как в реакции ядерного синтеза углерод начинает превращаться в магний, сжатие (*коллапс*) прекращается.

После выгорания углерода начинается новый цикл — гравитационное сжатие, повышение температуры, начало новых ядерных реакций, образование новых элементов и прекращение коллапса. Завершает последовательность подобных циклов железо, которое не высвобождает энергию при протекании ядерных реакций. Звезда коллапсирует последний раз до тех пор, пока не достигнет предела сжимаемости, после чего она взрывается. Количество света, излучаемое сверхновой звездой, в миллиард раз превосходит светимость Солнца.

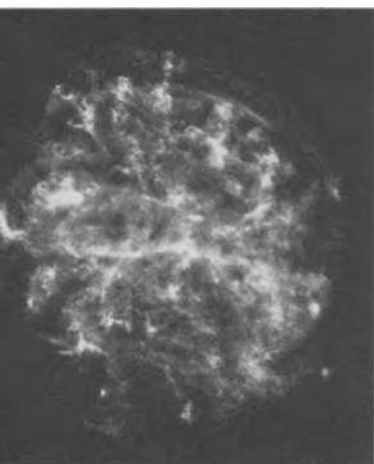
Самым известным примером сверхновой было зафиксированное в 1054 г. китайскими астрономами и американскими индейцами появление на небе свер-



Классическая планетарная туманность Кошачий глаз (NGC 6543) — последний этап в жизни звезды, похожей на Солнце

Малая массивная звезда, AFGL 2591 в созвездии Лебедя еще не завершила процесс своего формирования и окружена обширной туманностью. В конце жизненного цикла такая звезда может взорваться как сверхновая





Остатки сверхновой в созвездии Кентавра богаты кислородом, неоном и магнием. Рентгеновское изображение получено орбитальной обсерваторией «Чандра»

Крабовидная туманность. В центре находится пульсар в Крабе — нейтронная звезда размером с город, с сильным магнитным полем, вращающаяся со скоростью 30 оборотов в секунду



кающей звезды, которая была видна даже днем. Это была сверхновая звезда в созвездии Тельца, на месте которой в настоящее время существует расширяющееся со скоростью 1500 км/с газовое облако — *Крабовидная туманность*. Поперечник этой туманности достигает 10 св. лет, а в ее центре находится остаток ядра взорвавшейся звезды.

Взрыв сверхновой выбрасывает в космос целый букет элементов:

- водород и гелий, существующие с момента формирования звезды;
- углерод, кислород и азот, которые образуются внутри пылающих ядер стареющих звезд;
- свинец и золото, образующиеся при чрезвычайно высоких температурах под действием интенсивных пучков нейтронов, возникающих во время взрыва сверхновых.

Вещество, выброшенное в космос в результате взрывов массивных звезд, становится источником для формирования новых звезд и планет.

По мнению ученых, после взрыва сверхновой остаток, имеющий массу больше солнечной, настолько сильно сжимается в сверхплотный шар, что его поперечник становится равным всего лишь 10 км. Плотность вещества в центре такой *нейтронной звезды* может достигать 10^{15} г/см³ (что в 10^{15} раз превосходит плотность воды). Ее ядро состоит в основном из нейтронов. Существование таких сверхплотных звезд было теоретически предсказано еще в 30-х годах Л.Д. Ландау, а также Р. Оппенгеймером и Х. Снайдером.

Практическому открытию нейтронных звезд помогло обнаружение в 1968 г. в центре Крабовидной туманности *пульсара* — астрономического объекта, дающего строго периодическое импульсное электромагнитное излучение с периодами порядка секунды и долей секунды. В наши дни уже установлено, что пульсары — это вращающиеся нейтронные звезды с мощным магнитным полем.

На сегодняшний день известно уже более 1600 пульсаров. Эти объекты обладают рядом поразительных свойств. Во-первых, период излучения пульсара для астрономического объекта очень мал (порядка 1 секунды). Во-вторых, периоды пульсаров поразительно стабильны, и их можно определить с огромной точностью. С течением же времени у большинства

пульсаров наблюдается медленное вековое увеличение периода пульсаций.

Подавляющее большинство из пульсаров излучают главным образом в радиодиапазоне, хотя есть несколько пульсаров, излучающих в видимом и рентгеновском диапазонах. Свою энергию вращения пульсар черпает из запасов гравитационной энергии сжимающегося ядра, вращаясь со скоростью несколько оборотов в секунду. Поле тяготения нейтронной звезды достаточно велико, чтобы не дать ей распасться от такого быстрого вращения, тогда как менее плотная звезда разлетелась бы на куски, если бы вращалась с такой скоростью. Ось магнитного поля пульсара расположена под большим углом к его оси вращения, причем у некоторых пульсаров угол между этими осями может достигать 90° , так что магнитные полюса находятся на экваторе звезды.

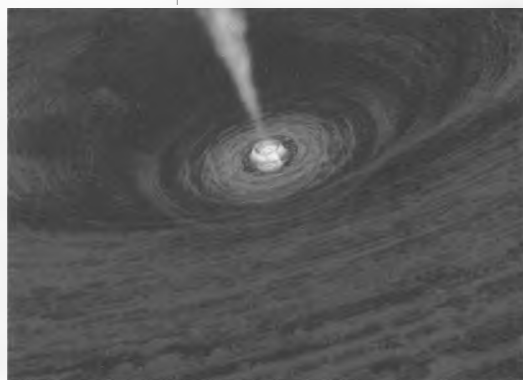
Из-за торможения магнитным полем вращение пульсара замедляется. Магнитные силовые линии как бы наматываются вокруг вращающейся нейтронной звезды, сопротивляясь дальнейшему закручиванию. В результате период пульсаций растет. И со временем, теряя скорость вращения, он фактически перестает быть пульсаром. Время, в течение которого это происходит, зависит от магнитного поля пульсара и составляет примерно 10^7 – 10^8 лет.

Очень массивная звезда может продолжать сжиматься (коллапсировать) и после стадии нейтронной звезды до превращения в таинственный объект, называемый *черной дырой*. Плотность вещества в черных дырах огромна, поскольку масса, равная солнечной, сжимается в шар поперечником меньше 2,5 км. Сила тяготения такой звезды настолько велика, что, согласно теории относительности Эйнштейна, она засасывает все, что к ней приближается, даже свет. Черную дыру невозможно увидеть, потому что ни свет, ни вещество, никакой другой сигнал не может преодолеть ее тяготение.

Одним из возможных кандидатов на гордое звание черной дыры является рентгеновский источник Лебедь X-1, расположенный на расстоянии 8000 св. лет (2500 пк) в созвездии Лебедя. Лебедь X-1 — это затменная двойная звезда с периодом 5–6 дней. Ее наблюдаемый компонент — голубой сверхгигант, у которого из ночи в ночь наблюдаются изменения в спектре. Рентгеновские лучи испускает невидимый компаньон этой системы, который своим гравитационным полем засасывает вещество с поверхности рядом расположенной звезды на вращающийся диск, образующийся вокруг черной дыры.

Согласно одной из теорий, выдвинутой Т. Голдом, радиоизлучение возникает в атмосфере пульсара, состоящей из электрически заряженных частиц. В другой теории, предложенной В. Радхакришнаном и Д. Куком, предполагается, что излучение возникает возле самой поверхности пульсара, у его магнитных полюсов.

В центре водоворота из горячего газа, окружающего объект GRO 1655-40, находится черная дыра. Присутствие черной дыры, а также ее вероятные характеристики можно определить по излучению вращающегося газа



Галактика

Млечный Путь



Шарль Мессье

Галактика М 31 (NGC 224) – туманность Андромеды.



Галактика — это совокупность миллиардов звезд совместно с межзвездной средой — газом и пылью, удерживаемых в ограниченном пространстве силами гравитации.

Если взглянуть на ночное небо даже в небольшой телескоп, то можно обнаружить большое количество туманообразных объектов. Впервые каталог таких объектов был составлен в конце XVIII в. французским астрономом Шарлем Мессье (1730–1817) и получил впоследствии его имя. Многие известные объекты до сих пор обозначаются номерами по этому каталогу (например, спиральная галактика туманность Андромеды — М 31).

Спустя столетие Й.Л. Дрейер (1852–1926 гг.) составил новый каталог, получивший название Новый общий каталог туманностей и звездных скоплений (New General Catalogue — NGC). Поскольку этот каталог включал в десятки раз больше объектов (6000 в отличие от 100 объектов каталога Мессье), то большинство известных сегодня объектов обозначаются по их номерам в этом каталоге (та же галактика Андромеды имеет обозначение NGC 224).

Наша планетная система и все видимые на небе звезды со своим системами принадлежат Галактике, иногда фигурирующей под именем «*Млечный Путь*». Дело в том, что млечная полоска света, видимая на небе в ясные ночи, которую наши предки и называли Млечным Путем, является центральной частью нашей Галактики. Если взглянуть на эту полосу в телескоп, то можно увидеть, что она состоит из множества звезд.

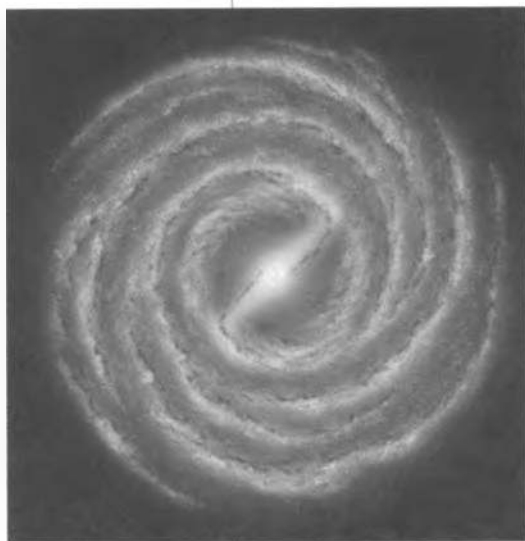
По подсчетам астрономов, наша Галактика состоит из более чем 100 млрд звезд, расположенных в пространстве на огромных расстояниях друг от друга. В среднем расстояние от какой-либо звезды до ближайшей соседней составляет около 5 св. лет.

Из-за того, что мы живем внутри Солнечной системы, которая, в свою очередь, движется внутри огромной Галак-

тики, мы не можем увидеть наш галактический дом извне. Поэтому ученые реконструируют ее внешний вид с помощью изображений других галактик, подобных нашей звездной системе.

Со стороны галактика Млечный Путь выглядит как колесо с закрученными спиральными поперечником примерно 100 000 св. лет (30 000 пк). Наша Земля вместе с Солнцем расположена в одном из спиральных рукавов. С ребра наша Галактика выглядит как диск с выступающим центральным утолщением. Толщина этого утолщения примерно 10 000 св. лет (3000 пк). Толщина диска составляет примерно 1000–2000 св. лет (300–500 пк). Наше Солнце находится на расстоянии 26 000 св. лет (8 000 пк) от центра.

На основе доплеровского смещения спектральных линий излучения, приходящего из спиральных рукавов, было установлено, что наша Галактика вращается вокруг своей оси, проходящей через ее центр — ядро Галактики. Скорость вращения такова, что Солнечная система обращается вокруг центра Галактики со скоростью примерно 800 000 км/ч (250 км/с). Кроме того, вся наша Галактика движется в пространстве в направлении созвездия Гидры со скоростью более 1 500 000 км/ч.



Так выглядит наша галактика Млечный Путь со стороны (реконструкция)

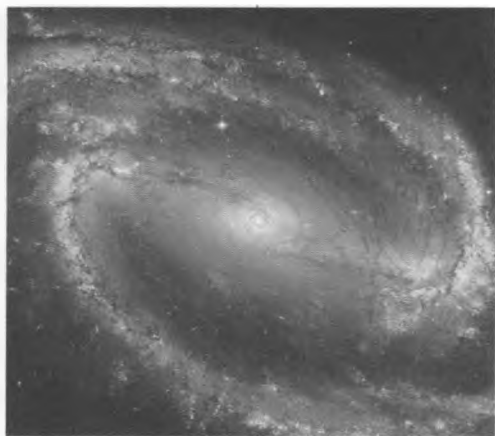
Классификация галактик

Существующие галактики отличаются разнообразными формами и размерами. Наиболее распространенная система их классификации была предложена американским астрономом Эдвином Хабблом (1889–1953) в 1926 г. Он предложил различать галактики по их структуре и выделил три основных вида: спиральные (S), неправильные (I) и эллиптические (E).

Спиральные галактики характеризуются большим разнообразием форм и делятся на два основных типа — нормальные и пересеченные спирали. *Нормальные спиральные галактики S* (например, наш Млечный Путь), имеют сплюснутый диск, ядро, гало (сферическое облако разреженного горячего газа и звезд) и спиральные рукава, вращающиеся вокруг центра. Они обозначаются Sa, Sb или Sc в зависимости от степени закрученности рукавов. Спиральные галактики содержат

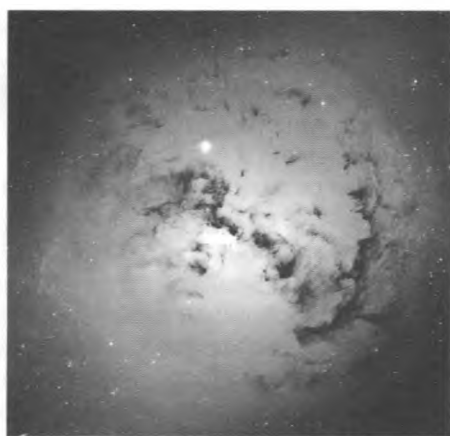
Эдвин Хаббл





Спиральная SB галактика (слева)

Гигантская эллиптическая галактика NGC 1316 (справа)



в рукавах звезды классов О и В, а также большое количество газа и пыли в диске. *Пересеченные спиральные галактики SB* выглядят как нормальные спиральные с той лишь разницей, что их спиральные рукава начинаются от концов перемычки, представляющей собой скопление материи. Больше половины всех галактик относятся именно к этому типу.

Эллиптические галактики, обозначаемые буквой Е, имеют яйцевидную форму. Они могут быть как почти идеальными сферами (Е0), так и наиболее вытянутыми (Е7). В эллиптических галактиках нет заметного количества газа и пыли для образования новых звезд, поэтому в них преобладают старые звезды.

Неправильные галактики Ir не имеют определенной геометрической формы, у них может отсутствовать центральное ядро и плоскость симметрии вращения (например, к этому типу относятся галактики Большое и Малое Магеллановы Облака). Они обычно содержат газ и пыль, в основном молодые яркие звезды и некоторое количество старых звезд.

В последнее время выделяют еще один вид галактик — *линзовидные галактики (S0)*. Эти галактики внешне похожи на

Неправильная галактика IC 10 находится на расстоянии 1,8 млн св. лет от Солнца



эллиптические, но в отличие от них имеют звездный диск. По своей структуре они больше сходны со спиральными галактиками, от которых отличаются отсутствием плоской составляющей и спиральных ветвей.

Причина разнообразия форм и размеров галактик до сих пор не установлена. Э. Хаббл предлагал модель «камертона», вдоль которого он расположил галактики различной формы. Хаббл предположил, что зарождаются галактики в виде эллиптических, затем по мере их старения изменяются в спиральные и в конце концов умирают как неправильные галактики.

Согласно другой теории, галактики эволюционируют противоположным путем: они начинают свой жизненный цикл как неправильные, затем коллапсируют в спиральные и в конце концов закручиваются в эллиптические.

Нашу Галактику относят к спиральному типу галактик, в которых большая часть звезд находится в центральных ядрах и спиральных рукавах, вращающихся вокруг центра.

Существует небольшой процент галактик, которые отличаются высокой активностью ядра, проявляющейся в виде интенсивного электромагнитного излучения или выброса вещества в межзвездное пространство. Они выделяются в отдельные подгруппы.

Наиболее распространены так называемые *сейфертовские галактики*, которые выглядят как массивные спиральные галактики, в центре которых наблюдается яркий звездообразный источник с малыми угловыми размерами. Диаметр ядра сейфертовской галактики обычно равен только 10 св. годам, но светит она в 100 раз ярче (в инфракрасном диапазоне), чем нормальная галактика размером с Млечный Путь.

Еще одной разновидностью галактик с активными ядрами являются *радио-галактики*, излучающие огромное ко-

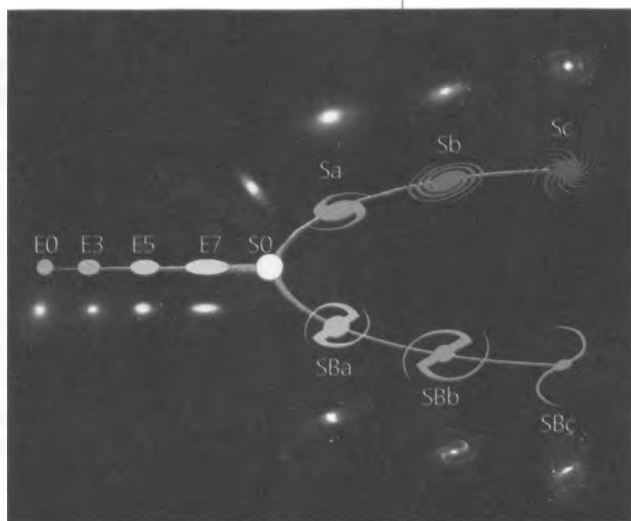
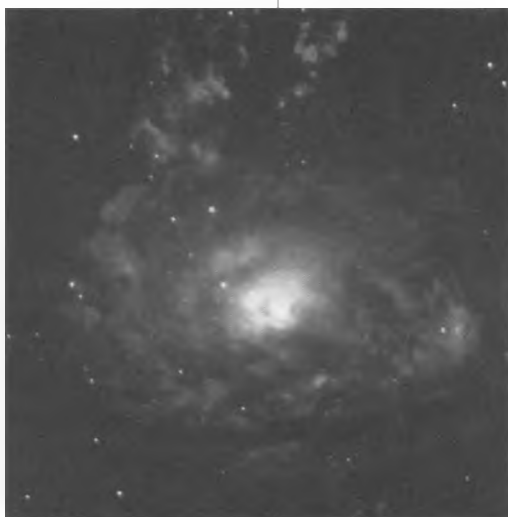


Схема классификации галактик по Э. Хаббл («камертон Хаббла»)

Сейфертовская галактика второго типа в созвездии Циркуль





Группа галактик Абель 3376 в оптическом и радиодиапазонах частот

Галактики, которые нельзя отнести к какому-либо из существующих типов или же принадлежащие к определенному классу, но обладающие особенностями, не предусмотренными классификацией, называют пекулярными галактиками (от английского слова peculiar, что в переводе означает «особенный», «необычный»).

личество энергии в радиодиапазоне, сравнимое иногда с излучением миллиона одновременно взорвавшихся сверхновых звезд. Радиоизображение типичных радиогалактик выглядит как два больших пятна, излучающих радиоволны и расположенных по обе стороны от видимой в оптическом диапазоне галактики. Основным источником радиоэнергии в таких галактиках является *синхротронное* излучение, или

излучение, создаваемое электронами, двигающимися по спирали в магнитном поле со скоростью, близкой к скорости света.

Часть галактик относится к так называемым *галактикам со вспышкой звездообразования*. В таких галактиках происходят процессы бурного звездообразования в плотных звездных скоплениях. Из центра этих галактик выбрасываются водородные газовые потоки на расстояние до 12 000 св. лет со скоростями до 1,5 млн км/ч. Такие галактики излучают огромное количество энергии в виде радио-, инфракрасных и рентгеновских волн.

Также большой интерес для исследователей представляют *сталкивающиеся галактики*, то есть галактики, проходящие близко друг от друга или друг сквозь друга. Столкновения звезд в таких случаях не наблюдается, поскольку межзвездные расстояния достаточны, чтобы они разминулись друг с другом. В сталкивающихся галактиках облака газа и пыли уплотняются, увеличивая вероятность образования новых звезд.

Одной из самых больших загадок нашей Вселенной являются *квазизвездные объекты*, или *квазары*. В видимом диапазоне квазары выглядят как слабые звезды, но в других диапазонах (прежде всего в диапазоне высоких энергий, а также в радио- и инфракрасном диапазоне) они светят ярче, чем сто нормальных галактик. Удивительной характеристикой квазаров (в сравнении с их другими свойствами) является размер: они невелики для космических объектов и имеют около 1 св. года в поперечнике.

Свет от квазаров сильно смещен к красному концу спектра, что толкуется учеными как доплеровское смещение. Это, в свою очередь, означает, что квазары удаляются от нас со скоростями до 98% скорости света. В таком случае квазары могут оказаться самыми удаленными и старыми объектами Вселенной, доступными наблюдению.

Состав галактик

Звезды в галактиках могут входить в состав *звездных скоплений* — групп звезд, которые располагаются вместе благодаря их взаимному гравитационному притяжению. Для астрономов они важны тем, что все звезды в скоплении приблизительно одного возраста. Звезды каждого скопления имеют общее происхождение и движение.

Звездные скопления бывают двух видов: рассеянные и шаровые. *Рассеянные скопления* располагаются в основном в спиральных рукавах Галактики и состоят из сотен звездных объектов. Плотность звезд в рассеянном скоплении неодинакова: максимальная в центре, она плавно уменьшается к его краям. По этой причине рассеянные скопления не имеют четких границ, и не всегда можно точно определить количество входящих в них звезд.

Обычно рассеянные скопления кажутся светлыми туманными пятнышками на небе, но при наблюдении в телескоп в них различимы отдельные звезды. Самые близкие к нам рассеянные скопления не только хорошо видны невооруженным глазом, но в них даже различимы отдельные звезды. Примерами таких скоплений являются Плеяды в созвездии Тельца, а также Гиады, расположенные в том же созвездии около Альдебарана.

Рассеянные скопления — молодые образования Галактики. К примеру, средний возраст звезд в Плеядах составляет всего лишь несколько десятков миллионов лет. Всего в нашей Галактике обнаружено более 1000 рассеянных звездных скоплений, каждое из которых содержит от 200 до 1000 звезд. Невооруженным глазом в обоих полушариях неба видно до 10 таких скоплений.

Шаровые скопления расположены на периферии Галактики, они относительно старые и состоят из большого количества звезд. Обнаружено всего около 150 шаровых скоплений, каждое из которых содержит от 10 000 до миллиона звезд.

Звездные скопления образуются по мере того, как газ конденсируется сразу во множество звезд, а не в одну. Доказательством образования звезд в скоплениях является то, что

Рассеянное звездное скопление звезд М 103 в Кассиопее





Шаровое звездное скопление звезд М 92 в Геркулесе

высокий процент наблюдаемых звезд является двойными звездами или членами кратных звездных систем (в состав которых входит более двух звезд).

Часть объектов галактики Млечный Путь располагаются преимущественно в диске, особенно в спиральных рукавах. Другие находятся в основном в ядре и гало. Эти два класса объектов называются *населениями*.

Население I типа звезд (например, наше Солнце и его соседи) находится в спиральных рукавах. Эти относительно молодые звезды погружены в пыль и газ, из которых они образуются. Кроме водорода и гелия они имеют

относительно высокое содержание металлов.

Население звезд II типа располагается поблизости от галактического ядра и в гало. Это самые старые звезды. Они отличаются относительно низким содержанием металлов и состоят почти целиком из водорода и гелия.

Еще одним структурным элементом галактик является *межзвездная среда* — вещество и излучение между звездами, обладающее крайне низкой плотностью. Межзвездное вещество на 99% состоит из газа (преимущественно из водорода) и на 1% из очень маленьких твердых частичек, называемых межзвездной пылью. Межзвездное вещество является сырьем для образования новых звезд и планет. В нашей Галактике большая часть межзвездного газа и пыли сконцентрирована в спиральных рукавах, где и образуются новые звезды.

Наша Галактика образовалась около 12 млрд лет назад из вращающегося космического облака, состоящего в основном из водорода и гелия, которые возникли на ранних стадиях существования Вселенной.

Основная часть массы нашей Галактики сконцентрирована в звездах, подобных Солнцу, масса которого составляет 2×10^{30} кг. Но в Галактике есть и невидимая масса, значительно превосходящая видимую, но проявляющая себя только гравитационным влиянием на движение звезд. Источник этой массы пока не известен. В центре Галактики, вероятно, находится черная дыра массой в 3 млн масс Солнца.

В некоторых районах нашей Галактики имеются концентрации газа и пыли, называемые туманностями. *Светлая эмиссионная туманность* — это облако, светящееся за счет поглоще-

ния и последующего переизлучения света находящихся в нем очень горячих молодых звезд. Типичным примером такого образования является туманность Ориона. *Темная туманность* — это скопление межзвездного вещества с относительно высокой концентрацией, пылевые частицы которого поглощают или рассеивают звездный свет, поэтому звезды, расположенные позади туманности, наблюдать не удается.

Подобно тому, как звезды группируются в звездные скопления, большинство галактик принадлежит к группам, называемым *скоплениями галактик*. В них обычно входит от нескольких десятков до нескольких тысяч галактик, удерживаемых вместе силами гравитации и движущихся вокруг общего центра масс.

Наша Галактика принадлежит к маленькой группе, насчитывающей свыше двадцати членов и называемой *Местной группой*. Галактики, принадлежащие к ней, располагаются в пределах области поперечником в 3 млн св. лет. Три из них относятся к спиральным галактикам (Млечный Путь, галактика Андромеды и М 33 в созвездии Треугольника), а остальные — эллиптические или неправильные.

Ближайшее от нас большое скопление галактик, насчитывающее по меньшей мере тысячу членов, расположено на расстоянии примерно 62 млн св. лет (19 млн пк) в направлении созвездия Девы. Оно содержит около 2,5 тыс. галактик. Наиболее отдаленное, по приблизительным подсчетам, находится на расстоянии в 4 млрд св. лет.

Самыми большими из найденных до настоящего времени во Вселенной гравитационно связанных систем являются скопления скоплений галактик — *сверхскопления*. Наша Галактика является частью *сверхскопления Девы*.



Светлая эмиссионная
туманность NGC 1976
в Орионе

Глоссарий

Альбедо — оптическая характеристика отражательных свойств несамосвещающегося небесного тела.

Аннигиляция — процесс взаимодействия частицы и соответствующей ей античастицы, в результате которого они превращаются в электромагнитное излучение или в другие частицы.

Апекс — точка небесной сферы, в которую направлена скорость движущегося объекта.

Апогей — точка орбиты спутника Земли, наиболее удаленная от центра Земли.

Астероиды — малые тела Солнечной системы, движущиеся по приблизительно круговым орбитам преимущественно в пространстве между Марсом и Юпитером.

Астрономическая единица (а. е.) — единица расстояния в астрономии, равная среднему расстоянию Земли от Солнца, составляет 149,6 млн км.

Афелий — точка орбиты планеты или какого-либо тела, обращающегося вокруг Солнца, наиболее удаленная от Солнца.

Белые карлики — очень плотные горячие звезды малых размеров, состоящие из вырожденного газа. Массы их составляют в среднем около 1, радиусы около 0,2, светимости — около 0,01 соответствующих величин у Солнца. Средние плотности их — 10^4 – 10^6 г/см³.

Весеннего равноденствия точка — одна из двух точек пересечения эклиптики с небесным экватором; в этой точке Солнце при своем видимом годовом перемещении по эклиптике переходит из южного полушария небесной сферы в северное.

Возмущения небесных тел — отклонения реальных траекторий небесных тел от траекторий, по которым они двигались

бы в случае взаимодействия с одним единственным телом. Причиной возмущений в движении небесных тел может быть притяжение других небесных тел, отклонение фигур этих тел от сферической формы, сопротивление среды, в которой происходит движение, изменение массы тела с течением времени, световое давление и т. п.

Главная последовательность звезд — последовательность на диаграмме Герцшпрунга–Рассела, образованная звездами, физически сходными с Солнцем.

Гранулы — светлые структурные образования в атмосфере Солнца, имеющие вид зерен.

Двойная звезда — две звезды, близкие друг к другу в пространстве и составляющие физическую систему, компоненты которой связаны силами взаимного тяготения. По методике обнаружения различают: визуальные двойные звезды (их компоненты можно увидеть при помощи телескопа визуально или сфотографировать); спектральные двойные звезды (двойственность проявляется в периодических смещениях или раздвоении линий в их спектрах); затменные двойные звезды (их компоненты периодически загораживают друг друга от наблюдателя); астрометрические двойные звезды (двойственность обнаруживается по периодическим возмущениям собственного движения).

Звездная величина — мера блеска небесного светила, определяется освещенностью, создаваемой небесным светилем на Земле на плоскости, перпендикулярной падающим лучам. Абсолютная Z_v — Z_v , которую имело бы небесное светило, находясь на расстоянии 10 пк; характеризует физические свойства самого светила, его светимость.

Карлики — звезды относительно небольших размеров и невысокой светимости, физически сходны с Солнцем, лежат на главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга—Рассела; находятся на ранней стадии эволюции, когда источником энергии является горение водорода в их недрах.

Квazarы, квазизвездные объекты — небесные объекты, имеющие сходство со звездами по оптическому виду и обнаруживающие значительные красные смещения; в спектрах К. обнаруживаются мощное ультрафиолетовое излучение и широкие яркие линии, характерные для горячих газовых туманностей.

Коллапс гравитационный — катастрофически быстрое сжатие звезды под действием сил тяготения. Играет определяющую роль на поздних стадиях эволюции массивных звезд. В результате К. г. внешние слои звезды выбрасываются в пространство (этот процесс наблюдается в виде вспышки сверхновой звезды), а ядро превращается либо в нейтронную звезду, наблюдаемую как источник пульсирующего радиоизлучения — пульсар (при массе ядра меньше двух масс Солнца), либо в так называемую черную дыру (если масса звезды превышает две солнечных массы).

Космические лучи — поток частиц высокой энергии, преимущественно протонов с небольшой примесью ядер более тяжелых элементов, приходящих на Землю из космического пространства (первичное излучение), а также рожденное ими в атмосфере Земли в результате взаимодействия с атомными ядрами вторичное излучение, в котором встречаются практически все известные элементарные частицы.

Красное смещение — смещение спектральных линий к длинноволновому краю спектра, обусловленное уменьшением частот электромагнитного излучения. Различаются космологическое К. с, наблюдаемое в спектрах далеких галак-

тик и квазаров и свидетельствующее об их взаимном удалении, и гравитационное К. с, обусловленное гравитационным полем (один из эффектов общей теории относительности).

Либрация Луны — видимые периодические маятникообразные колебания Луны около ее центра. Возникает вследствие неравномерности обращения Луны вокруг Земли при постоянной угловой скорости вращения вокруг оси (оптическая либрация) и неправильностью фигуры Луны и неравномерностью распределения масс в ее теле (физическая либрация).

Лучевая скорость — проекция скорости небесного светила в пространстве на луч зрения. При определении Л. с. используется принцип Доплера, согласно которому длина волны света, излучаемого или поглощаемого телом, увеличивается или уменьшается в зависимости от того, удаляется это тело от наблюдателя или приближается к нему.

Межзвездное поглощение света — ослабление света при его прохождении от излучающего небесного светила через межзвездную среду; вызывается рассеянием, дифракцией и поглощением света мелкими частицами космической пыли.

Небесный экватор — большой круг небесной сферы, образуемый при пересечении ее плоскостью, перпендикулярной оси мира.

Нейтронные звезды — одна из возможных конечных стадий эволюции звезд большой массы; вещество Н. з. состоит из нейтронов с небольшой примесью электронов, протонов и более тяжелых ядер. Н. з. образуются на стадии почти полного исчерпания ядерного горючего в центральных областях звезд в результате гравитационного коллапса.

Новые звезды — звезды, светимость которых внезапно увеличивается в десятки и сотни тысяч раз, а затем медленно спадает. Вспышки Н. з. обусловлены

накоплением и взрывом вещества соседней звезды (компаньона двойной системы) на поверхности белого карлика.

Нутация — небольшие колебания земной оси, накладывающиеся на ее прецессионное движение; эти колебания порождены изменениями притяжения, оказываемого Луной и Солнцем на экваториальный избыток массы вращающейся Земли (вынужденная нутация). Свободная нутация вызвана тем, что Земля как целое смещается в пространстве относительно оси вращения.

Параллакс звезды — угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты; определяется путем измерения из двух положений Земли на ее орбите параллактического смещения звезды на небесной сфере, обусловленного обращением Земли вокруг Солнца. Параллаксы служат для определения расстояний до звезд.

Параллакс Солнца — угол, под которым со среднего расстояния Солнца виден экваториальный радиус Земли; определяет в километрах значение астрономической единицы, служащей масштабом линейных размеров во Вселенной.

Парсек (пк) — единица измерения расстояний в астрономии, определяется как расстояние, с которого большая полуось земной орбиты (А. а. е.) видна под углом $1''$; $1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$.

Перигей — ближайшая к Земле точка орбиты спутника Земли.

Перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты небесного тела, движущегося вокруг Солнца.

Показатель цвета — разность звездных величин, определенных для двух различных областей спектра, характеризует в общих чертах распределение энергии в спектре небесного объекта, его цвет.

Прецессия — медленное движение оси вращения Земли по круговому конусу, ось симметрии которого перпендику-

лярна к плоскости эклиптики, с периодом полного оборота около 26 000 лет.

Протуберанцы — светящиеся образования из раскаленных газов, наблюдаемые на краю диска Солнца.

Прямое восхождение — одна из небесных экваториальных координат; измеряется дугой небесного экватора, отсчитываемой от точки весеннего равноденствия в направлении, обратном вращению небесной сферы, до круга склонений данного светила.

Пульсары — слабые источники пульсирующего космического излучения, всплески которого следуют друг за другом с очень медленно изменяющимся коротким периодом.

Рефлектор — телескоп с зеркальным объективом.

Рефрактор — телескоп с линзовым объективом.

Рефракция света (астрономическая) — преломление в земной атмосфере лучей, идущих от небесного светила к наблюдателю, проявляющееся в кажущемся смещении светил, а иногда и в кажущемся изменении их формы.

Сверхновые звезды — звезды, испытавшие катастрофический взрыв, за которым последовало огромное увеличение их блеска. Взрыв С. н. з. — результат неустойчивости, возникающей на поздних стадиях эволюции звезд.

Светимость звезды — мощность излучения звезды, т.е. полное количество энергии, излучаемое звездой за 1 сек. Выражается обычно в единицах светимости Солнца, равной $3,85 \cdot 10^{26} \text{ эрг/с}$.

Световой год — единица измерения расстояния в астрономии, путь, проходимый светом за один год, равен $9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}$.

Синхротронное излучение — излучение, испускаемое быстро движущимися вокруг силовых линий магнитного поля электронами. Впервые было получено при движении электронов в ускорителях-синхротронах. Механизм такого излуче-

ния используется для объяснения радиоизлучения галактик, туманностей, образовавшихся после вспышек сверхновых звезд и многих других объектов.

Склонение — одна из небесных экваториальных координат, угловое расстояние светила от небесного экватора; измеряется дугой часового круга, проходящего через светило, к северу от экватора — положительно, к югу — отрицательно.

Собственное движение звезды — угловое перемещение звезды на небесной сфере за год, вызванное движением звезды относительно Солнца.

Солнечная корона — самые внешние слои солнечной атмосферы, которые наблюдаются во время полных солнечных затмений как сияние неправильной формы, окружающее закрытый Луной диск Солнца.

Спикулы — образования, наблюдающиеся в хромосфере Солнца и имеющие вид отдельных столбов (выбросов). Время их существования — 2–5 мин, диаметр — 500–3000 км.

Терминатор — граница между освещенной и темной частями на диске Луны или планеты.

Туманности внегалактические — галактики, звездные системы, подобные нашей Галактике; с небольшими те-

лескопами наблюдаются в виде туманообразных объектов.

Факелы — светлые образования волнокистой структуры, наблюдаемые на поверхности Солнца; лучше всего видны у краев солнечного диска.

Фотосфера — излучающая поверхность звезд, сравнительно тонкий слой газа (у Солнца — около 0,001 его радиуса), излучение которого почти свободно выходит в космическое пространство. Дает непрерывный спектр, на фоне которого наблюдаются темные линии поглощения (фраунгоферовы линии).

Хромосфера — переходный слой звездной атмосферы между фотосферой и самыми внешними частями атмосферы; у Солнца имеет толщину около 10 000 км, во время полных солнечных затмений видна как красное кольцо, прилегающее к темному краю диска Луны.

Эклиптика — большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое годичное движение центра Солнца.

Эфемериды — таблицы, содержащие различные астрономические сведения (чаще всего координаты небесных светил), вычисленные для ряда последовательных моментов времени.

22.6
1. 1. 1.

СОВРЕМЕННАЯ ШКОЛЬНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

АСТРОНОМИЯ

УДК 52+81



культуры "Алтайская краевая дет-
ская библиотека им. Н.К.Крупской"

ББК 92
Б87

Брагин, Тихон

Б87 Астрономия. — М.: ООО ТД «Издательство Мир книги», 2008. — 192 с.: ил. — (Современная школьная энциклопедия).

Серия «Современная школьная энциклопедия» — универсальное справочное издание, которое поможет не только подготовиться к экзаменам, но и расширить кругозор. Увлекательная форма изложения, красочные иллюстрации позволят быстрее усвоить материал школьной программы.

В этой книге дается подробная информация об истории развития астрономии от древности до наших дней, приводятся основные понятия и термины, используемые в этой увлекательной науке.

Содержание

Введение	5
----------------	---

Часть I. ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ: ОТ ДРЕВНОСТИ ДО НАШИХ ДНЕЙ

Глава 1. АСТРОНОМИЯ В ДРЕВНЕМ МИРЕ

«Стоунхенджи» Древнего мира	9
Астрономия Вавилона	11
Астрономия строителей пирамид	14
Астрономия Древнего Китая и Индии	16
Древняя астрономия Америки	21



Глава 2. РАЗВИТИЕ АСТРОНОМИИ В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ

У истоков	24
Колоссы Древней Греции Гиппарх и Птолемей	27

Глава 3. АСТРОНОМИЯ В ИСЛАМСКОМ МИРЕ	32
---	----

Глава 4. РАЗВИТИЕ АСТРОНОМИИ В ЕВРОПЕ В XII–XIX ВВ.	40
--	----

Глава 5. ИСТОРИЯ РОССИЙСКОЙ АСТРОНОМИИ

Астрономические представления в Древней Руси	62
Михаил Ломоносов	66
Российская школа астрономии	68



Часть II. ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ



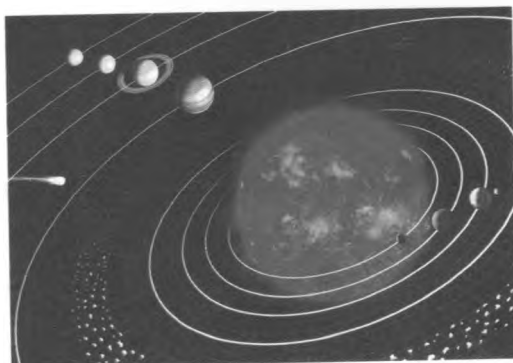
Глава 1. НАЧАЛО СФЕРИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ	76
Небесные координаты	77
Время	81
Звезды	84
Созвездия	85

Глава 2. НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ

Угломерные инструменты	104
Оптическая астрономия	107
Спектрография	115
Радиоастрономия	116
Инфракрасная астрономия	119
Астрономия высоких энергий	121
Нейтринная астрономия	125

Глава 3. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Особенности движения планет	126
Земля и Луна	131
Планеты земной группы	140
Планеты-гиганты	145
Малые тела Солнечной системы	151
Звезда по имени Солнце	156



Глава 4. ЗВЕЗДЫ: ИХ ПРИРОДА И ЭВОЛЮЦИЯ

Определение расстояний до звезд	164
Светимость	165
Что таит в себе звездный спектр	166
Диаграмма Герцшпрунга — Рассела	169



Двойные звезды	170
Переменные звезды	172
Звездная эволюция	173

Глава 5. ГАЛАКТИКА

Млечный Путь	180
Классификация галактик	181
Состав галактик	185
Глоссарий	188



СОВРЕМЕННАЯ ШКОЛЬНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

АСТРОНОМИЯ

Знаете ли вы, что Стоунхендж вполне мог использоваться как астрономическая обсерватория? Где и когда появилась специальная служба, основной задачей которой было слежение за движением планет и регистрация появления комет, падающих звезд? Кто является автором первой теории неравномерного движения Солнца и Луны?

- История наблюдений за небесными светилами
- Зарождение сферической астрономии
- Солнечная система
- Эволюция звезд
- Галактики

Увлекательный рассказ об удивительной науке астрономии ждет вас в новом томе СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЬНОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ.

ЭТО – ВАШ ВЕРНЫЙ ПОМОЩНИК В ПОДГОТОВКЕ К УРОКАМ И ЭКЗАМЕНАМ