



Н. Н. ГОМУЛИНА, И. П. КАРАЧЕВЦЕВА, А. А. КОХАНОВ

АСТРОНОМИЯ

АТЛАС

10–11

КЛАССЫ





ДОРОГИЕ РЕБЯТА!

Всё чаще в новостях, популярных передачах и даже художественных фильмах мы слышим названия инопланетных кратеров, астероидов, звёзд, экзопланет и других внеземных объектов; средства массовой информации обсуждают поражающие воображение явления, происходящие за пределами нашей Земли — космос с древних времён притягивал внимание учёных и философов, сейчас же эта тема волнует каждого.

Современные технологии позволяют заглядывать всё дальше и дальше в глубь Вселенной, открывать и изучать всё новые и новые объекты и явления. Ежегодно учёные совершают тысячи открытий в дальнем космосе. Сейчас учёные заняты поиском экзопланет земного типа, на которых возможна жизнь. Но и наша Солнечная система ещё не до конца изучена — составляются подробные карты планет и их спутников, исследуются физические свойства небесных тел, их геологические и иные особенности. Развитие астрономии и космонавтики даёт импульс в освоении новых технологий, побуждает искать альтернативные источники энергии, познавать биологические возможности человека.

Вы держите в руках современный школьный атлас по астрономии; заглянув в него, вы поймёте, что астрономия — это очень увлекательно! Атлас поможет вам лучше понять внеземелье, изучить и нашу Солнечную систему, и дальние, неведомые нам пока миры.

Космонавт-испытатель,
Герой Российской Федерации
С. Н. Рязанский

Н. Н. ГОМУЛИНА, И. П. КАРАЧЕВЦЕВА, А. А. КОХАНОВ

АСТРОНОМИЯ

АТЛАС

10–11
КЛАССЫ

Москва


ДРОФА

2018

НЕБЕСНЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

СОЛНЦЕ — единственная звезда Солнечной системы.

Помимо центральной звезды, в Солнечную систему входят разные космические объекты, которые обращаются вокруг Солнца и удерживаются его гравитационным притяжением: планеты и их спутники, карликовые планеты и их спутники, астероиды, метеороиды, кометы, а также космическая пыль. Наша Солнечная система сформировалась путём гравитационного сжатия газопылевого протопланетного облака примерно 5 млрд лет назад.

ПЛАНЕТА — это небесное тело, вращающееся вокруг Солнца, достаточно массивное (до 10^{27} кг), чтобы иметь шарообразную форму под воздействием собственной гравитации.

Кроме того, планета должна иметь вблизи своей орбиты пространство, свободное от других тел.

В Солнечной системе всего 8 планет:

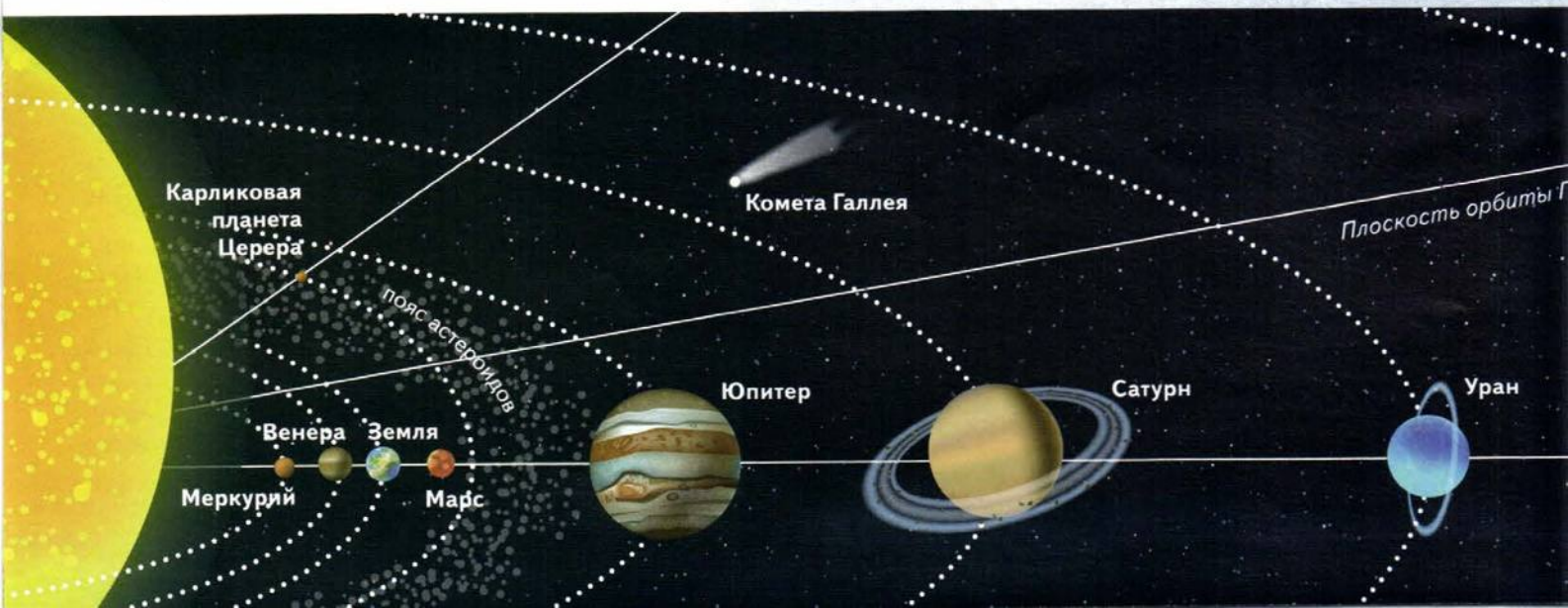
- 4 планеты земной группы
- 4 планеты-гиганта.



ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ массой до 10^{25} кг и средней плотностью вещества 4—5,5 г/см³ образовались в горячей зоне протопланетного облака и состоят в основном из тяжёлых химических элементов — соединений металлов, силикатов и т. д. Планеты земной группы — Меркурий, Венера, Земля и Марс — расположены во внутренней области Солнечной системы (внутренние планеты).

ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ массой до 10^{27} кг и средней плотностью 0,7—1,7 г/см³ образовались в холодной зоне протопланетного облака и состоят в основном из водорода, гелия и лёгких химических соединений. Планеты-гиганты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — расположены во внешней области Солнечной системы (внешние планеты).

Строение Солнечной системы



КАРЛИКОВЫЕ ПЛАНЕТЫ уступают планетам по размеру и массе, их орбиты сильно вытянуты и наклонены к эклиптике на угол более 10° . Такие параметры орбит более характерны для астероидов, од-

нако карликовые планеты превосходят астероиды по размеру и массе, а их форма близка к сферической. Сейчас к карликовым отнесены всего 5 планет, хотя кандидатов много больше.

ГЛАВНЫЙ ПОЯС АСТЕРОИДОВ — массивное сосредоточение астероидов между Марсом и Юпитером. Орбиты некоторых проходят столь близко к орбите Земли, что делает их потенциально

опасными. Их даже выделили в отдельную группу — *околоземные астероиды*. Изучению таких астероидов уделяется особое внимание, чтобы избежать возможного столкновения с Землёй.

ПОЯС КОЙПЕРА — область Солнечной системы от орбиты Нептуна (30 а. е.) до расстояния около 55 а. е. от Солнца.

Хотя пояс Койпера похож на пояс астероидов, он шире и массивнее. Как и пояс астероидов, он состо-

ит в основном из малых тел. В отличие от объектов пояса астероидов, которые в основном состоят из горных пород и металлов, объекты пояса Койпера состоят главным образом из летучих веществ, таких как метан, аммиак и вода.

МЕТЕОРОИДАМИ называют объекты, которые по размеру меньше астероидов, но больше пыли. Астероиды и частицы, влетая в атмосферу Земли на большой скорости, сгорают в атмосфере, образуя «падающие звёзды» — *метеоры*. Крупные метеоры, оставляющие за собой яркий след в атмосфере, на-

зывают *боли́дами*. Когда метеор настолько большой, что не полностью сгорает в атмосфере, то долетевшие до земли фрагменты называют *метеоритами*. Получается, что одно и то же тело в разные периоды своего существования называется по-разному.

ОБЛАКО ООРТА — гипотетическая сферическая область Солнечной системы. Предположительно облако Оорта — остаток туманности, из которой путём «слипания» частичек под действием взаимного тяготения образовались Солнце и планеты. Хотя подтверждённых наблюдений облака Оорта нет, астрономы считают, что оно является источником всех долгопериодических комет (с орбитальным перио-

дом более 200 лет). Предполагаемое расстояние до внешних границ облака Оорта от Солнца составляет один световой год. Это примерно четверть расстояния до Проксимы Центавра, ближайшей к Солнцу звезды. Во внешней части облака Оорта гравитационное притяжение Солнца уже сравнимо по величине с влиянием других звёзд, поэтому объекты там не имеют стабильной орбиты.



АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ:

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА (а. е.) = 149 597 870,7 км — расстояние от Солнца до Земли.

1 СВЕТОВОЙ ГОД (св. год) = $9,5 \cdot 10^{12}$ км $\approx$ 63 000 а. е. — расстояние, которое проходит солнечный свет в вакууме за 1 земной год.

1 ПАРСЕК (пк) = $3,1 \cdot 10^{13}$ км $\approx$ 3,3 св. года — расстояние, с которого отрезок длиной в 1 а. е. виден под углом в одну угловую секунду ($1''$).



Протуберанец высотой более 50 тыс. км над поверхностью Солнца

ДИАМЕТР

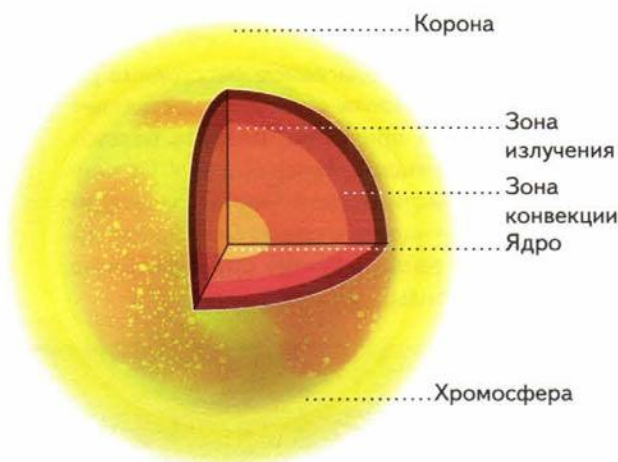
$1,39 \cdot 10^6$ км

МАССА

$1,99 \cdot 10^{30}$ кг

ПЛОТНОСТЬ

1409 кг/м³



Строение Солнца



СОЛНЦЕ

Солнце — ближайшая звезда и центр нашей планетной системы, главный источник света и тепла.

Солнце состоит из водорода ($\approx 73\%$ от массы и $\approx 92\%$ от объёма), гелия ($\approx 25\%$ от массы и $\approx 7\%$ от объёма) и других элементов с меньшей концентрацией: железа, никеля, кислорода, азота, кремния, серы, магния, углерода, неона, кальция и хрома. Средняя плотность Солнца составляет $1,4$ г/см³.

СТРОЕНИЕ СОЛНЦА

Основным источником энергии Солнца является термоядерный синтез гелия из водорода, происходящий в **ядре**. При этом высвобождается такое количество энергии, что температура в ядре может достигать $14\text{—}15$ млн $^{\circ}\text{C}$. Эта энергия переносится к поверхности Солнца через две основные зоны:

- **зону излучения** или переноса лучистой энергии, где энергия переносится с помощью излучения и поглощения фотонов;
- **зону конвекции**, где перенос энергии происходит «перемешиванием» самого вещества за счёт быстрого охлаждения верхних слоёв.

Видимая поверхность Солнца называется **фотосферой**. Её толщина всего около 300 км, а температура составляет $5000\text{—}6000$ $^{\circ}\text{C}$.

За фотосферой следует **хромосфера** толщиной около $14\,000$ км. Её название связано с красноватым цветом, видимым при солнечных затмениях. Хромосфера не имеет выраженной гладкой внешней поверхности, а её температура с высотой снова растёт: от 4000 $^{\circ}\text{C}$ у границы с фотосферой до $15\,000$ $^{\circ}\text{C}$.

Внешняя оболочка Солнца — **корона**, состоит из ионизированного газа — плазмы. Температура короны превышает 1 млн $^{\circ}\text{C}$. Корона распространяется на огромные расстояния в пять радиусов Солнца, но увидеть её, как и хромосферу, можно только во время полного солнечного затмения, когда яркая фотосфера закрыта Луной.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Период изменения солнечной активности принято считать равным около $11,2$ года. В годы повышенной активности Солнца на нём появляются пятна, вспышки, протуберанцы. Их возникновение связано с магнитными процессами. Когда Солнце активно, магнитное поле искажено сильнее и пятен становится больше. Пятна появляются парами в тех местах, где линии искажённого магнитного поля выходят из поверхности и входят в неё. В годы «спокойного» Солнца пятен может не быть вовсе. Пятна могут существовать несколько часов или месяцев, их форма и размеры бывают различными. Температура пятен на $1000\text{—}1500$ $^{\circ}\text{C}$ ниже, чем у остальной поверхности, и поэтому они кажутся тёмными.



Солнечная корона

Солнечные пятна и вспышки

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ПЛАНЕТ

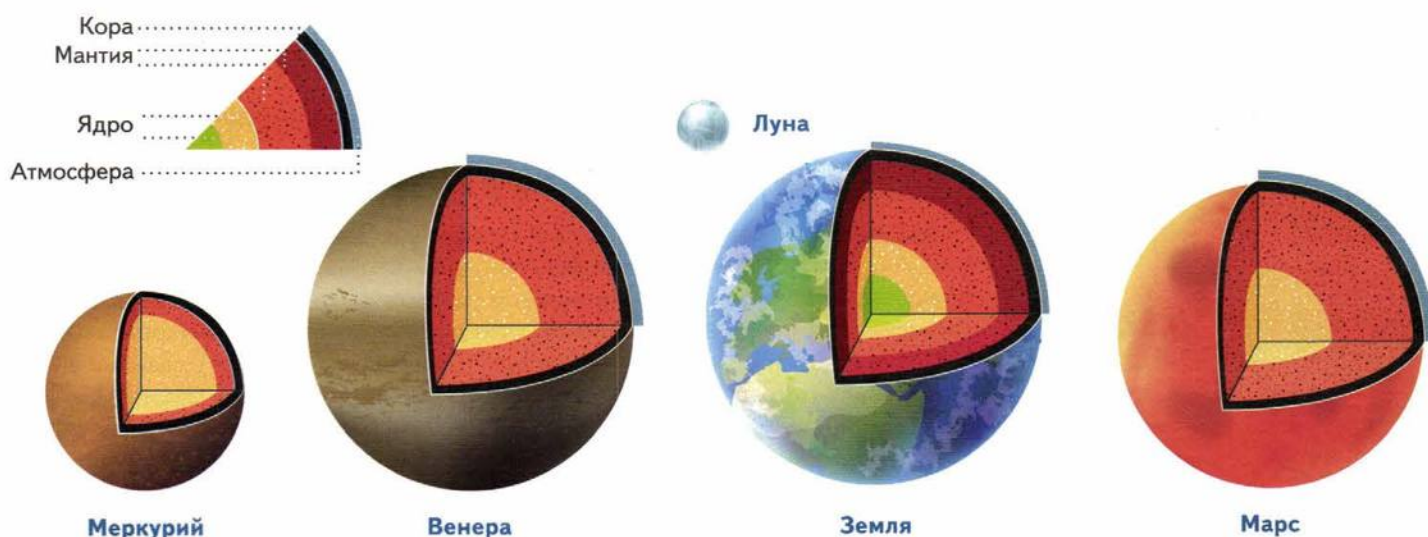
• **ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ**, расположенные ближе к Солнцу, и внешние планеты-гиганты отличаются не только расстоянием до нашего светила, но и внутренним строением. Меркурий, Венера, Земля вместе с Луной, а также Марс имеют общие черты и состоят из *ядра, мантии и коры*, которую окружает атмосфера. Строение внешних планет различается, поэтому они подразделены на две группы:

• **ГАЗОВЫЕ ГИГАНТЫ** (Юпитер и Сатурн)

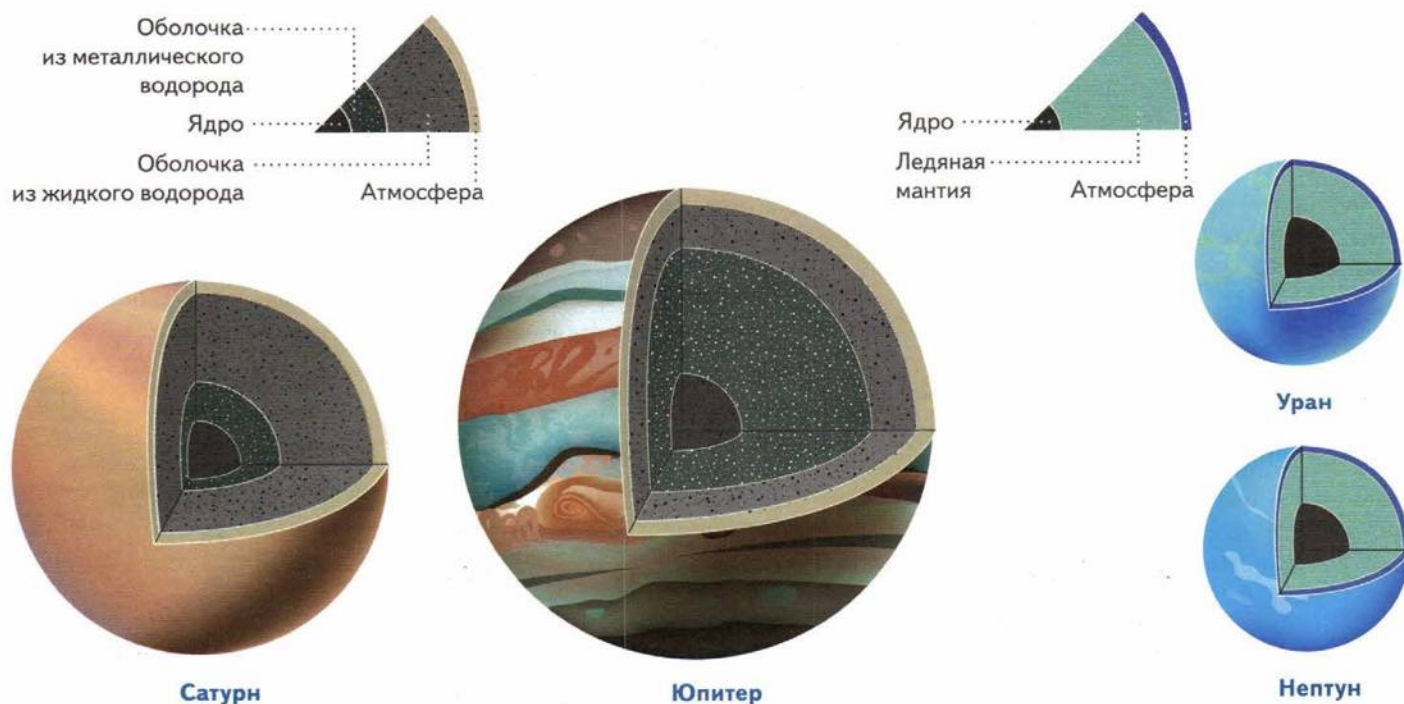
• **ЛЕДЯНЫЕ ГИГАНТЫ** (Уран и Нептун).

Твёрдые спутники внешних планет по составу и строению схожи с планетами земной группы и Луной. Ниже представлено внутреннее строение и диаметр планет Солнечной системы. Рисунки отражают относительные размеры планет в своей группе.

ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

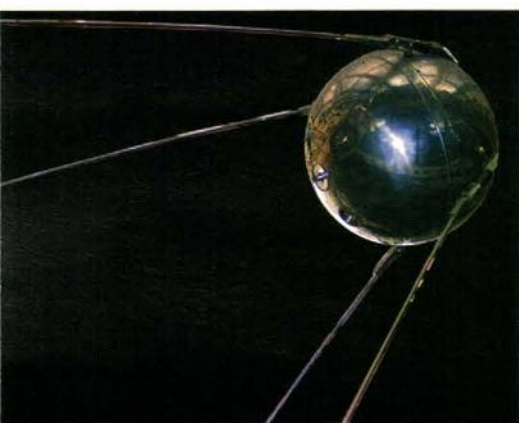


ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ





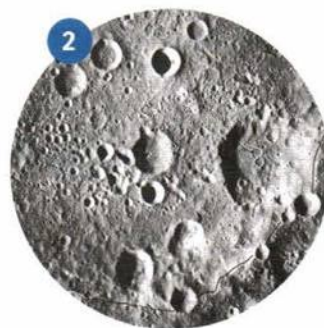
Первый человек в космосе — советский космонавт Ю. А. Гагарин, облетевший Землю 12 апреля 1961 г., и главный конструктор советской космической программы С. П. Королёв



Первый искусственный спутник Земли, запущенный в СССР 4 октября 1957 г.

ОСВОЕНИЕ КОСМОСА

С наступлением космической эры, которая началась с запуска в СССР первого спутника и первого полёта в космос советского лётчика **Юрия Гагарина**, произошла настоящая революция в изучении Солнечной системы, и на картах внеземных территорий появилось более 15 тыс. названий, половина из которых присвоена совсем недавно, во втором десятилетии XXI в.



1. **Равнина Спутника на Плутоне.**
Новое название утверждено 8 августа 2017 г.
2. **Кратер Гагарин на обратной стороне Луны**

НАЗВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Названия для внеземных территорий утверждает Международный астрономический союз. Астрономы как международный язык используют латынь, и сегодня для обозначения планетных форм рельефа употребляется уже более 50 латинских терминов. Часть из них происходит из названий земных форм, а более 20 служат для наименования деталей рельефа, найденных только на внеземных территориях. Это, например, *хаосы* (Chaos) на Марсе и Европе, характеризующие районы сильно разрушенного рельефа, или *тессеры* (Tesserae) на Венере, обозначающие территории, узор которых напоминает черепицу. Помимо характеристик форм рельефа, на картах показывают такие особенности небесных тел, как альбедные образования, характеризующие разные отражательные свойства поверхности, хорошо видимые на космических снимках как светлые или тёмные пятна. Области и земли представляют не формы рельефа, а участки планетного ландшафта. Такие названия, как Болото, Залив, Озеро, Море, Океан, Мыс, можно встретить на Луне как

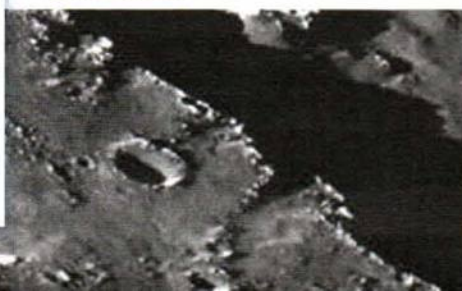
дань исторической традиции, поскольку они не отображают рельеф в явной форме. В прошлом их появление было связано с тем, что обширные тёмные вулканические равнины Луны трактовались как водные поверхности, отсюда Море Дождей, Море Ясности, Океан Бурь и другие лунные названия. Только недавно, когда на Титане, спутнике Сатурна, открыли резервуары, заполненные жидким метаном, на картах внеземных территорий появились названия настоящих морей и озёр. Внешние планеты-гиганты не имеют твёрдой поверхности, поэтому у них нет и названий форм рельефа, в отличие от их твёрдых спутников.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

ПРАВИЛА НАИМЕНОВАНИЙ ВНОВЬ ОТКРЫВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ:

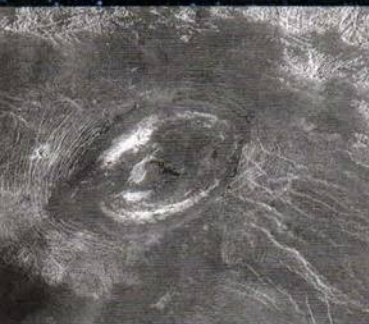
- на Меркурии присваиваются имена деятелей искусств (писателей, художников, композиторов, архитекторов и т. п.);
- на Венере используются женские имена разных народов и культур;
- на Луне и Марсе объекты называют в честь представителей естественных наук (учёных, инженеров, конструкторов);
- на спутниках внешних планет, карликовых планетах, астероидах и кометах используются имена из древней истории, мифов, а также героев эпосов, известных литературных произведений и т. п.

Уступ кольцевой структуры на Каллисто



Хаос на Европе

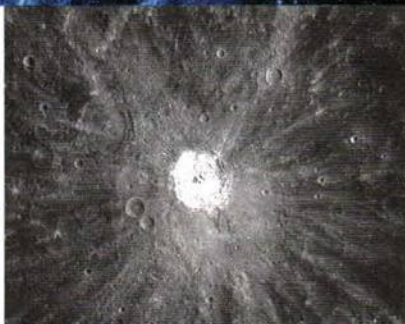




Венец
на Венере



Гигантский каньон
на Марсе



Светлая лучевая система
на Луне



Цепочка кратеров
на Ганимеде

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К КАРТАМ



Венцы



Холмы



Купола



Патеры



Большие кольцевые
структуры

▲ ▲ ▲ ▲ Кордильеры

Горы

Гряда Кеплера

Гряды

Борозда Прямая

Борозды, желоба



Уступы



Цепочки воронок
кратеров



Разорванные
цепочки кратеров



Лучевые системы

РАВНИНА ТИР

Равнины

• Менделеев

Кратеры

каньон Дианы

Каньоны, рывины

ЗЕМЛЯ АФРОДИТЫ

Земли, материки

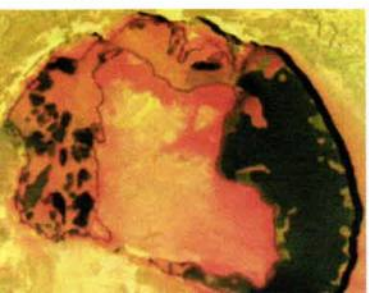
озера Осени

Детали альбедо

тессера Фортуны

Тессеры

Активный вулкан
на Ио



Светлая деталь альбедо
на Ганимеде



Лентикулы и линии
на Европе



Тессера
на Венере



МЕРКУРИЙ

Планета названа в честь древнегреческого бога торговли — Меркурия, поскольку она движется по небесной сфере вокруг Солнца быстрее других планет.

ДИАМЕТР

4879 км

MACCA

 $3,33 \cdot 10^{23} \text{ кг}$

плотность

5430 кг/м³

НАКЛОН

ОРБИТЫ

7,0°

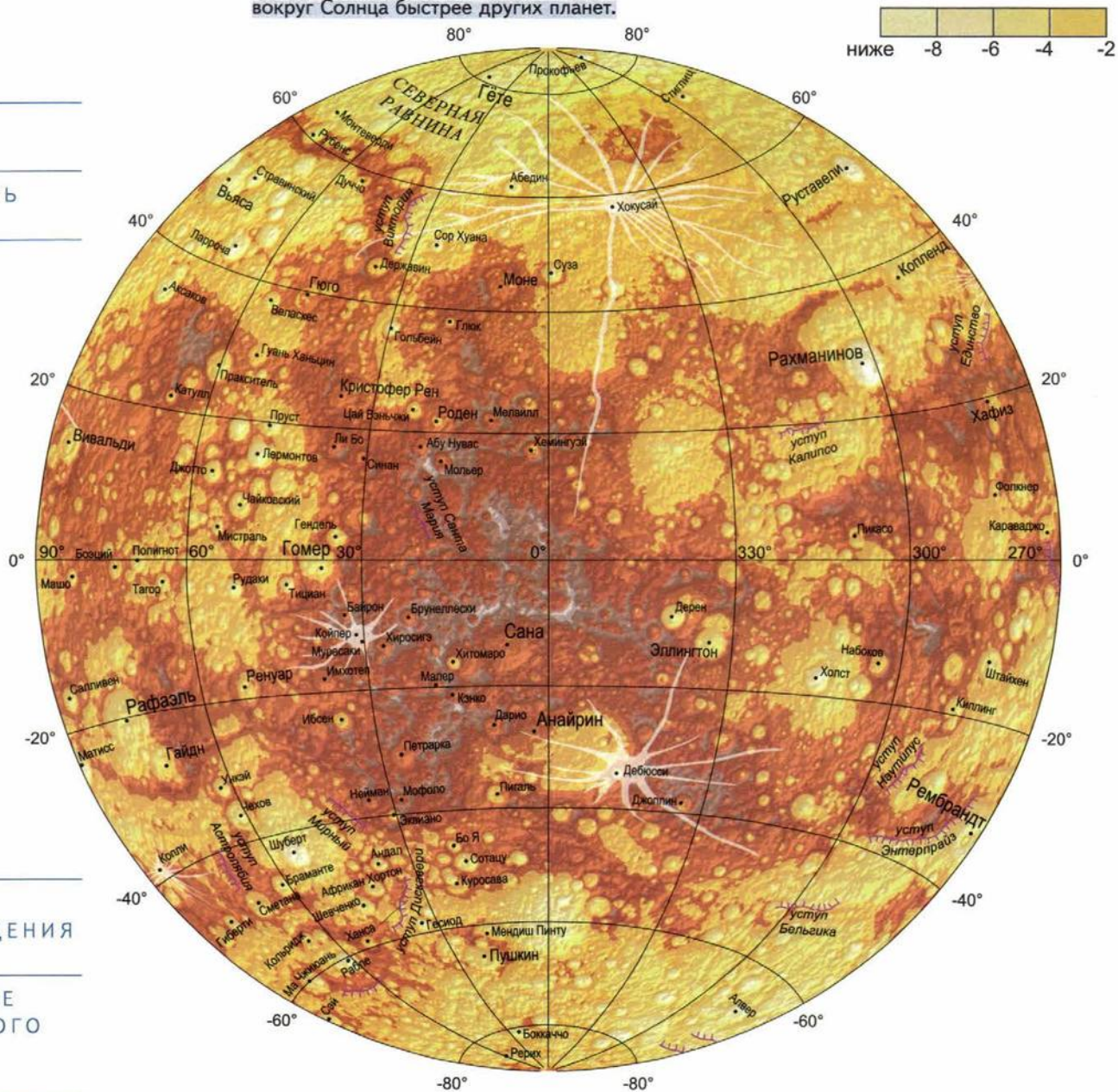
НАКЛОН

ОСИ ВРАЩЕНИЯ

0,03°

УСКОРЕНИЕ

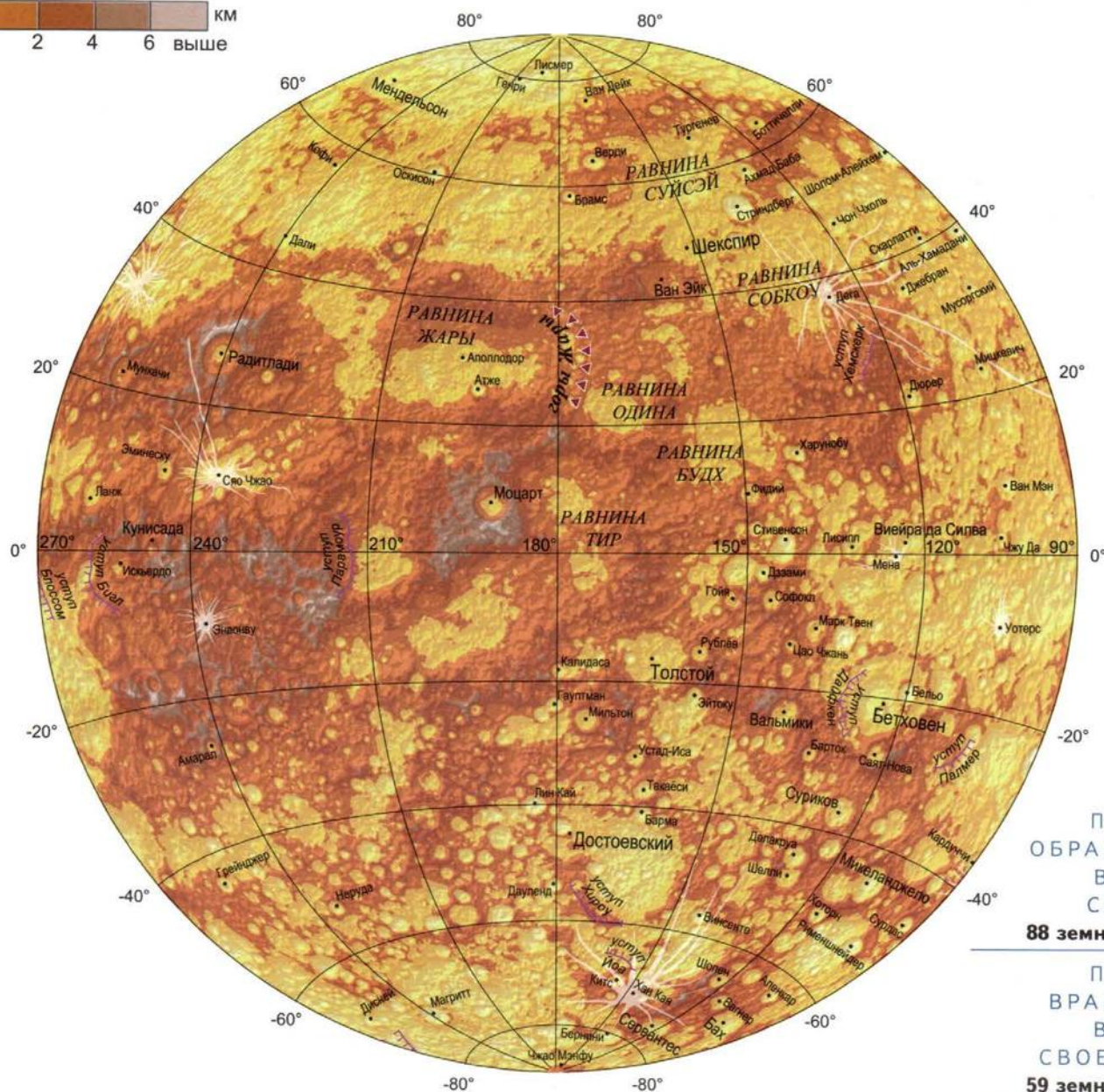
СВОБОДНОГО
ПАДЕНИЯ

 $3,7 \text{ м/с}^2$ 

Кратер Аполлодор и борозды Пантеон на равнине Жары.

Длина борозд достигает 230 км, а ширина зачастую превышает 1 км. Подобная структура — единственная известная в настоящее время в Солнечной системе

МЕРКУРИЙ — ближайшая к Солнцу и самая маленькая планета Солнечной системы, уступает в размерах даже некоторым спутникам планет — газовых гигантов. На Меркурии происходят самые резкие перепады температуры от 430 °С до —170 °С. Это вызвано, во-первых, тем, что орбита планеты не круговая, а эллиптическая, с самым большим эксцентриситетом (0,205) из всех планет в Солнечной системе, поэтому Меркурий то нагревается, приближаясь к Солнцу, то остывает, отдаляясь от него. Во-вторых, из-за медленного вращения Меркурий делает три оборота вокруг своей оси за два меркурианских года, а тонкая атмосфера не способна сохранить тепло ночью или предотвратить перегрев днём. Слабая атмосферная оболочка Меркурия часто меняется из-за влияния солнечного ветра. На Меркурии нет сезонных колебаний температуры из-за того, что ось вращения имеет очень малый наклон и почти перпендикулярна плоскости орбиты. Там, как и на Луне, обнаружены признаки наличия воды в виде залежей льда, поскольку из-за практически полного отсутствия атмосферы и сильного нагрева планеты в жидком виде вода не смогла бы существовать, быстро испаряясь.



ПЕРИОД
ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ
СОЛНЦА
88 земных суток

ПЕРИОД
ВРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ
СВОЕЙ ОСИ
59 земных суток

Так как орбита Меркурия очень близка к Солнцу, он никогда не отходит далеко на небосклоне от нашей главной звезды, поэтому его звёздная величина составляет всего $-2,4$. Если Меркурий догоняет Солнце, то

его совсем недолго видно над горизонтом сразу после захода дневного светила. Когда же Меркурий лидирует, его можно увидеть перед восходом Солнца.

Ядро Меркурия составляет 83% от всего объёма планеты. Из-за того что огромное железное ядро сжимается, охлаждаясь, планета покрылась огромными уступами высотой до 3 км и протяжённостью в сотни километров. Меркурий покрыт

огромным количеством кратеров ударного происхождения. Одна из крупнейших ударных структур в Солнечной системе — Равнина Жары, возникшая в результате столкновения с астероидом. Другой особенностью Меркурия являются километровые поля маленьких, но глубоких провалов.

→ Крупнейший кратер на северном полюсе Меркурия носит имя русского композитора Прокофьева



ВЕНЕРА

ДИАМЕТР

12 104 км

МАССА

 $4,87 \cdot 10^{24}$ кг

ПЛОТНОСТЬ

5340 кг/м³

НАКЛОН

ОРБИТЫ

3,39°

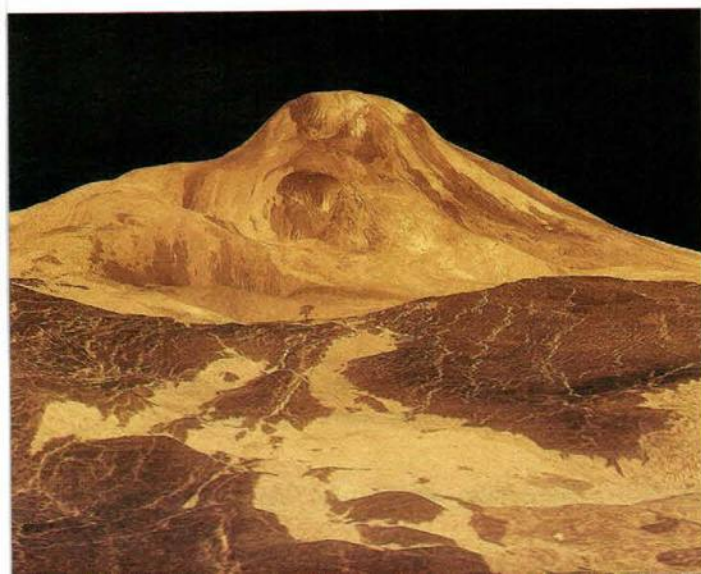
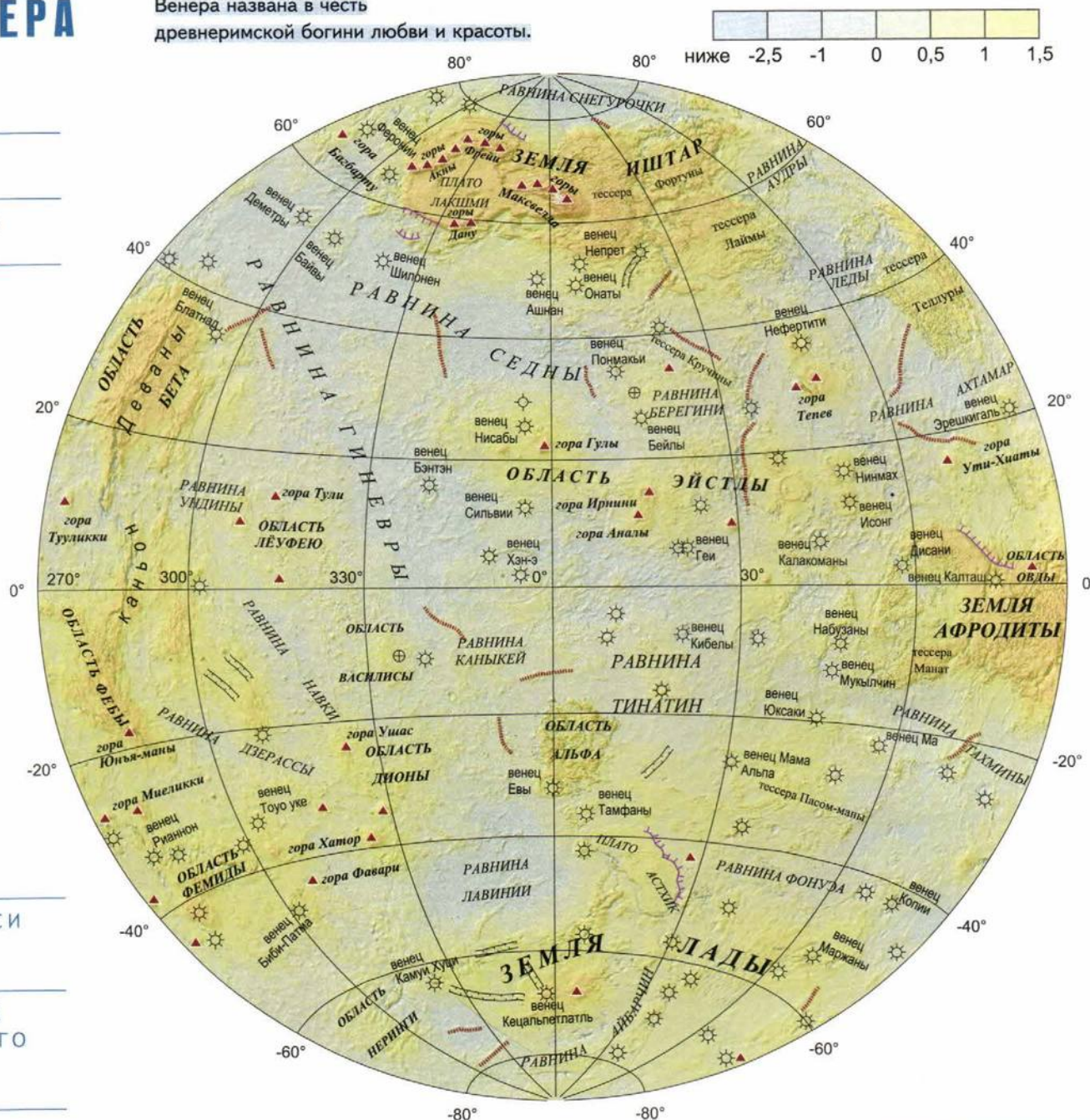
НАКЛОН ОСИ

ВРАЩЕНИЯ

177,36°

УСКОРЕНИЕ
СВОБОДНОГО
ПАДЕНИЯ8,87 м/с²

Венера названа в честь
древнеримской богини любви и красоты.

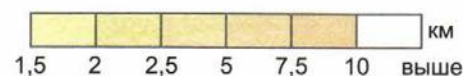


ВЕНЕРА — вторая планета от Солнца, ось вращения которой почти перпендикулярна к плоскости её орбиты вокруг Солнца, из-за чего сезонные изменения незначительны. Из-за медленного вращения Венера имеет слабое магнитное поле. Направление вращения, как и у Урана, противоположно вращению других планет Солнечной системы.

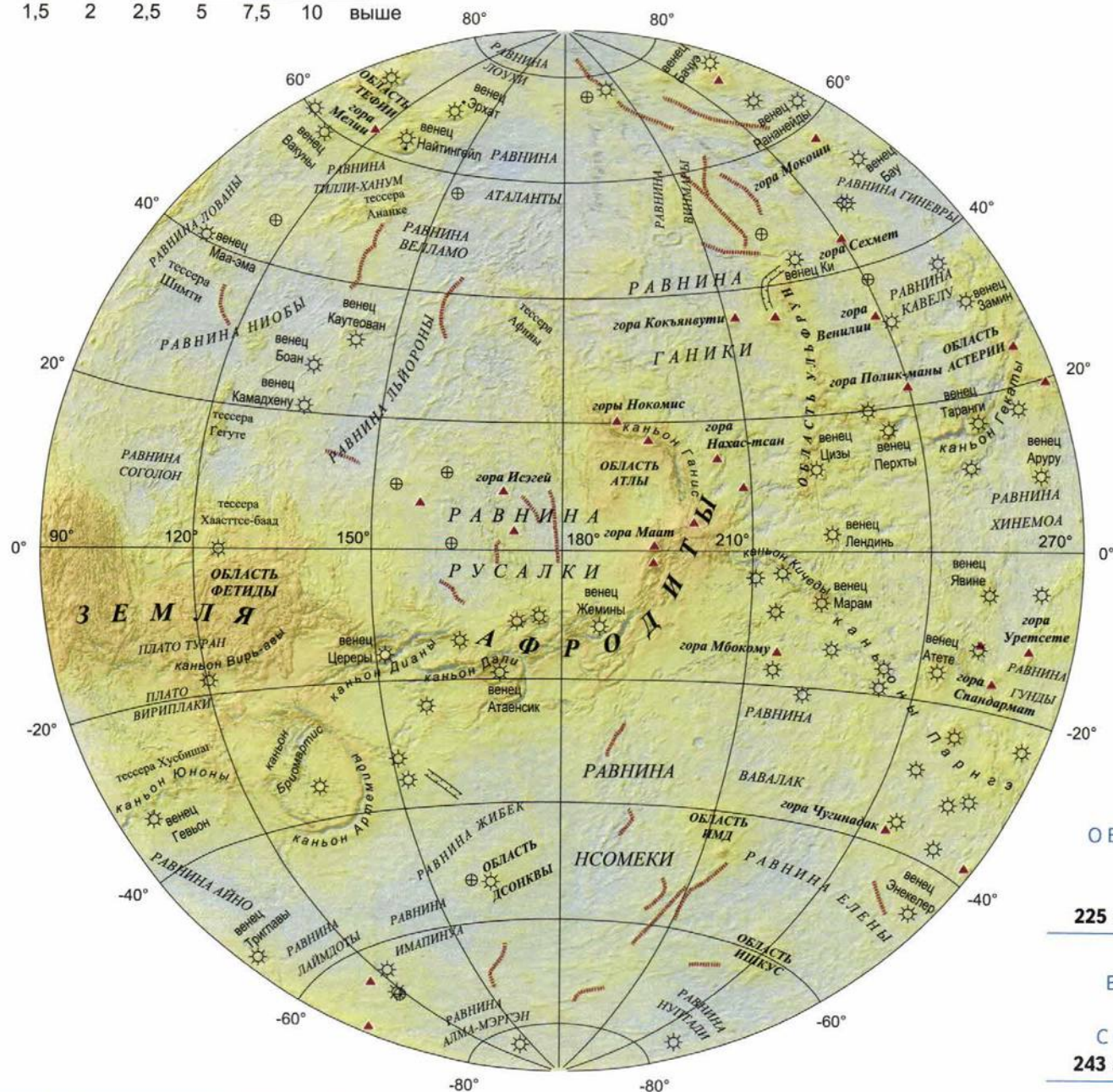
НАБЛЮДЕНИЕ ВЕНЕРЫ

Звёздная величина (до $-4,6$) делает Венеру третьим по яркости объектом на земном небосводе после Солнца и Луны: иногда она видна даже в светлое время суток.

Гора Маат около экватора. Изображение сгенерировано на компьютере с использованием данных радиолокации



1:105 000 000



ПЕРИОД
ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ
СОЛНЦА
225 земных суток

ПЕРИОД
ВРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ
СВОЕЙ ОСИ
243 земных суток

АТМОСФЕРА ВЕНЕРЫ

Планета имеет плотную атмосферу, состоящую почти на 96% из углекислого газа. Атмосферное давление на поверхности Венеры в 92 раза больше, чем на Земле. Венера является самой горячей планетой Солнечной системы: средняя температура поверхности 462 °C, что вызвано парниковым эффектом из-за непрозрачных облаков серной кислоты, которые всегда закрывают поверхность от визуальных наблюдений.

ПОВЕРХНОСТЬ ВЕНЕРЫ

Созданные на основе снимков карты показывают, что поверхность планеты в основном равнинная, хотя выделяют и горные регионы: Земля Афродиты и Земля Иштар. По своему составу грунт Венеры напоминает земные породы.

Панорама поверхности Венеры
в месте посадки советского аппарата «Венера-10»



ЗЕМЛЯ

Планета названа именем греческой богини Геи. Гея в греческой мифологии — мать-земля. Образ её отождествляется с неиссякаемым плодородием и мудростью.

ДИАМЕТР
12 740 км

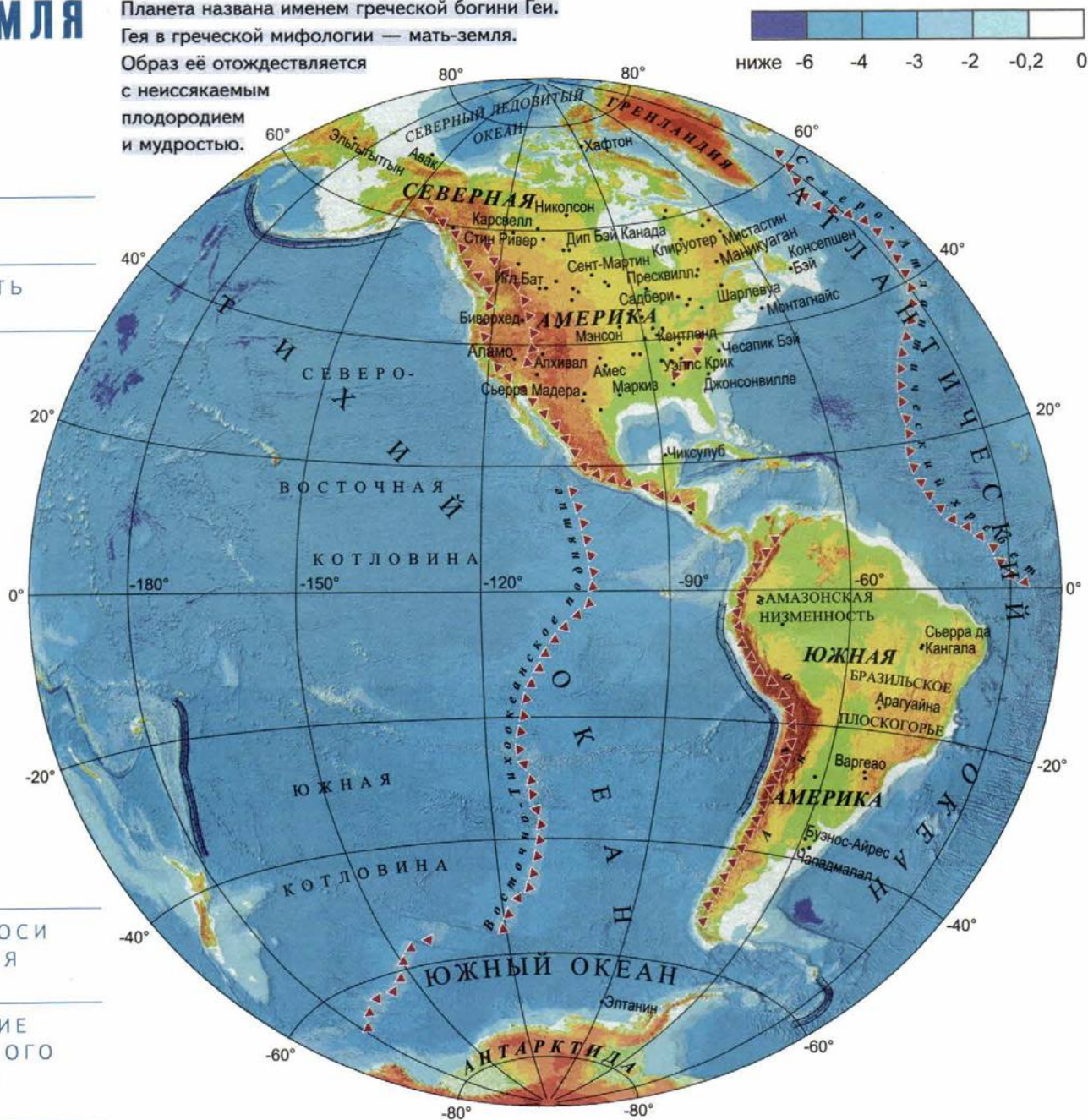
МАССА
 $5,97 \cdot 10^{24}$ кг

ПЛОТНОСТЬ
5515 кг/м³

НАКЛОН
ОРБИТЫ
0,0°

НАКЛОН ОСИ
ВРАЩЕНИЯ
23,5°

УСКОРЕНИЕ
СВОБОДНОГО
ПАДЕНИЯ
9,78 м/с²



ЗЕМЛЯ — третья от Солнца планета, крупнейшая по диаметру, массе и плотности среди планет земной группы. Земля — необыкновенная планета, поскольку на ней существует разумная жизнь и цивилизация. Помимо биосферы, уникальными отличиями нашей планеты от других тел земной группы являются магнитное поле, которое защищает поверхность Земли от прямого воздействия солнечного и космического излучения, и жидкая вода, которая занимает более 70% поверхности земного шара. Возраст Земли оценивается в 4,5 млрд лет. Согласно палеомагнитным исследованиям, в течение последних

Кратер Каракуль (Таджикистан) — самый высокогорный метеоритный кратер в мире. Это уникальное геологическое формирование возрастом около 10 млн лет и размером 45 км расположено на высоте 6 км и обнаружено недавно на космическом снимке. Особенностью является частично заполняющее кратер одноимённое озеро диаметром 25 км

Уступы высотой до 100 м, возникшие относительно недавно, менее миллиарда лет назад, из-за медленного остывания и сжатия Луны



Снимок лунных камней у Борозды Прямой по маршруту «Лунохода-2»



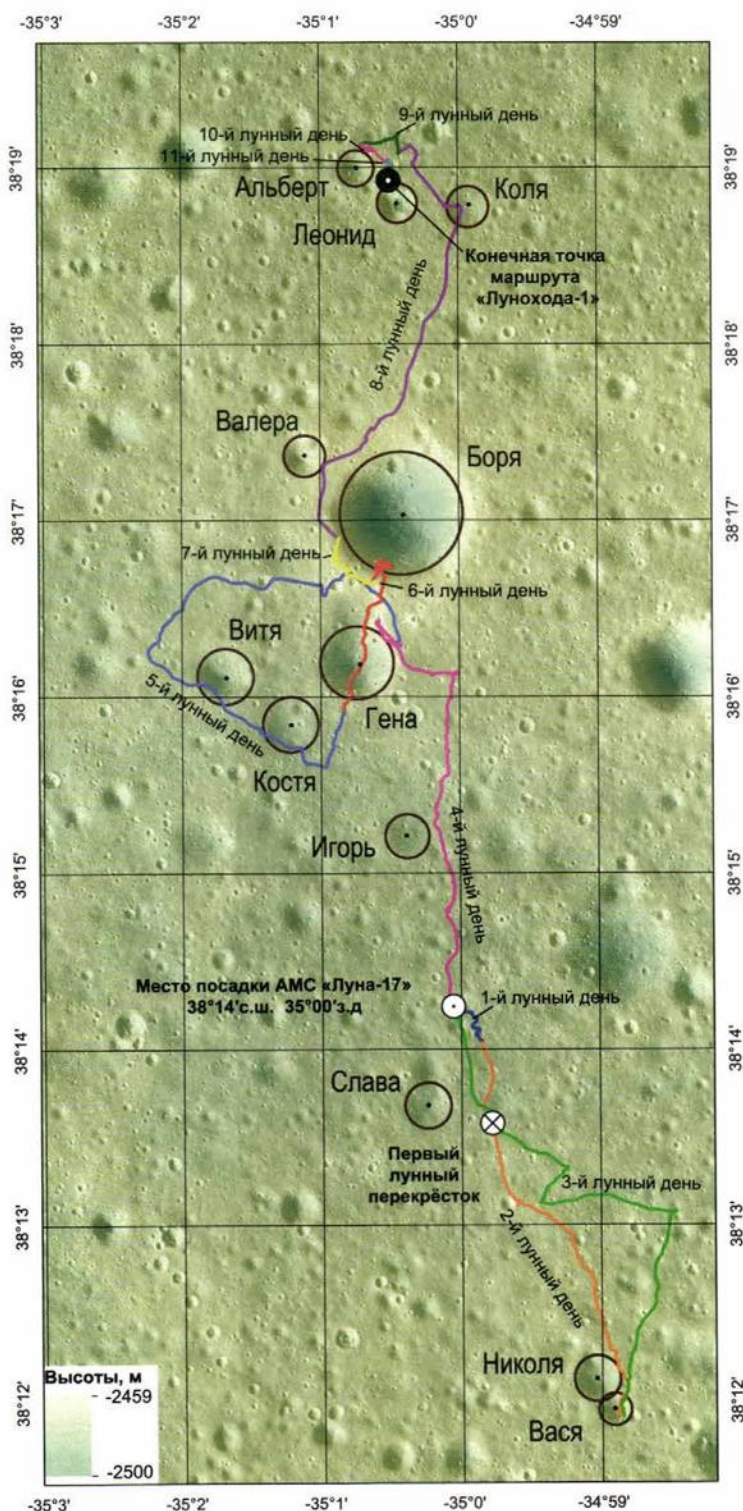
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУНЫ

Наша страна — первопроходец в освоении Луны: первый пролёт около Луны станции «Луна-1» состоялся в январе 1959 г. Станция «Луна-2» первой достигла лунной поверхности (сентябрь 1959 г.), фотографии обратной стороны Луны получены станцией «Луна-3» (октябрь 1959 г.), мягкая посадка на Луну и фотографии с лунной поверхности («Луна-9», февраль 1966 г.), искусственный спутник на орбите Луны («Луна-10», апрель 1966 г.), исследование плотности и прочности реголита («Луна-13», декабрь 1966 г.), первый облёт Луны и возвращение на Землю аппарата с живыми существами — черепахами («Зонд-5», сентябрь 1968 г.), автоматическая доставка на Землю внеземного вещества — лунного реголита («Луна-16», 1970 г.), управляемые с Земли планетоходы — «Луноход-1» («Луна-17», 1971 г.) и «Луноход-2» («Луна-21», 1973 г.). Последняя советская станция «Луна-24» (1976 г.) впервые выполнила бурение на глубине 2,5 м и доставила ещё одну порцию лунного грунта на Землю. Его анализ советскими учёными в 1978 г. впервые показал возможность наличия на Луне воды. Следующая отечественная миссия «Луна-25» планируется как раз для подтверждения существования воды и поисков льда на дне кратеров.

«Лунные тракторы» — тяжёлые, около тонны весом, автоматические планетоходы «Луноход-1» и «Луноход-2», которые впервые управлялись с Земли дистанционно по радиосвязи, исследовали поверхность лунных «морей» и переходной зоны между «морскими» и «материковыми» областями. Самоходные машины были доставлены на лунную поверхность автоматическими посадочными станциями: «Луна-17» совершила мягкую посадку в Море Дождей в 1971 г., а «Луна-21» — в Море Ясности в 1973 г.

Наши луноходы собрали и передали на Землю большое количество данных о лунном грунте и множество фотоснимков деталей и панорам лунного рельефа. На современных картах маршруты луноходов показаны с помощью реконструкции по следам их шасси, видимым на космических снимках.

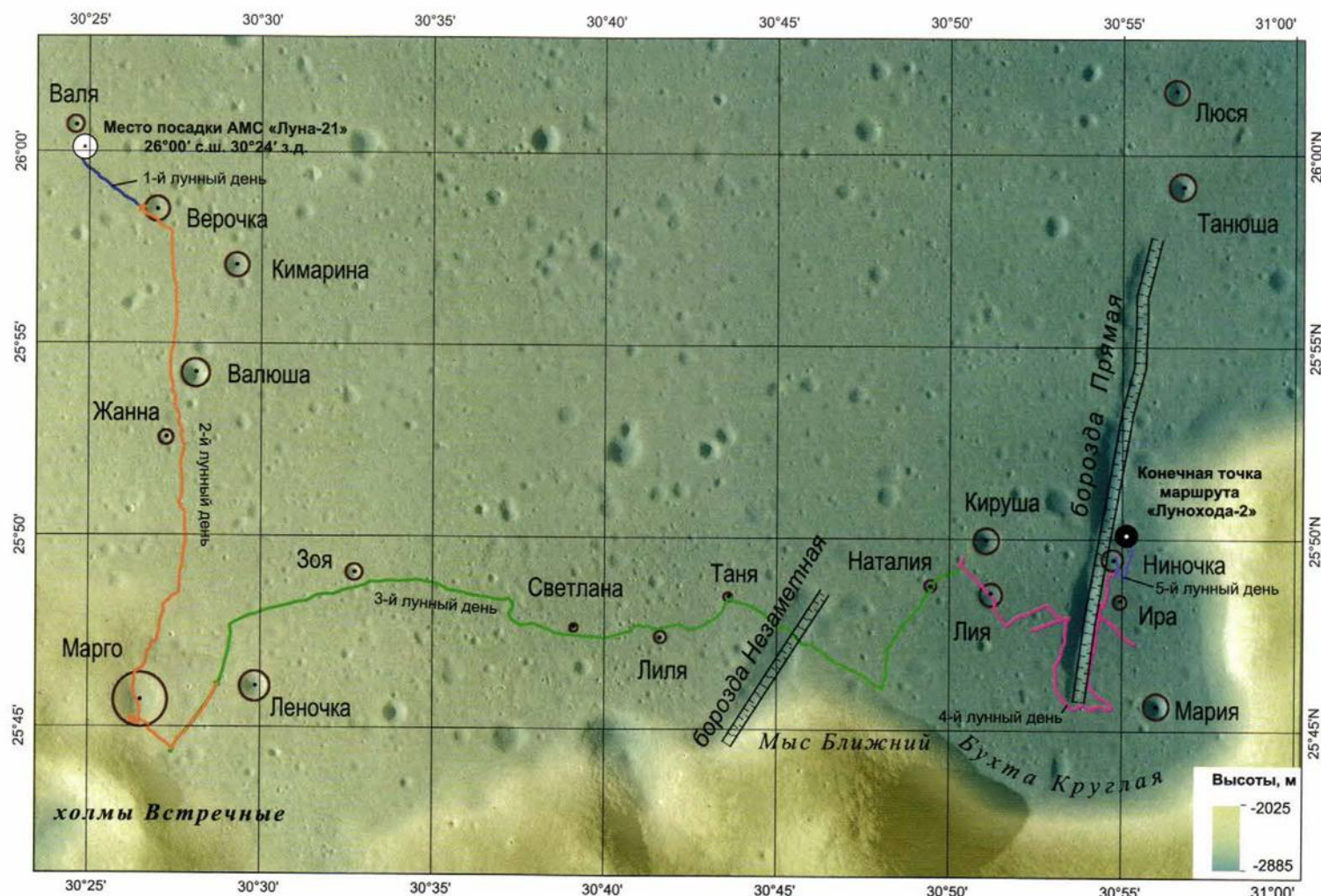
На современных орбитальных изображениях хорошо видны посадочные модули советских станций «Луна-17» и «Луна-21», а также следы шасси лу-



Карта маршрута «Лунохода-1»

Панорама лунной поверхности, полученная камерами «Лунохода-1»: слева — посадочный модуль «Луна-17», справа — первая лунная колея, созданная нашим планетоходом при съезде с трапа



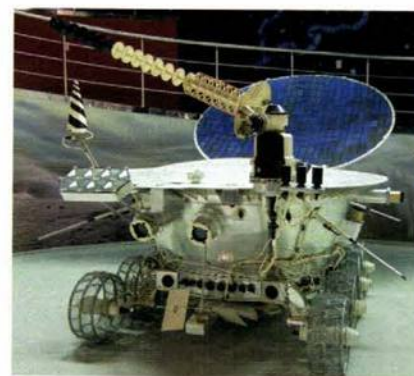


Недавно кратерам вдоль пути планетоходов присвоены имена участников советской лунной программы: членов экипажей, инженеров, а также геодезистов и картографов, помогавших в навигации по маршруту

ноходов. Советские планетоходы установили несколько лунных рекордов: «Луноход-1» проработал на поверхности Луны 10,5 земных месяца, или 11 лунных дней, пройдя 9,9 км согласно новой реконструкции (вместо измеренных во время миссии 10,5 км), а «Луноход-2» прошёл 39,1 км (ранее считалось, что 37 км) за 5 лунных дней (4,5 земных месяца), установив как рекорд скорости, так и рекорд дальности передвижения по внеземной поверхности. Рекорд дальности «Лунохода-2» продержался более 40 лет, когда его, наконец, перегнал марсоход «Оппортьюнити» в 2014 г.

На Луне планетоходы появились вновь лишь в 2013 г., когда китайский луноход «Юйту» прошёл всего около 0,1 км почти через 40 лет после «Лунохода-2».

На увеличенном фрагменте современного снимка — посадочный модуль «Луна-17» и следы шасси «Лунохода-1»



«Луноход-1»

Панорама лунной поверхности с посадочным модулем «Луна-21». Горы вдаль — бровка лунного кратера Лемонье диаметром 68 км, по дну которого передвигался «Луноход-2»



МАРС

Планета названа именем Марса — древнеримского бога войны.

ДИАМЕТР
6779 км

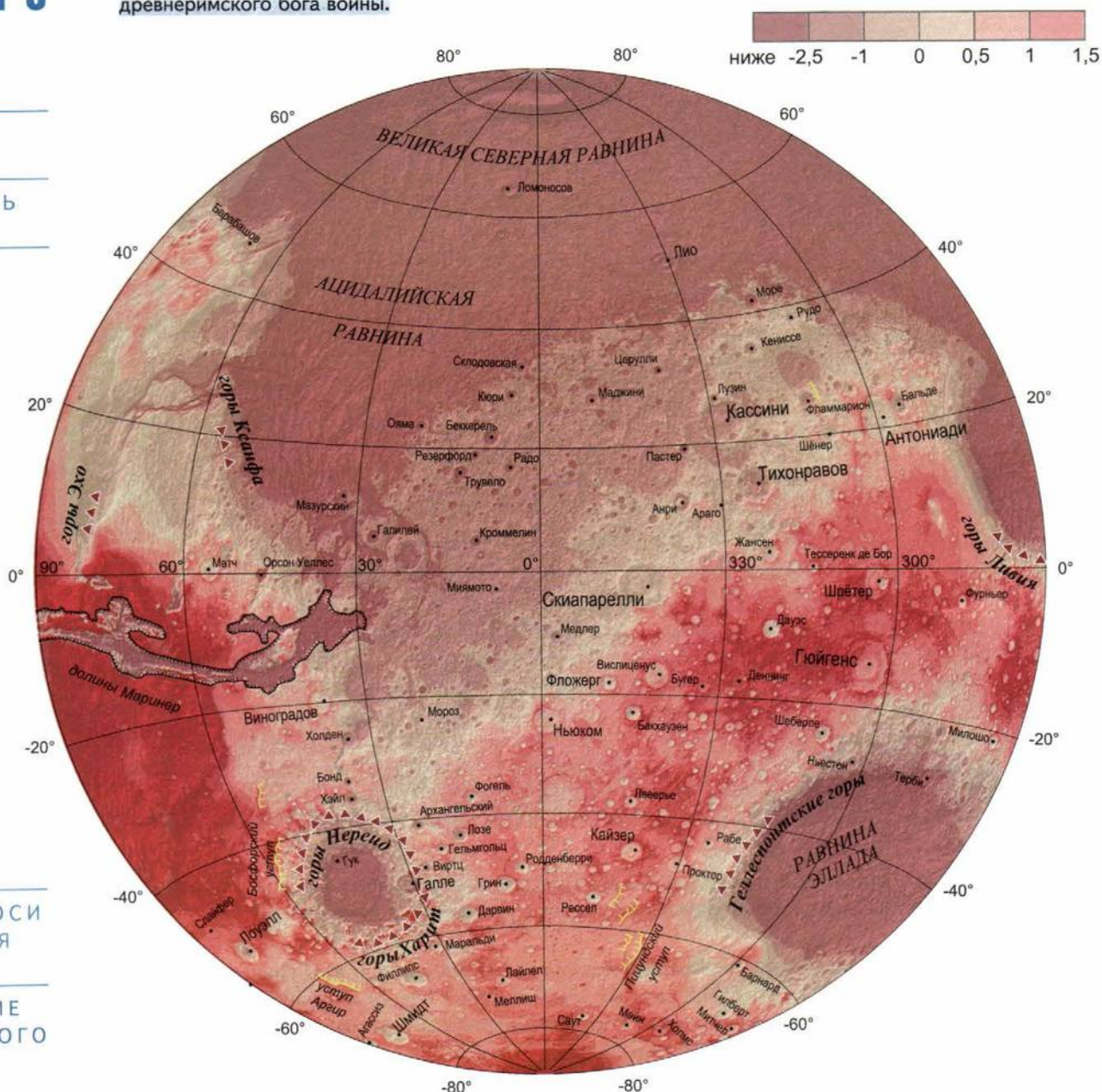
МАССА
 $6,42 \cdot 10^{23}$ кг

ПЛОТНОСТЬ
3940 кг/м³

НАКЛОН
ОРБИТЫ
1,85°

НАКЛОН ОСИ
ВРАЩЕНИЯ
25,20°

УСКОРЕНИЕ
СВОБОДНОГО
ПАДЕНИЯ
3,69 м/с²



МАРС — к настоящему моменту самая исследованная планета Солнечной системы, не считая Земли. Марс по ряду параметров похож на Землю: сутки на Земле и Марсе почти совпадают (24,6 часа); ось вращения Марса наклонена к его орбитальной плоскости приблизительно на 25°, что сравнимо с наклоном земной оси (23,4°), поэтому там, как и на Земле, происходит смена сезонов.

АТМОСФЕРА МАРСА

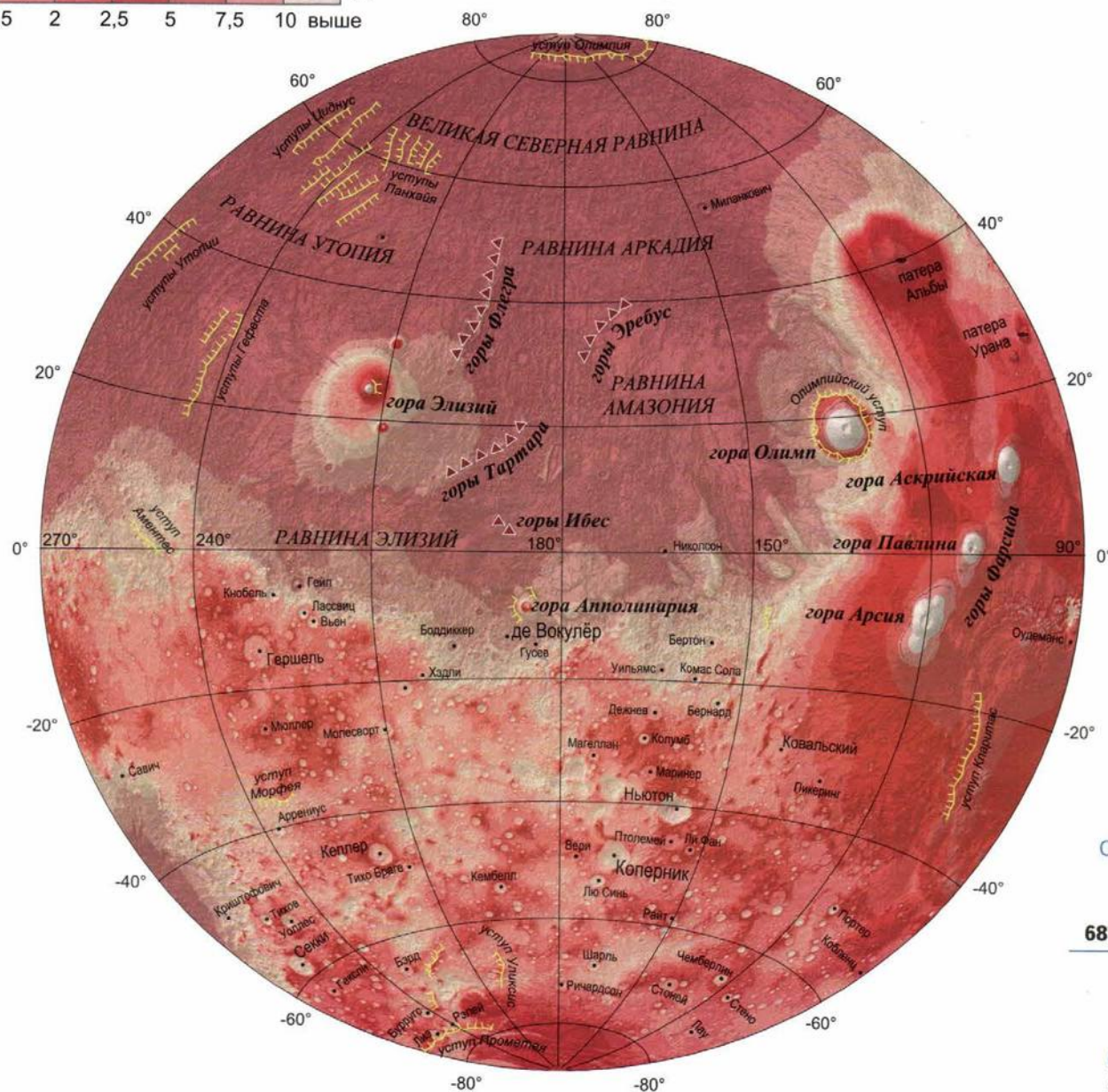
По составу атмосфера Марса очень похожа на атмосферу Венеры, поскольку её основным компонентом является двуокись углерода (95% для Марса, 97% для Венеры). Но удалённость планеты от Солнца и слабая атмосфера привели к тому, что даже летом на экваторе Марса температура редко днём поднимается выше 0 °C, хотя порой воздух может прогреваться до 35 °C, зато зимой морозы усиливаются до -153 °C. Порой на Марсе происходят сильные пылевые бури, которые

Олимп — самый крупный вулкан в Солнечной системе: высота 21,2 км, глубина кальдеры 3 км, диаметр 85 км



1:60 000 000

1,5 2 2,5 5 7,5 10 выше км



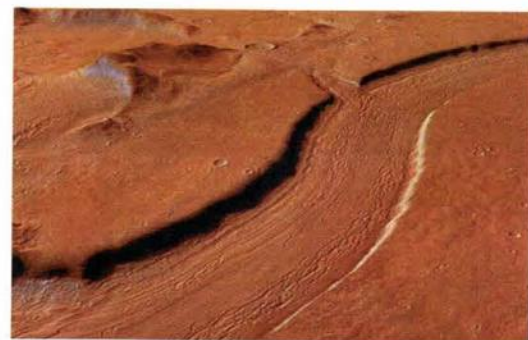
ПЕРИОД
ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ
СОЛНЦА
687 земных суток

ПЕРИОД
ВРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ
СВОЕЙ ОСИ
1 земные сутки

практически полностью скрывают поверхность, вызывая резкое глобальное похолодание на планете.

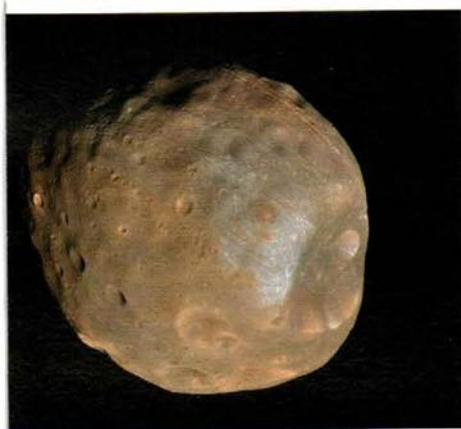
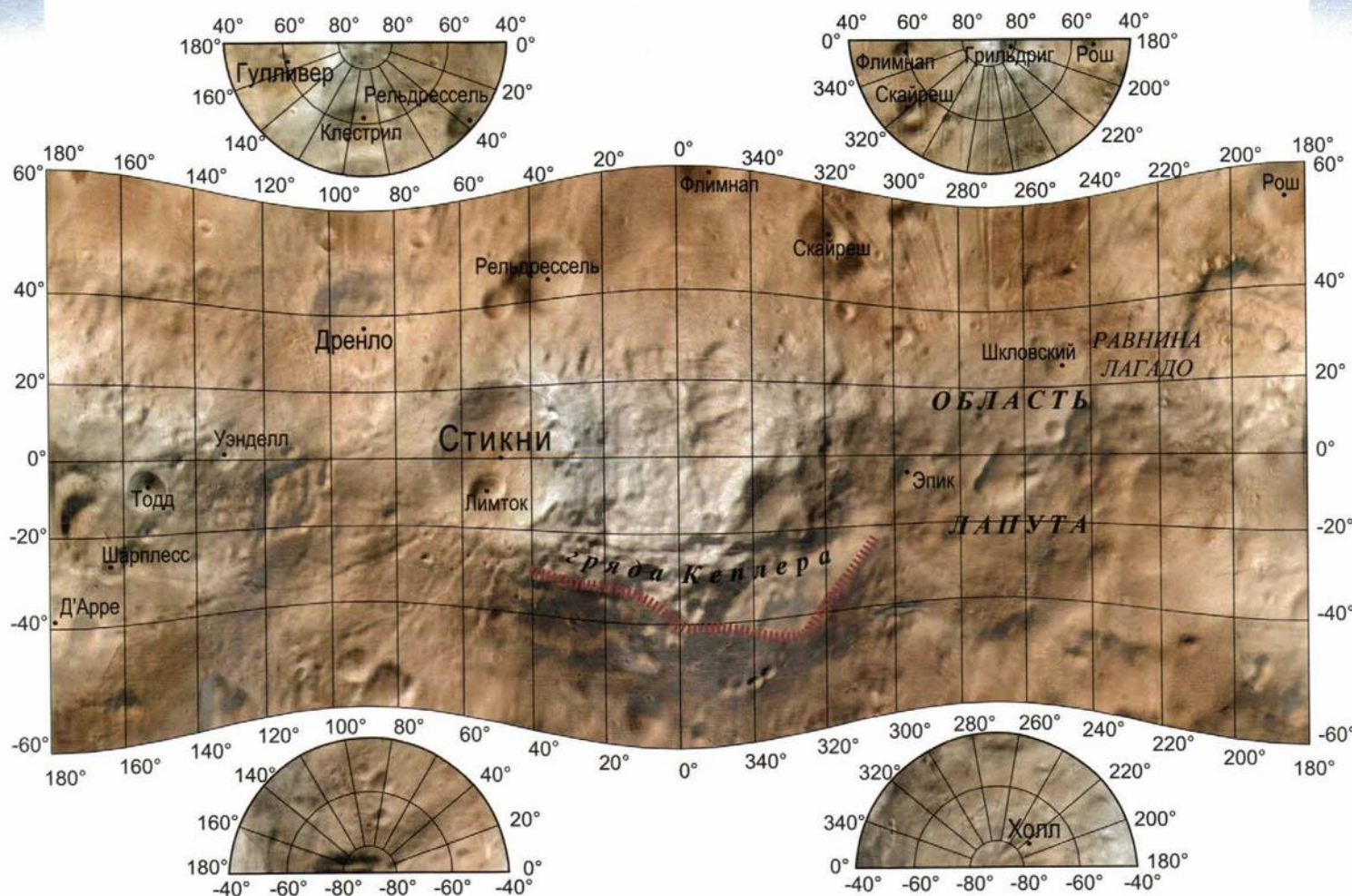
ПОВЕРХНОСТЬ МАРСА

Красноватый цвет Марса объясняется большой распространённостью железосодержащих пород. На космических снимках поверхности планеты хорошо видны сухие русла рек и грандиозные каньоны, что говорит о существовании воды на Марсе в прошлом. Однако в настоящее время запасы воды на Марсе сосредоточены преимущественно в снежных полярных шапках и приповерхностном слое вечной мерзлоты до сотен метров толщиной, поскольку при текущем климате вода в жидком виде быстро испаряется с поверхности. Невозможность жидкой воды также связана с отсутствием глобального магнитного поля: у Марса есть только остатки древнего планетарного поля. Из-за этого поверхность планеты постоянно подвергается бомбардировке солнечным излучением и воздействию солнечного ветра, что делает Марс опасным для пребывания людей.



Высохшее русло на Марсе, созданное потоками воды, простирается почти на 1500 км и имеет множество притоков. Участок на снимке имеет глубину около 300 м и ширину почти 7 км

СПУТНИКИ МАРСА



Фобос

Спутники Марса **ФОБОС** и **ДЕЙМОС** имеют довольно маленькие размеры и по форме напоминают картофелины. Размеры хорошо определены пока только для Фобоса (26×23×18 км); примерные размеры Деймоса составляют 15×12 км. Фобос обращается на расстоянии 9400 км от планеты с периодом 7,6 часа, а Деймос — на расстоянии 23 500 км с периодом 1,2 земных суток. Скорость собственного вращения этих тел равна скорости их движения по орбите вокруг Марса, поэтому, как и наша Луна, оба спутника постоянно обращены одной стороной к родительскому телу. Спутники были открыты астрономом А. Холлом в 1877 г. и названы им Фобос («Страх») и Деймос («Ужас») в честь сыновей древнегреческого бога Ареса.

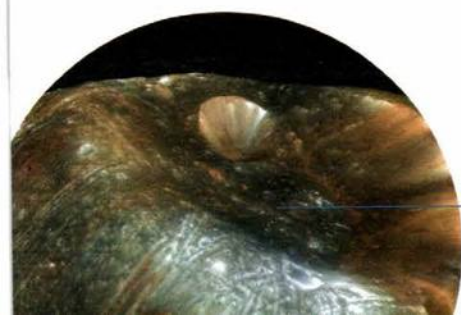
ПОВЕРХНОСТЬ СПУТНИКОВ

Поверхность марсианских спутников, как и у большинства тел в Солнечной системе, покрыта ударными кратерами, однако Деймос выглядит более гладким, а Фобос испещрён многочисленными бороздами и цепочками воронок кратеров. Борозды и цепочки образуют целые семейства, которые показаны на нашей карте разными цветовыми оттенками. Такого количества борозд нет больше ни у одного неледяного тела в Солнечной системе.

ИССЛЕДОВАНИЯ ФОБОСА

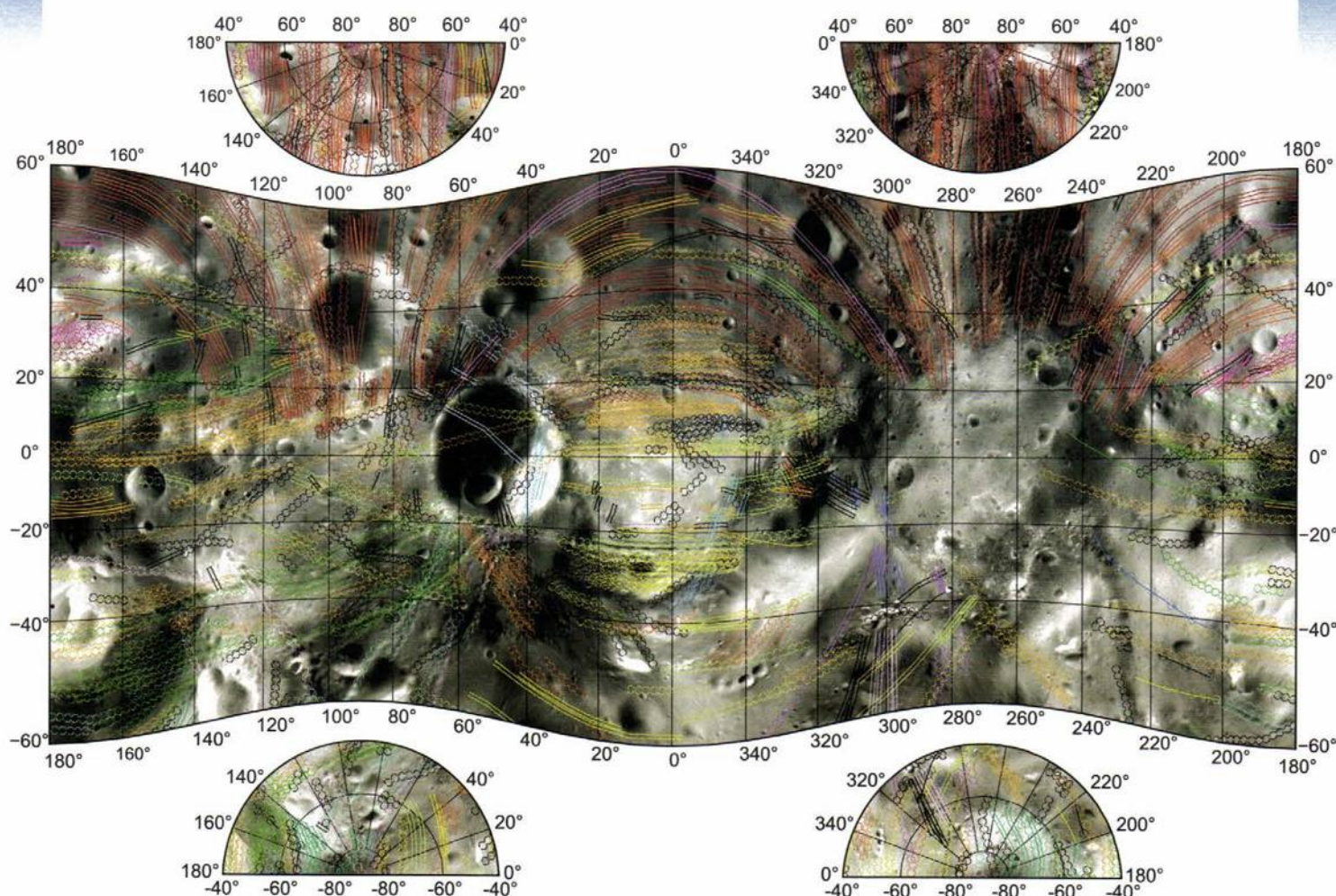
К Фобосу, как одному из самых интересных объектов, снаряжаются космические экспедиции для решения загадок происхождения марсианских спутников. Так, в нашей

Самый большой кратер на Фобосе — Стикни (8,1 км), назван в честь жены астронома А. Холла



КАРТА БОРОЗД ФОБОСА

1:480 000



ЭТО ИНТЕРЕСНО

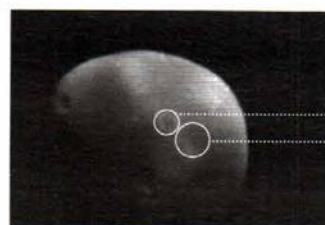
Впервые предположение о том, что у Марса есть два спутника, высказал астроном И. Кеплер, затем французский философ и писатель Вольтер в одном из своих произведений упомянул о том, что вокруг Марса вращаются две луны, ускользающие от глаз земных астрономов, и, наконец, удивительно точное предсказание о наличии у Марса двух небольших спутников появилось на страницах знаменитых «Путешествий Гулливера», придуманных Дж. Свифтом в начале XVIII в.

Теперь имена Свифта и Вольтера носят кратеры Деймоса, а имя Кеплера отражено на карте Фобоса. Литературное дарование и прозорливость Дж. Свифта вознаграждены также и тем, что несколько кратеров на Фобосе носят имена героев его книги «Путешествия Гулливера».

к 2025 г. планируется миссия «Бумеранг», задачей которой будет посадка, бурение и возвращение вземного вещества с поверхности Фобоса на Землю. Это позволит получить знания о внутренней структуре, вещественном составе и происхождении Фобоса. Ведь малые тела, к которым принадлежит Фобос, являются реликтовыми объектами и свидетелями самых ранних стадий эволюции Солнечной системы. Они образовались задолго до самых древних земных пород и помогут раскрыть многие тайны нашей планеты.



Деймос



Кратеры на Деймосе: 1 — Свифт, 2 — Вольтер



ЮПИТЕР

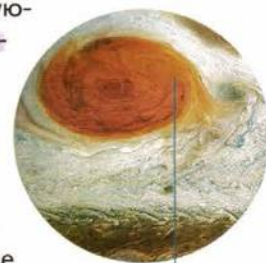
ЮПИТЕР — пятая планета от Солнца и самая большая в Солнечной системе.

Это гигантская газовая планета с массой тысячной доли Солнца. Скорость вращения Юпитера вокруг своей оси больше, чем у любой другой планеты Солнечной системы. Если смотреть с Земли, Юпитер может достигать видимой звёздной величины $-2,94$, что достаточно ярко, чтобы отбрасывать тени и сделать его третьим по яркости объектом в ночном небе после Луны и Венеры. Юпитер играет роль нашего защитника от космического мусора, притягивая к себе огромное количество астероидов, тем самым охраняя орбиту Земли от незваных гостей. Если бы Юпитер был в 80 раз более массивным, в его ядре произошёл бы ядерный синтез и Юпитер мог бы стать звездой.

АТМОСФЕРА ЮПИТЕРА

Атмосфера Юпитера особенная, потому что это самая большая планетарная атмосфера Солнечной системы. Она состоит из водорода и гелия, примерно в тех же пропорциях, что и Солнце.

Внешняя атмосфера Юпитера разделена на следующие слои (снизу вверх): *тропосфера*, *стратосфера*, *термосфера* и *экзосфера*. Каждый слой имеет свой характерный температурный градиент. Взаимодействие слоёв вдоль границ приводит к турбулентности и штормам. Одним из результатов такого взаимодействия является Большое Красное Пятно — долгоживущий гигантский шторм, расположенный на 22° южнее экватора, который бушует не менее 350 лет.



Большое Красное Пятно

ДИАМЕТР

139 822 км

МАССА

$1,9 \cdot 10^{27}$ кг

ПЛОТНОСТЬ

1330 кг/м³

НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ

$3,13^\circ$

ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ ВОКРУГ СОЛНЦА

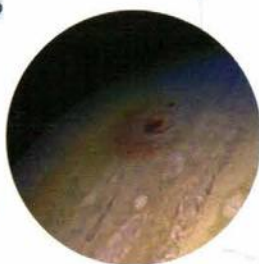
12 лет

ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ ВОКРУГ СВОЕЙ ОСИ

10 часов

Названа в честь древнеримского верховного божества Юпитер, управляющего судьбами мира и людей.

Тёмные пятна — последствия столкновения кометы Шумейкеров — Леви 9 с Юпитером



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Одно из редчайших астрономических явлений — столкновение кометы Шумейкеров — Леви 9 с Юпитером в 1994 г. Кинетическая энергия падавших на Юпитер фрагментов ядра кометы была настолько велика, что каждое падение завершалось грандиозным взрывом и сильной световой вспышкой. Часть планеты покрылась тёмными пятнами, размер которых был величиной с Землю!

КОЛЬЦА ЮПИТЕРА

Планетарная система колец Юпитера слабая и состоит главным образом из пылевых частиц. Кольца подразделены на четыре части: сначала идёт самое толстое кольцо, известное как «Гало», затем — относительно яркое, очень тонкое «Главное кольцо» и, наконец, два широких и слабых внешних кольца, названных «паутинными»: они тонкие и прозрачные, как паутина.

Из-за препятствий, создаваемых атмосферой и магнитным полем планеты, частицы не задерживаются подолгу в кольцах. Это значит, что кольца Юпитера должны непрерывно пополняться. Источником таких пополнений служит материал спутников Юпитера, чьи орбиты лежат в пределах колец: для «Главного кольца» и «Гало» — это Адрастея и Метида, а для внешних «паутинных» колец — Амальтея и Фива.



СПУТНИКИ ЮПИТЕРА

Юпитер имеет по меньшей мере 69 спутников. Восемь из них являются регулярными спутниками и называются так потому, что их орбиты совершают обороты в том же направлении, что и планета. Орбиты регулярных спутников практически круговые и

ИО — один из самых замечательных объектов нашей Солнечной системы. Его легко узнать среди других спутников Юпитера по ярко-жёлтому цвету поверхности. Ио является самым геологически активным телом: там обнаружено более 400 действующих вулканов. Температура возле вулканов около 1000 °C, но так как спутник находится далеко от Солнца, средняя его температура составляет −143 °C.

Поверхность Ио покрыта озёрами расплавленной серы. В процессе нагревания и остывания сера меняет свой цвет, поэтому спутник имеет поверхность необычайно яркого цвета с изобилием оттенков. На Ио обнаружена тонкая атмосфера и полярные сияния, вызванные радиацией.

ГАНИМЕД — самый большой естественный спутник в Солнечной системе. Поверхность Ганимеда на 40% покрыта древней мощной ледяной корой, усеянной многочисленными метеоритными кратерами. На Ганимеде различают участки двух геологических типов: очень древние, сильно кратерированные тёмные области и более молодые светлые территории, покрытые бороздами, канавками и гребнями. Тёмные участки поверхности занимают примерно $\frac{1}{3}$ всей площади и содержат глины и органические вещества.

Ганимед — единственный спутник, у которого есть собственная магнитосфера. Она очень мала и погружена в магнитосферу Юпитера. Несмотря на наличие железного ядра, магнитосфера Ганимеда остаётся загадкой, особенно с учётом того, что у других подобных тел её нет. Ганимед имеет тонкий слой атмосферы, хотя и состоящей из кислорода, но слишком слабой для поддержания жизни.

находятся почти в плоскости экватора планеты, имея низкий наклон. Самые крупные регулярные спутники Юпитера были открыты Галилео Галилеем в 1610 г. и получили название «*галилеевы*» спутники.

ЕВРОПА — покрытый льдом гладкий спутник: перепады высот не превышают 50 м. На Европе мало кратеров, потому что её поверхность тектонически активна и молода. Планетарная сеть линий на её поверхности — это трещины и разломы в толстой ледяной корке, вызываемые тектоническими процессами. Ширина разломов — от десятков до сотен километров, а их протяжённость достигает 3000 км и более.

Разломы не сопровождаются какими-либо движениями коры, а трещины заполняются быстро затвердевающим оранжевым раствором. Под ледяной оболочкой Европы, возможно, скрывается внутренний океан. Поэтому Европа считается потенциальным источником внеземной жизни.

КАЛЛИСТО — второй по величине спутник в системе Юпитера. Среди «галилеевых» это самый дальний спутник. Спутник окружён чрезвычайно тонкой атмосферой, состоящей из двуокиси углерода и, вероятно, молекулярного кислорода. Каллисто — самое кратерированное место в Солнечной системе: поверхность спутника покрыта большим количеством ударных кратеров самой разнообразной формы, некоторые из них сливаются друг с другом в так называемые «*катены*». Учёные считают, что у Каллисто самая старая поверхность из всех объектов в Солнечной системе.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Для «галилеевых» спутников характерна закономерность: чем дальше спутник расположен от Юпитера, тем ниже его средняя плотность и тем больше на нём воды в твёрдом или жидком состоянии. Одна из гипотез объясняет это тем, что в ранние эпохи эволюции Солнечной системы Юпитер был гораздо горячее, поэтому летучие соединения, в том числе водяной пар, выметались из областей, близких к планете, и захватывались его спутниками.

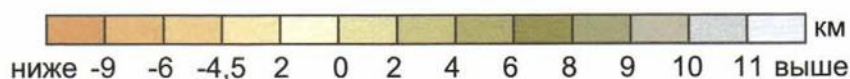
Спутники Юпитера:

- 1 — Ио; 2 — Европа;
3 — Ганимед; 4 — Каллисто

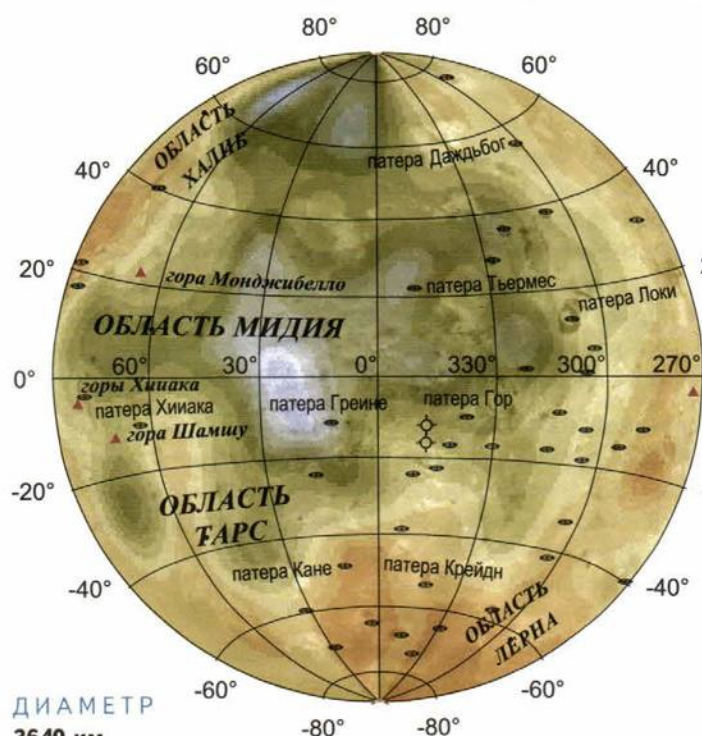


ГАЛИЛЕЕВЫ СПУТНИКИ ЮПИТЕРА

ИО



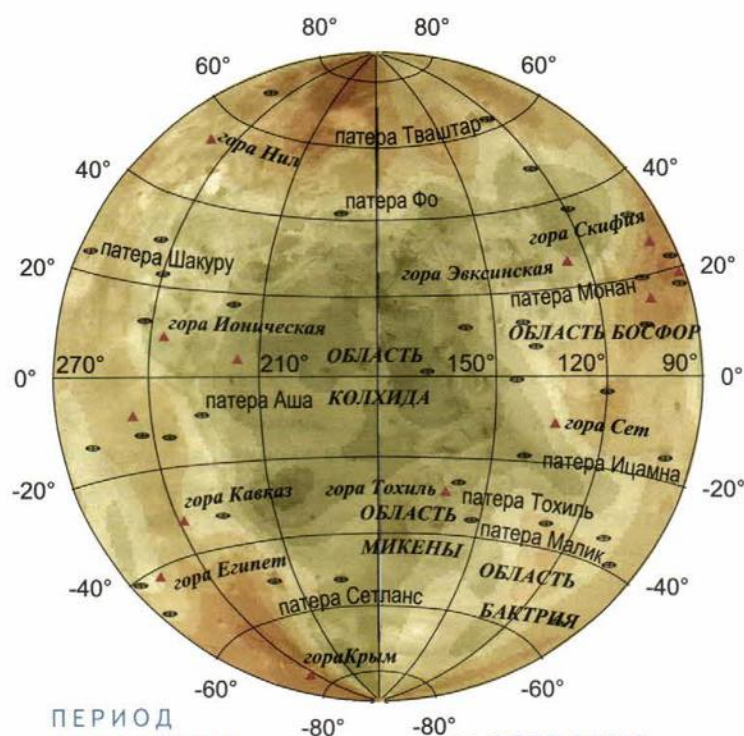
1:72 000 000



ДИАМЕТР
3640 км

МАССА
 $8,93 \cdot 10^{22}$ кг

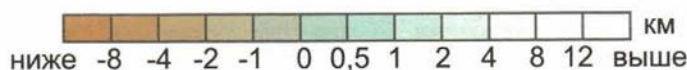
ПЛОТНОСТЬ
3528 кг/м³



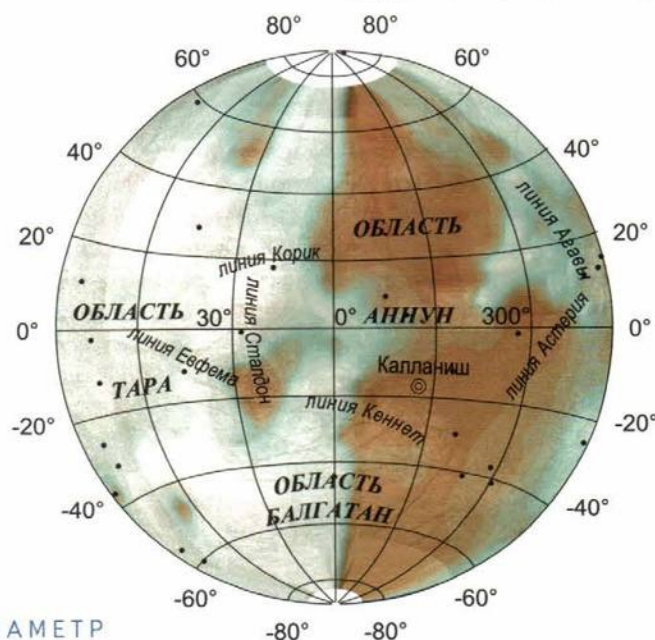
ПЕРИОД
ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ ЮПИТЕРА
2 земных суток

РАССТОЯНИЕ
ДО ЮПИТЕРА
422 тыс. км

ЕВРОПА



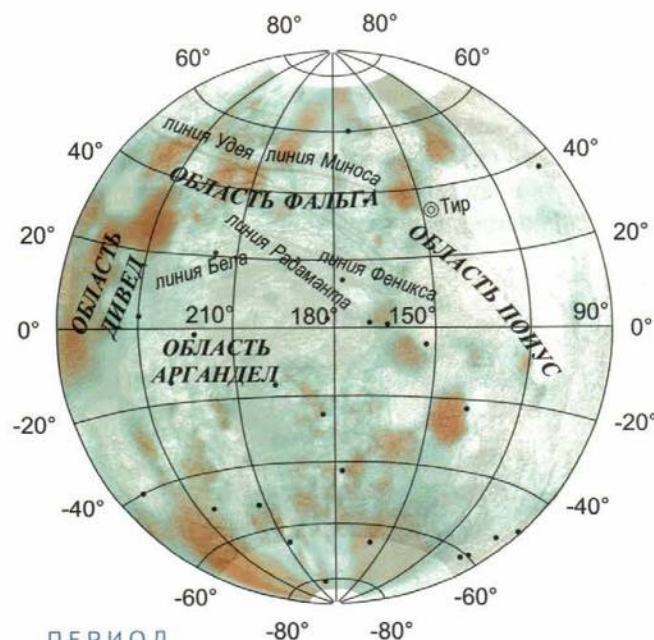
1:72 000 000



ДИАМЕТР
3124 км

МАССА
 $4,8 \cdot 10^{22}$ кг

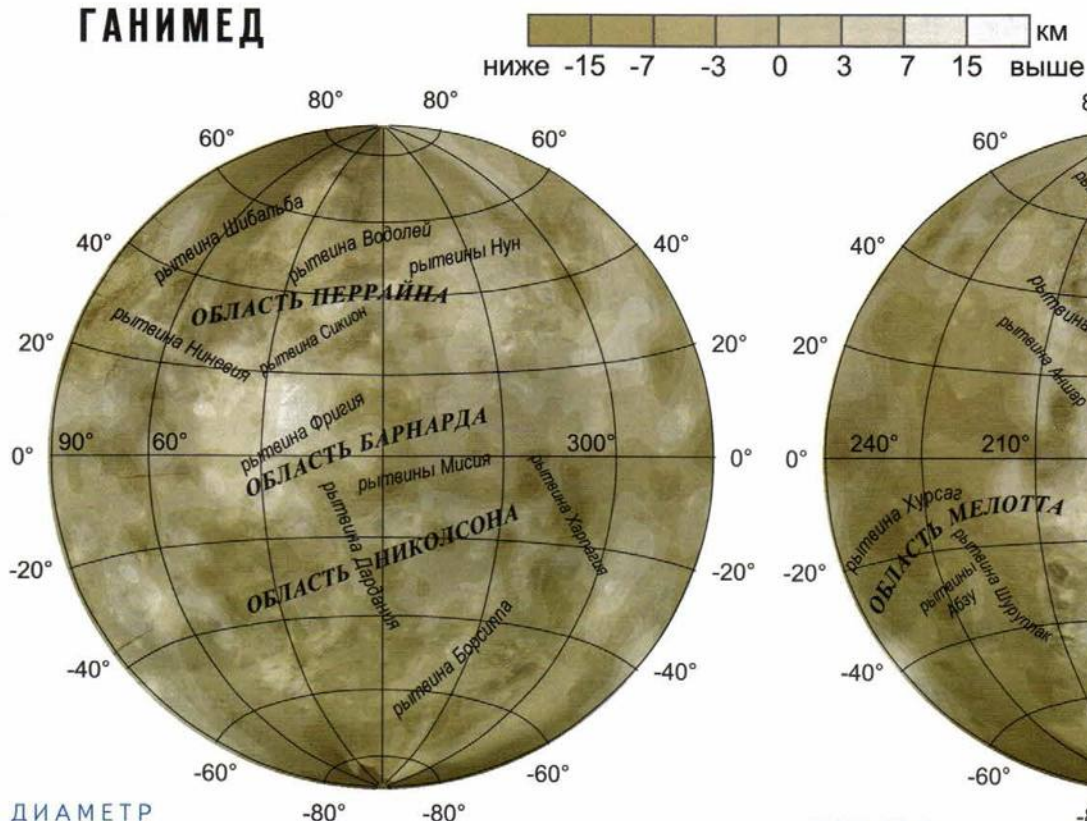
ПЛОТНОСТЬ
3014 кг/м³



ПЕРИОД
ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ ЮПИТЕРА
3,5 земных суток

РАССТОЯНИЕ
ДО ЮПИТЕРА
671 тыс. км

ГАНИМЕД

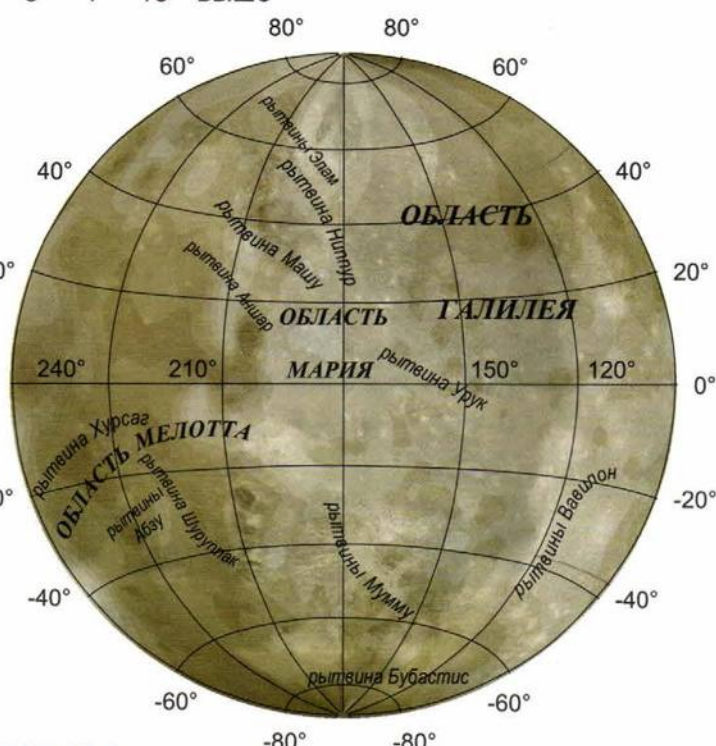


ДИАМЕТР
5300 км

МАССА
 $1,48 \cdot 10^{22}$ кг

ПЛОТНОСТЬ
1936 кг/м³

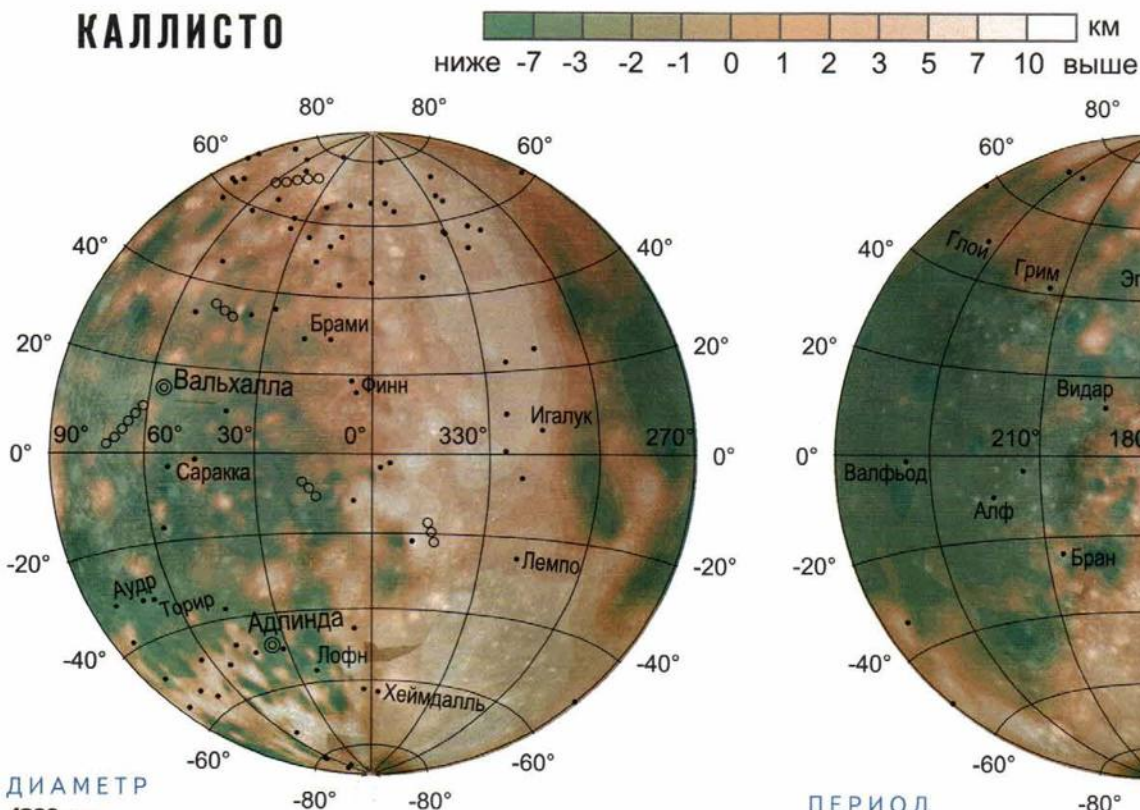
1:95 000 000



ПЕРИОД
ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ ЮПИТЕРА
2 земных суток

РАССТОЯНИЕ
ДО ЮПИТЕРА
1070 тыс. км

КАЛЛИСТО

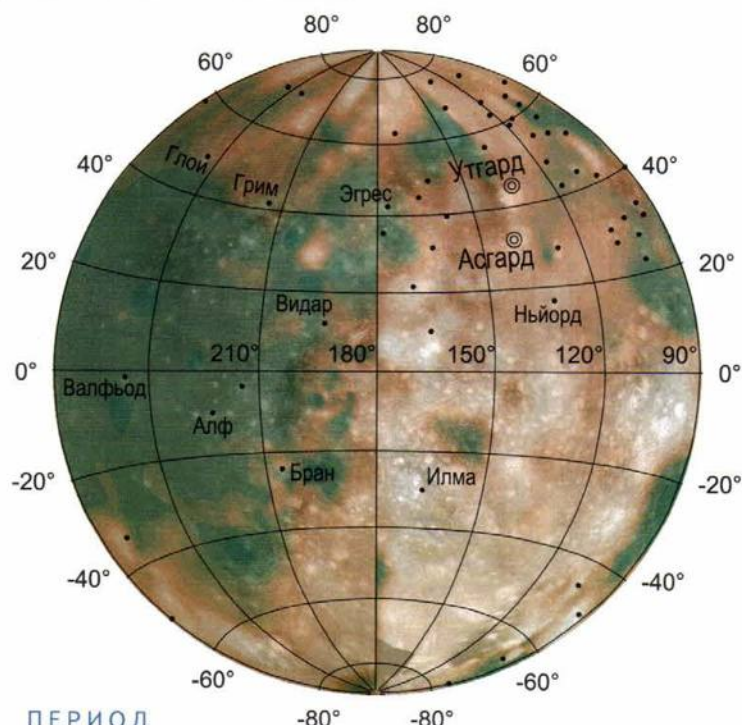


ДИАМЕТР
4820 км

МАССА
 $1,08 \cdot 10^{23}$ кг

ПЛОТНОСТЬ
1834 кг/м³

1:95 000 000



ПЕРИОД
ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ ЮПИТЕРА
17 земных суток

РАССТОЯНИЕ
ДО ЮПИТЕРА
1883 ТЫС. КМ


ДИАМЕТР
 $1,16 \cdot 10^5 \text{ км}$
МАССА
 $5,68 \cdot 10^{26} \text{ кг}$
ПЛОТНОСТЬ
 678 кг/м^3
НАКЛОН ОРБИТЫ
 $2,48^\circ$
НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ
 $26,73^\circ$
**УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО
ПАДЕНИЯ**
 $10,44 \text{ м/с}^2$
**ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ ВОКРУГ
СОЛНЦА**
 $29,5 \text{ лет}$
**ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ ВОКРУГ
СВОЕЙ ОСИ**
 $10,5 \text{ ч}$

Сатурн назван в честь
древнеримского бога земледелия.

САТУРН

САТУРН — шестая планета от Солнца и вторая по величине в Солнечной системе после Юпитера. Это газовый гигант с радиусом примерно в девять раз больше, чем радиус Земли. Сатурн — единственная планета в Солнечной системе, чья плотность меньше плотности воды. Если бы Солнечная система представляла собой огромный океан, то Сатурн смог бы в нём плавать! Глобальное магнитное поле Сатурна слабее земного, но из-за больших размеров Сатурна имеет магнитный момент в 580 раз больше, чем у Земли. Магнитное поле Сатурна интересно тем, что ось магнитного диполя с точностью до 1° совпадает с осью вращения планеты, а центр диполя совпадает с центром масс Сатурна с точностью до 0,01 радиуса. Напряжённость магнитного поля на экваторе на уровне верхушек облаков составляет 57% от земного.

АТМОСФЕРА САТУРНА

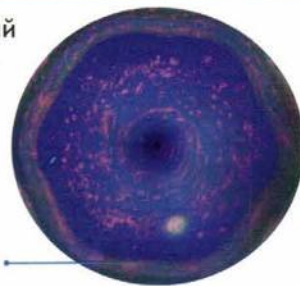
Атмосфера Сатурна подразделена на верхний и нижний слои, отличающиеся давлением, глубиной и химическим составом. Из-за кристаллов аммиака в слоях верхней атмосферы Сатурн имеет бледно-жёлтый оттенок. Издали атмосфера выглядит полосатой у полюсов, к экватору линии тускнеют и расширяются.

Иногда в атмосфере Сатурна формируются долгоживущие пятна. Наиболее известное — Большое Белое Пятно, которое образуется каждый сатурнианский год в период летнего солнцестояния на северном полушарии.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

На Сатурне обнаружен интересный атмосферный феномен — геометрически правильный шестиугольник вокруг северного полюса. Стороны шестиугольника имеют длину около 14 тыс км, что больше диаметра Земли. В центре него бушует постоянный сильный ураган размером 2000 км.

Устойчивое атмосферное образование на Сатурне



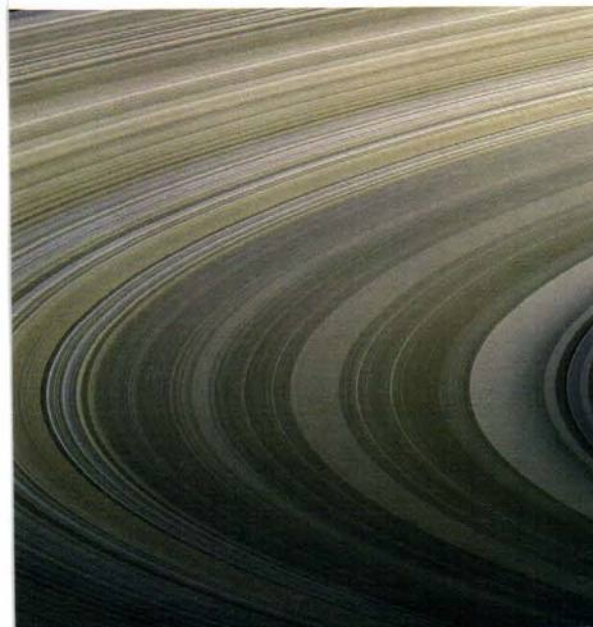
КОЛЬЦА САТУРНА

Сатурн имеет самую зрелищную кольцевую систему, состоящую из семи колец с несколькими промежутками между ними. Кольца Сатурна, как и у других планет, являются остатками огромного околопланетного облака, из которого сформировалась Солнечная система.

Кольца состоят в основном из частиц льда, каменных обломков и пыли.

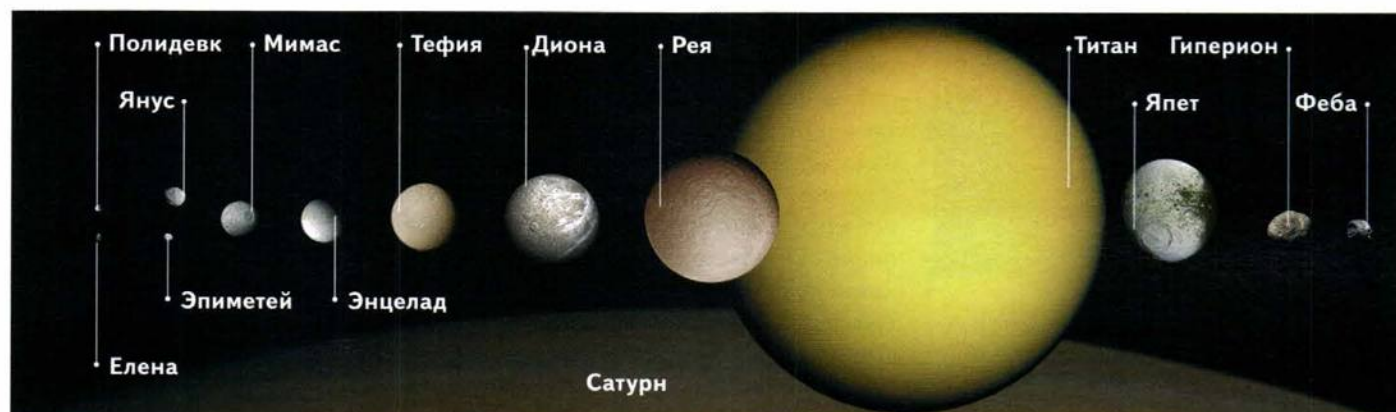
ЭТО ИНТЕРЕСНО

Один раз в 14—15 лет кольца поворачиваются к нам ребром, и из-за того, что они очень тонки, мы их перестаём видеть. Этим временным исчезновением колец мы обязаны наклону оси вращения Сатурна к плоскости его орбиты.

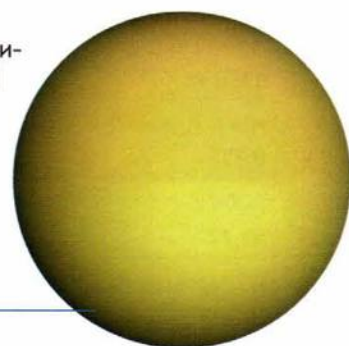


СПУТНИКИ САТУРНА

В настоящее время известно 62 спутника, 53 из них имеют названия.



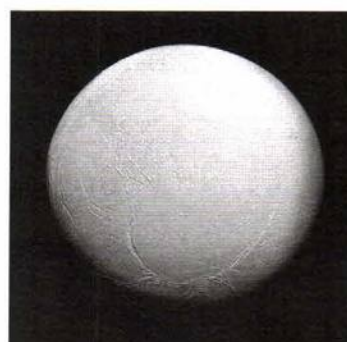
ТИТАН — самый большой спутник Сатурна, второй спутник по величине в Солнечной системе после Ганимеда. Открыт 25 марта 1655 г. Это единственный спутник в Солнечной системе, который имеет атмосферу, которая в 10 раз плотнее земной. Титан также единственное тело, где обнаружены естественные поверхностные резервуары, заполненные стабильной жидкостью. На Титане происходит множество геологических и атмосферных процессов, аналогичных тем, что идут на нашей планете, поэтому там выпадают дожди, но не из воды, а из жидкого метана, который заполняет озёра, моря и вызывает образование речных русел.



Титан



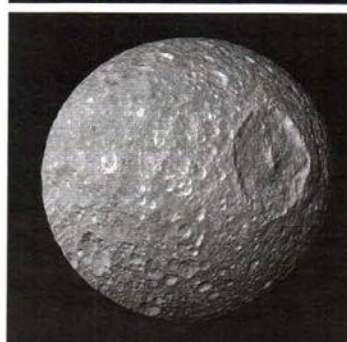
Рея (1528 км) — самый большой безвоздушный спутник в системе Сатурна. Это ледяное тело с низкой плотностью



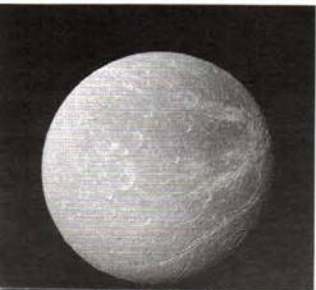
Энцелад (498 км) — один из самых ярких объектов в нашей Солнечной системе. Покрытый ледяной коркой, он отражает почти 100% падающего на него солнечного света. На Энцеладе обнаружены гигантские гейзеры, извергающиеся в южной приполярной области



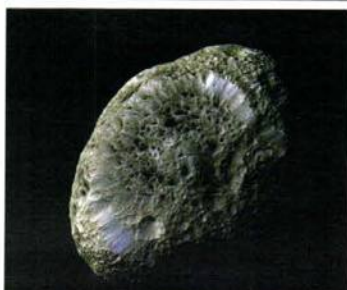
Япет (1436 км). Примерно 40% поверхности спутника занимают тёмные области, имеющие альбедо в 10 раз ниже его светлых областей. Другая уникальная особенность Япета — горный хребет, протяжённостью 20 км, который тянется вдоль его экватора и придаёт Япету форму ореха



Мимас (396 км) состоит в основном из льда. Один из кратеров, названный Гершель, на удивление большой — почти треть диаметра Мимаса. Кратер Гершель имеет глубину 10 км с центральной горкой высотой 6 км



Диона (1124 км) — второй самый плотный спутник Сатурна после Реи. У него имеются два собственных спутника — Елена и Полидевк



Гиперион (266 км) — спутник неправильной формы с хаотическим собственным вращением. В отличие от большинства тусклых серых спутников в Солнечной системе, цвет Гипериона имеет розоватый оттенок



ДИАМЕТР

50 720 км

МАССА

$8,68 \cdot 10^{25}$ кг

ПЛОТНОСТЬ

1270 кг/м³

НАКЛОН ОРБИТЫ

0,77°

НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ

97,77°

ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ ВОКРУГ СОЛНЦА

84 года

ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ ВОКРУГ СВОЕЙ ОСИ

17 ч 14 мин

Планета названа в честь древнегреческого бога неба Урана.

УРАН

УРАН — седьмая планета от Солнца, третья по величине, четвёртая по массе. Мимо Урана пролетел только один космический аппарат, поэтому он ещё не очень хорошо изучен. По составу Уран похож на Нептун, их химический состав отличается от состава более крупных газовых гигантов Юпитера и Сатурна. Уран и Нептун называют «ледяными гигантами», чтобы отличить от газовых гигантов. Плоскость экватора Урана наклонена к плоскости его орбиты под углом почти 100°, что делает его похожим на катящийся на боку шар. Направление собственного вращения Урана противоположно вращению Земли и большинства других планет Солнечной системы. Из-за этого смена времён года там происходит совсем не так, как на других планетах: в периоды солнцестояния только один из полюсов планеты обращён к Солнцу. Привычная нам смена дня и ночи происходит только на экваторе, а остальные части Урана находятся под покровом полярного дня или полярной ночи длиной 42 земных года. Известно 27 спутников Урана.

АТМОСФЕРА УРАНА

Об атмосфере Урана имеется меньше сведений, чем об атмосферах Сатурна и Юпитера из-за дымки в её верхних слоях. Температура верхних слоёв атмосферы, состоящей преимущественно из водорода, самая низкая из всех планетарных атмосфер и составляет −224 °С.

КОЛЬЦА УРАНА

Уран имеет слабо выраженную систему колец (одиннадцать внутренних и два наружных), которая состоит из очень тёмных частиц диаметром от микрометров до долей метра.

ГЛАВНЫЕ СПУТНИКИ УРАНА



Оберон (1522 км) — наиболее удалён от Урана и покрыт следами ударных кратеров. Он состоит из смеси льда, горных пород и метановых соединений.



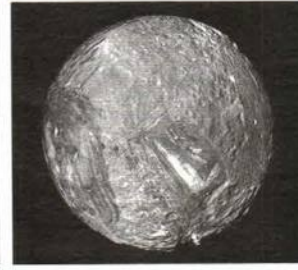
Титания (1576 км) — самый массивный спутник Урана. Вся поверхность спутника изрезана долинами протяжённостью около 1000 км, что указывает на древнюю геологическую активность, сформировавшую рельеф.



На Ариэле (1160 км) обнаружены следы недавней вулканической активности. Спутник изрезан рифтовыми долинами длиной до 300 км и шириной до 30 км. Иней, которым покрыта поверхность, делает Ариэль светлее остальных спутников.



Умбриэль (1169 км) — самый тёмный спутник. Объясняют это малым количеством тепла в период образования спутника: тёмная порода и лёд не растаяли и остались в первоначальном виде, а бомбардирующие частицы смешались с ними. Его поверхность изрыта многочисленными кратерами.



Миранда (472 км) — ближайший к Урану и наименьший из группы главных спутников. Её рельеф очень необычен: параллельные гряды, образующие трапеции, а также системы борозд. Причины их появления пока неизвестны.

НЕПТУН

НЕПТУН — восьмая и самая дальняя планета от Солнца в Солнечной системе. Нептун не виден невооружённым глазом и является единственной планетой Солнечной системы, найденной в результате математических расчётов, а не астрономических наблюдений.

АТМОСФЕРА НЕПТУНА

Верхние слои атмосферы Нептуна на 80% состоят из водорода, 19% гелия и небольших примесей метана. Хотя метана в атмосфере менее 1%, он не даёт облакам планеты отражать красные световые волны. Из-за этого на снимках мы видим Нептун окрашенным в насыщенный синий цвет.

В атмосфере Нептуна бушуют самые сильные ветры среди планет Солнечной системы, по некоторым оценкам, их скорость может достигать 2400 км/ч. На поверхности Нептуна наблюдается Большое Пятно — оно тёмного цвета и образовано ураганом грандиозных размеров, который несётся по Нептуну со скоростью 1000 км/ч. Подобные вихри появляются и пропадают в разных местах планеты.

Большое Тёмное Пятно на Нептуне

КОЛЬЦА НЕПТУНА

Система колец Нептуна содержит три узких кольца и два широких. Кольца могут состоять из ледяных частиц, покрытых силикатами, или включать материал, основанный на углероде, что наиболее вероятно, поскольку именно он является причиной красноватого оттенка колец.

Внешнее кольцо, названное в честь астронома Адамса, является наиболее интересным. Оно состоит из трёх дуг, или арок, получивших названия Свобода, Равенство и Братство. Вещество в них распределено неравномерно: плотность резко падает у концов дуги. Вероятно, арки постепенно растянутся в единую структуру кольца.

У Нептуна известно 14 спутников. Самый большой из них — Тритон — диаметром 2700 км. Температура на поверхности Тритона составляет всего -235°C .

Этот огромный спутник, в отличие от других спутников Нептуна, движется по своей орбите в обратном направлении.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Тритон постепенно приближается к Нептуну, точно так же как Фобос приближается к Марсу, хотя и не столь «быстро». Дело в том, что приливное воздействие Нептуна и Марса постепенно замедляет движение Тритона и Фобоса, что в далёком будущем приведёт к их падению на свои планеты или разрушению с образованием планетного кольца. Фобос приближается к Марсу почти на 2 м за одно столетие, и его падение произойдёт через 43 млн лет. Тритон «падает» на свою планету Нептун гораздо медленнее Фобоса — лишь спустя миллиарды лет гравитация Нептуна разорвёт его на куски. В результате, вероятно, образуется ещё одно кольцо, такое же эффектное, как у Сатурна.

Спутник Нептуна Тритон



ДИАМЕТР

49 244 км

МАССА

$1,02 \cdot 10^{26}$ кг

ПЛОТНОСТЬ

1638 кг/м³

НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ

28,32°

ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ СОЛНЦА

165 лет

ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ
ВОКРУГ СВОЕЙ ОСИ

16 ч

Нептун был назван в честь римского бога морей.



МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ



ДИАМЕТР

2390 км

МАССА

 $1,25 \cdot 10^{22}$ кг

ПЛОТНОСТЬ

1750 кг/м³

НАКЛОН ОРБИТЫ

17,1°

НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ

122,5°

ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ

ВОКРУГ СОЛНЦА

248 лет

ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ

ВОКРУГ СВОЕЙ ОСИ

6 земных суток

КАРЛИКОВЫЕ ПЛАНЕТЫ

Сегодня в Солнечной системе насчитывается 5 карликовых планет: Плутон, Церера, Хаумеа, Макэмаке, Эрида.

ПЛУТОН — самый крупный объект в поясе Койпера. Орбита Плутона настолько сильно вытянута, что Плутон иногда оказывается ближе к Солнцу, чем Нептун. Но их орбиты не пересекаются, так как лежат в разных плоскостях. Собственное вращение Плутона имеет обратное направление, и в этом он схож с Венерой и Ураном. Кроме того, ось вращения Плутона, как и Урана, имеет сильный наклон к эклиптике, поэтому обе планеты как бы катятся по орбите на боку.

Карликовые планеты, за исключением Цереры, находятся за орбитой Нептуна, т. е. относятся к транснептуновым объектам. Хотя они ещё плохо изучены, всё же известно, что открытые в 2005 г. Эрида и Макэмаке имеют по одному спутнику, а Хаумеа — два спутника. Хаумеа вращается быстрее всех других известных тел размером более 100 км — один оборот вокруг своей оси она совершает всего за 4 ч.

Самый крупный спутник Плутона — Харон имеет размер 1200 км, был открыт в 1978 г. Харон, как Луна и многие другие спутники планет, повернут к Плутону всегда одной стороной.

Помимо Харона, у Плутона есть ещё 4 маленьких спутника — Гидра и Никта (открытые в 2005 г.), Кербер (2011 г.), Стикс (2012 г.). Они имеют неправильную форму и светятся необычно ярко.

Карликовая планета Церера размером 940 км, открытая в 1801 г., является самым крупным телом Главного пояса астероидов.

1. Спутник Плутона — Харон
2. Спутники Плутона — Гидра, Никта, Кербер и Стикс
3. Церера — карликовая планета



КОМЕТЫ

КОМЕТА ГАЛЛЕЯ (4) — самая первая открытая комета — известна с III в. до н.э. Наблюдателям с Земли кажется ослепительно-белой, а на самом деле её ядро размером в поперечнике 11 км угольно-чёрное. Орбитальный период кометы Галлея 75 лет. Во время появления в 1986 г. комета Галлея стала первой кометой, исследованной с помощью космических аппаратов, в том числе советских аппаратов «Вега-1» и «Вега-2».

КОМЕТА ЧУРЮМОВА — ГЕРАСИМЕНКО (5) открыта советскими астрономами в 1969 г. и названа в их честь. Орбитальный период кометы составляет 6,5 лет. В 2014 г. состоялась первая мягкая посадка спускаемого аппарата на ядро этой кометы с необычайной формой в виде катушки размером 4 км. В результате изучения кометы Чурюмова — Герасименко установлено, что воды в кометных ядрах мало, а её состав сильно отличается от земного. На комете были обнаружены многочисленные органические соединения, что говорит о том, что кометы могут быть «разносчиками» жизни!



АСТЕРОИДЫ

ВЕСТА (диаметр 525 км) — единственный астероид, видимый невооружённым глазом с Земли. А вот его кратер Реясилвия разглядеть не удастся, хотя он является одним из крупнейших в Солнечной системе (диаметр 450 км и глубина 20—25 км).

ЛЮТЕЦИЯ — первый астероид, открытый астрономом-любителем (1852 г.). При размере 96 км он имеет очень высокую плотность ($3,4 \text{ г/см}^3$), что больше плотности гранита! Предполагается, что глубоко в астероиде залегают плотные металлические вещества.

Несмотря на малый размер и массу, астероиды могут иметь спутники. **ИДА** ($59,8 \times 25,4 \times 18,6 \text{ км}$) — первый астероид, у которого обнаружен естественный спутник Дактиль диаметром 1,3 км.

ЭРОС ($34,4 \times 11,2 \times 11,2 \text{ км}$) — первый открытый *околоземный* астероид (1898 г.) и первый астероид, на который совершена мягкая посадка. По плотности Эрос близок к земной коре, по составу сходен с каменными метеоритами. Днём температура поверхности может достигать 100°C , ночью — -150°C . Считается, что Эрос содержит большое количество алюминия, золота, цинка и других драгоценных металлов.

Астероид **ИТОКАВА** размером $535 \times 294 \times 209 \text{ м}$ открыт в 1998 г. Есть гипотеза, что Итокава — кусок из глубины другого распавшегося астероида. В 2010 г. с Итокавы осуществлена первая доставка на Землю грунта астероида.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Так называемые *тройные астероиды* могут собираться в группы и двигаться вдоль орбиты планеты, опережая или отставая от неё на 60° . Такие астероиды скапливаются в областях устойчивого гравитационного равновесия, находясь там продолжительное время. Первые и самые большие группы троянских астероидов были обнаружены у Юпитера. Сейчас такие астероиды найдены у Марса, Нептуна, Урана, Земли.

МЕТЕОРЫ И МЕТЕОРИТЫ

Чтобы увидеть метеор, нужно быть немножко удачливым. Несколько раз в год Земля пересекает орбиты комет, где остались частицы их пыли, которые, влетая в атмосферу, образуют целые метеорные потоки. Метеорные потоки образованы частицами, поступающими от комет и астероидов, и носят имена, созвучные с названиями созвездий, со стороны которых они наблюдаются (*Персейды*, *Леониды*, *Геминиды*, *Квадрантиды* и др.).

Падение метеоров и метеоритов наблюдается в атмосфере в виде болидов. В 2013 г. каменный метеорит Челябинск упал вблизи озера Чебаркуль. До входа в атмосферу достигал 20 м, расколовшись затем на множество фрагментов.

1



2



3



4



Астероиды: 1 — Веста, 2 — Лютеция, 3 — Эрос, 4 — Итокава



Фрагмент Челябинского метеорита

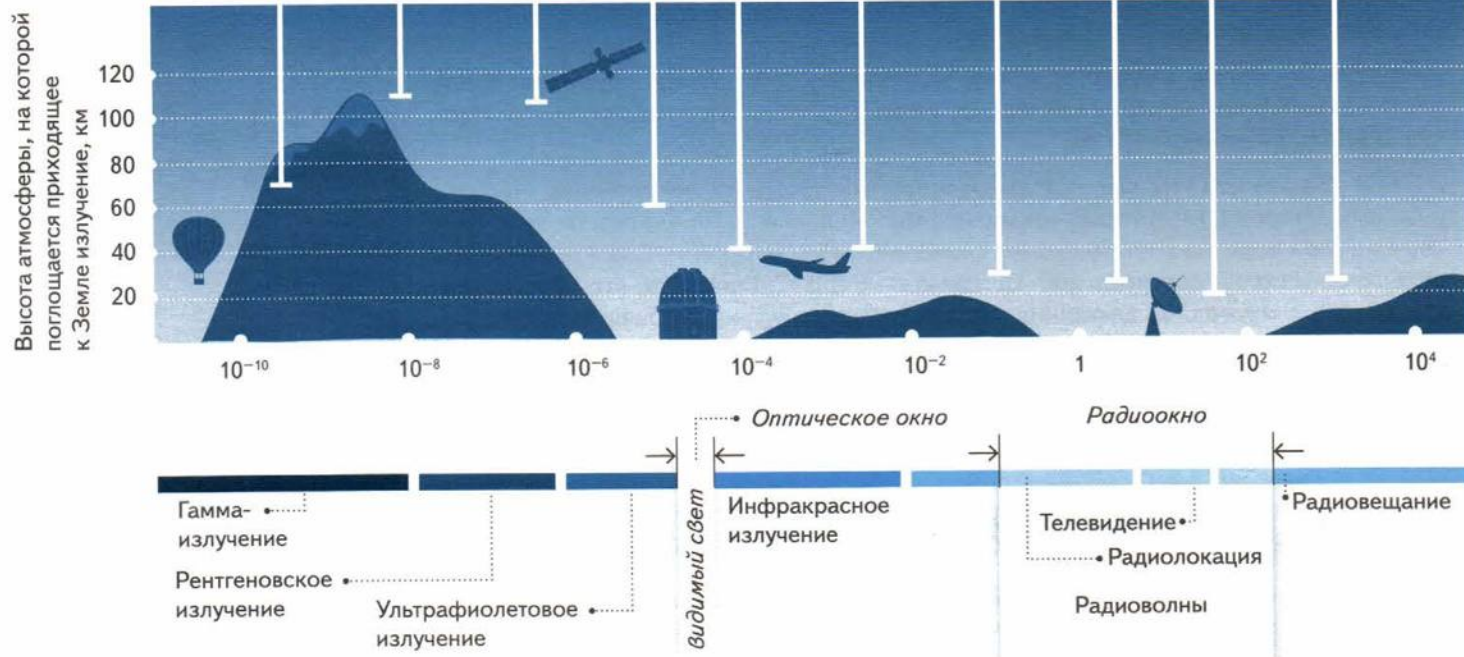
Болид Челябинского метеорита



ИЗУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Астрономические наблюдения с Земли могут проводиться только в пределах двух атмосферных окон: в оптическом и радиодиапазонах. Для наблюдений

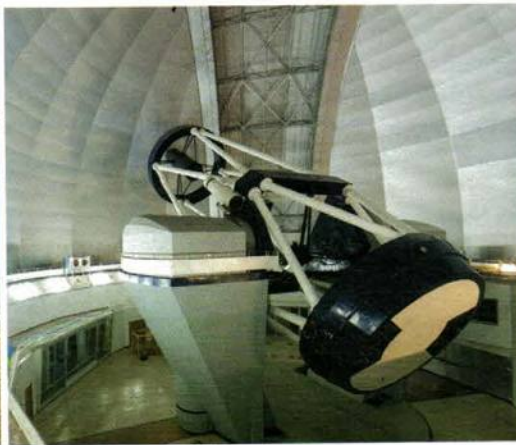
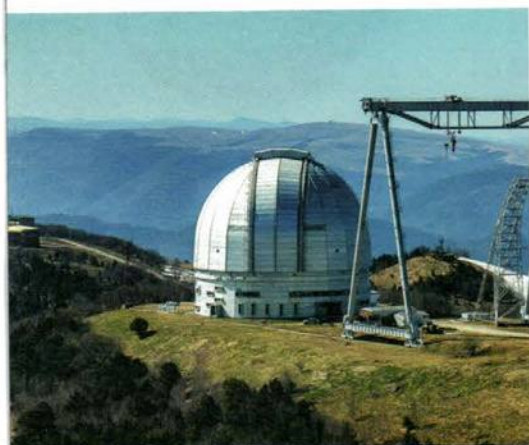
в остальных диапазонах спектра используются самолёты, зонды и внеатмосферные космические спутники на околоземных орбитах.



СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ РОССИИ

Специальная астрофизическая обсерватория образована в СССР в 1966 г. и расположена в долине реки Большой Зеленчук Западного Кавказа, в посёлке Нижний Архыз Карачаево-Черкесской Республики. В целях изучения космоса методами наземной астрономии в 1975 г. для обсерватории были созданы крупнейшие в мире астрономические инструменты: Большой телескоп азимутальный (БТА) с диаметром зеркала 6 м и Радиоастрономический телескоп

с диаметром кольцевой антенны 600 м (РАТАН-600). Зеркало БТА входит в первую десятку телескопов мира, оставаясь самым большим телескопом Евразии. Уникальная конструкция БТА заимствована всеми современными астрономическими проектами. РАТАН-600 является крупнейшим действующим радиотелескопом мира и позволяет проводить исследование как близких тел нашей системы так и удалённых внегалактических объектов.



Купол БТА является крупнейшим астрономическим сооружением в мире по сей день

Зеркало БТА позволяет видеть звёзды до 26-й величины (оптический диапазон)

Радиотелескоп РАТАН-600 выполняет наблюдения, используя длины волн от 1 до 50 см (радиодиапазон)

ОРБИТАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «РАДИОАСТРОН»

«Радиоастрон» — самый крупный космический радиотелескоп в мире, который объединяет результаты наблюдений как из космоса, так и с Земли. Уникальная орбитальная астрофизическая обсерватория на российском космическом аппарате «Спектр-Р» (2011 г.) совместно с земными радиотелескопами образует единый радиоинтерферометр со сверхдлинной базой: расстояние между космическим и наземными телескопами достигает 350 тыс. км, что сравнимо с расстоянием до Луны! Радиоинтерферометрия совмещает информацию с разных антенн. Для увеличения разрешающей способности антенны нужно максимально удалить друг от друга. Для этого одна антенна диаметром 10 м размещена в космосе, обеспечив рекордное в астрономии разрешение (14 миллионных доли секунды дуги).



КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЁТЫ К ТЕЛАМ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В XX в. впервые в истории человечества на поверхность внеземных тел были совершены мягкие посадки отечественных аппаратов: на Луну («Луна-9», 1966 г.), на Венеру («Венера-7», 1970 г.), на Марс («Марс-3», 1971 г.). Планетоходы добрались до Луны и Марса, а посадочные станции побывали также на

нескольких астероидах и кометах. В начале XXI в. космические аппараты побывали на орбитах или пролетели мимо всех планет Солнечной системы. Ниже схематически показаны космические миссии, выполненные Россией и другими странами к различным телам Солнечной системы.

К СОЛНЦУ

Солнце ☿
десятки 20

К ПЛАНЕТАМ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

Меркурий ☿
6 1

Венера ♀
16 8 8

Земля 🌍
тысячи
Луна 🌙
56 27 20 6

Марс ☿
8 13 13 4
Деймос 🪄
11
Фобос 🪄
14

К ПЛАНЕТАМ-ГИГАНТАМ

Ганимед 🪄
Ио 🪄
Юпитер ♃
Каллисто 🪄
Европа 🪄

Тетфия 🪄
Титан 🪄
Рея 🪄
Сатурн ♄
Мимас 🪄
Энцелад 🪄
Диона 🪄
Япет 🪄

Ариэль 🪄
Умбриэль 🪄
Миранда 🪄
Уран ♅
Титания 🪄
Оберон 🪄

Нептун ♆
Тритон 🪄

К АСТЕРОИДАМ

Итокава 🪄
Матильда 🪄
Веста 🪄
Гаспра 🪄
Эрос 🪄
Ида 🪄

К КОМЕТАМ

Галлея 🪄
Вильда 🪄
Темпеля 🪄
Борелли 🪄
Чурюмова-Герасименко 🪄
Джакобини-Циннера 🪄
Григга-Скелльрупа 🪄

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

(цифрами показано количество)

☿ пролёты

🪄 спутник на орбите

🚀 посадка на поверхность

🚗 перемещение планетоходов



Международная космическая станция на орбите Земли, где российские космонавты готовятся к долгим полётам в дальний космос



Будущая российская миссия «Луна-25»: посадка вблизи южного полюса Луны, где предполагается обнаружение запасов воды в виде льда



Проект технической инфраструктуры российской лунной базы

ЗАГЛЯДЫВАЯ В БУДУЩЕЕ

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РОССИЙСКОЙ ПРОГРАММЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛУНЫ:

1. Запуск серии из пяти автоматических космических аппаратов («Луна-25» — «Луна-29») с несколькими задачами: изучить лунный грунт, оценить запасы воды, исследовать ресурсы и выбрать оптимальное место для будущей лунной базы в районе южного полюса нашего естественного спутника.
2. Пилотируемые экспедиции с облётом Луны.
3. Высадка экипажей на поверхность Луны в месте предполагаемой российской лунной базы и установка элементов инфраструктуры для обеспечения жизнедеятельности и научных исследований, включая астрофизическую обсерваторию и объекты для мониторинга Земли.
4. Строительство постоянной обитаемой базы на Луне.

На первом этапе к Луне полетит посадочная станция «Луна-25». Её целью является испытание новой универсальной платформы для отработки безопасной посадки и сохранности научных приборов. С помощью автоматического грунтозаборного устройства «руки»-манипулятора будут также изучены образцы лунного грунта. Затем орбитальный аппарат «Луна-26» совершит облёты вокруг Луны для дистанционного исследования лунной поверхности и её картографирования. «Луна-26» — первый элемент будущей постоянной инфраструктуры российской лунной базы, который также обеспечит навигацию и связь между посадочными станциями и Землёй.

Наш новый планетоход будет передвигаться по лунной поверхности в поисках воды на большие расстояния, собирать и хранить образцы грунта, чтобы затем возвращаемый аппарат доставил их на Землю. Только после подтверждения нужных запасов воды можно будет начинать строительство постоянной лунной базы.



1 Луна-25

Обеспечивает отработку технологии посадки и работы на Луне в районе южного полюса



2 Луна-26

Обеспечивает разведку Луны с орбиты в районе полюсов



3 Луна-27

Обеспечивает посадку в районе южного полюса и проведение всесторонних исследований и разведку ресурсов в полярном районе



5 Луна-29

Обеспечивает доставку лунохода, сбор и хранение образцов, доставленных луноходом для возврата на Землю

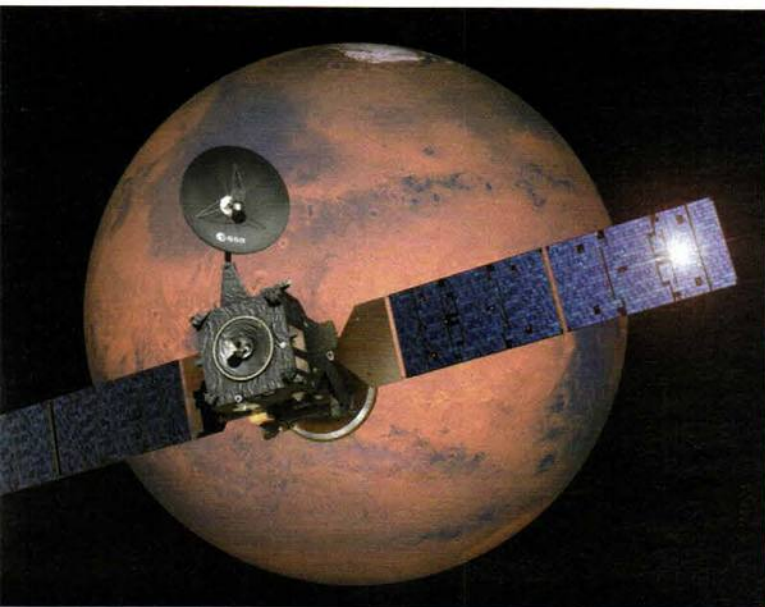


4 Луна-28

Обеспечивает сбор образцов в выбранном месте приполярного района и доставку их на Землю

МИССИЯ «ЭКЗОМАРС»

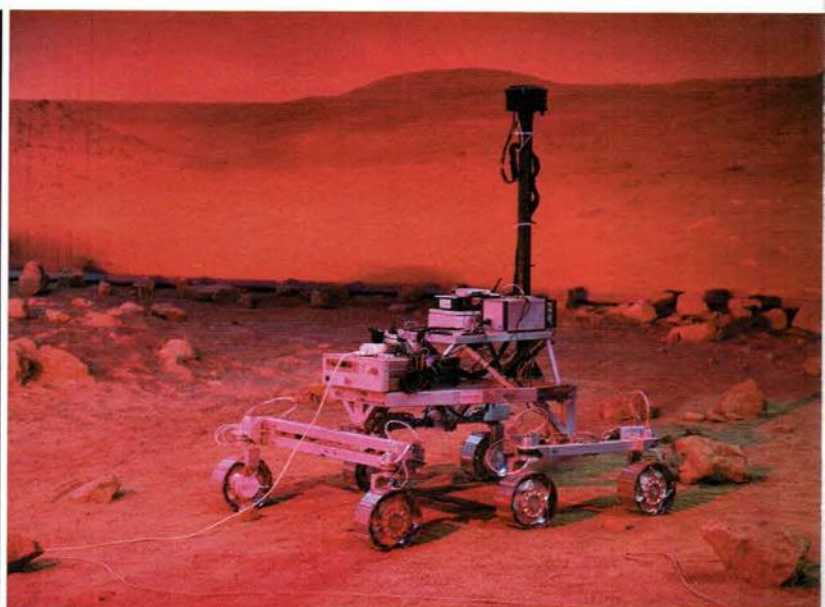
Совместный российско-европейский проект «ЭкзоМарс» будет исследовать Красную планету как с орбиты искусственного спутника, так и на её поверхности. Главной целью миссии «ЭкзоМарс» является поиск возможных следов прошлой или настоящей жизни на Марсе, а также выявление опасностей для будущих пилотируемых полётов. Орбитальный аппарат для изучения атмосферы был выведен российской ракетой-носителем на марсианскую траекторию и достиг Марса в 2016 г. Спустившись с орбиты на высоту 400 км весной 2018 г., космический аппарат начнёт выполнять анализ атмосферы. На его борту находятся два российских прибора: один — для изучения химического состава атмосферы, другой — для оценки распределения льда в марсианском грунте.



Текущая миссия «ЭкзоМарс» (2016 г.): орбитальный аппарат прибыл на орбиту Красной планеты для анализа марсианской атмосферы

Второй этап миссии «ЭкзоМарс» планируется начать в 2020 г. Разработанная российскими учёными и инженерами посадочная платформа, которая будет проводить длительные измерения атмосферы Красной планеты, также доставит на поверхность европейский марсоход с приборами для оценки окружающей среды. Этот планетоход станет первым марсианским аппаратом, который будет посажен на поверхность Марса при участии России. На аппаратах будущей миссии «ЭкзоМарс» также будут установлены два российских прибора для определения состава марсианского грунта.

Ожидается, что планетоход проработает около семи месяцев и пройдёт за это время несколько километров.



Будущая миссия «ЭкзоМарс» (2020 г.): марсоход

МИССИЯ К ФОБОСУ

Лунные и марсианская миссии позволят накопить опыт и вернуться к проекту доставки грунта с Фобоса, который получил название «Бумеранг». Предполагается, что посадочная станция будет выстреливать образцы грунта с Фобоса, которые затем в космосе будут подбираться орбитальным аппаратом. Возвращение на Землю проб реликтового внеземного вещества с марсианского спутника Фобос имеет исключительную научную важность для понимания эволюции нашей звёздной системы.



Будущая миссия «Бумеранг»

ЗВЁЗДНОЕ НЕБО

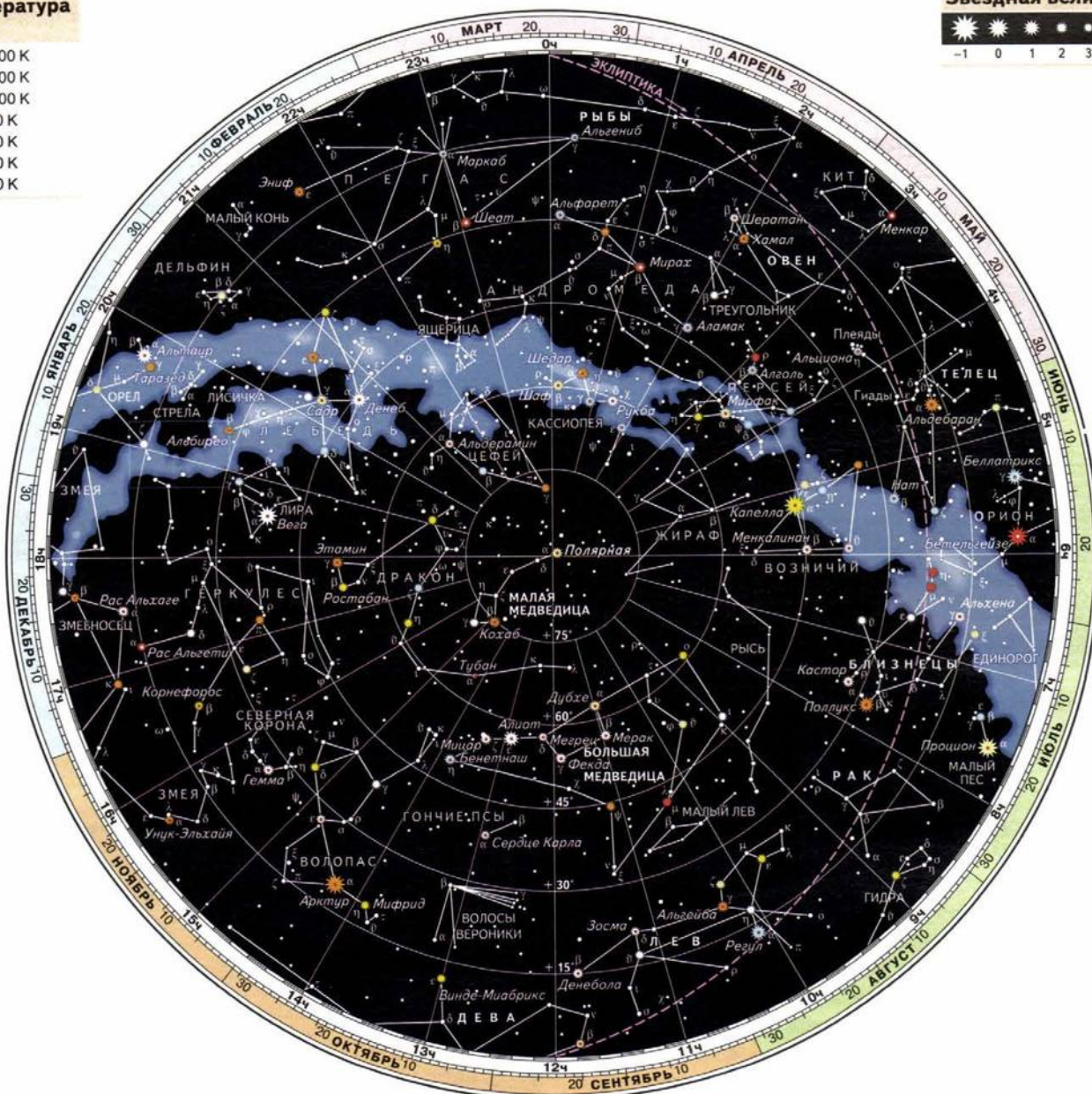
Невооружённым глазом на всём небосводе можно видеть около 6000 звёзд, на долю Северного полушария приходится примерно половина. Вследствие вращения Земли возникает иллюзия, что звёзды перемещаются по небу — одни светила восходят, другие опускаются или заходят за горизонт, лишь в центре свода они остаются неподвижными. При

этом взаимное расположение звёзд остаётся всегда неизменным. Определить положение звёзд на небесной сфере помогают экваториальные координаты — склонение δ и прямое восхождение α . На карте проведена сетка экваториальных координат. Линии сетки проведены через 1 час по прямому восхождению и через 30° по склонению.

СЕВЕРНОЕ ПОЛУШАРИЕ

Цвет	Температура звёзд
	До 50 000 К
	До 20 000 К
	До 10 000 К
	До 7000 К
	До 6000 К
	До 5000 К
	До 3500 К

Звёздная величина



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Яркие звёзды и температура для звёзд до 3^m

Названия созвездий



Плеяды

Акраб

Названия звёздных скоплений

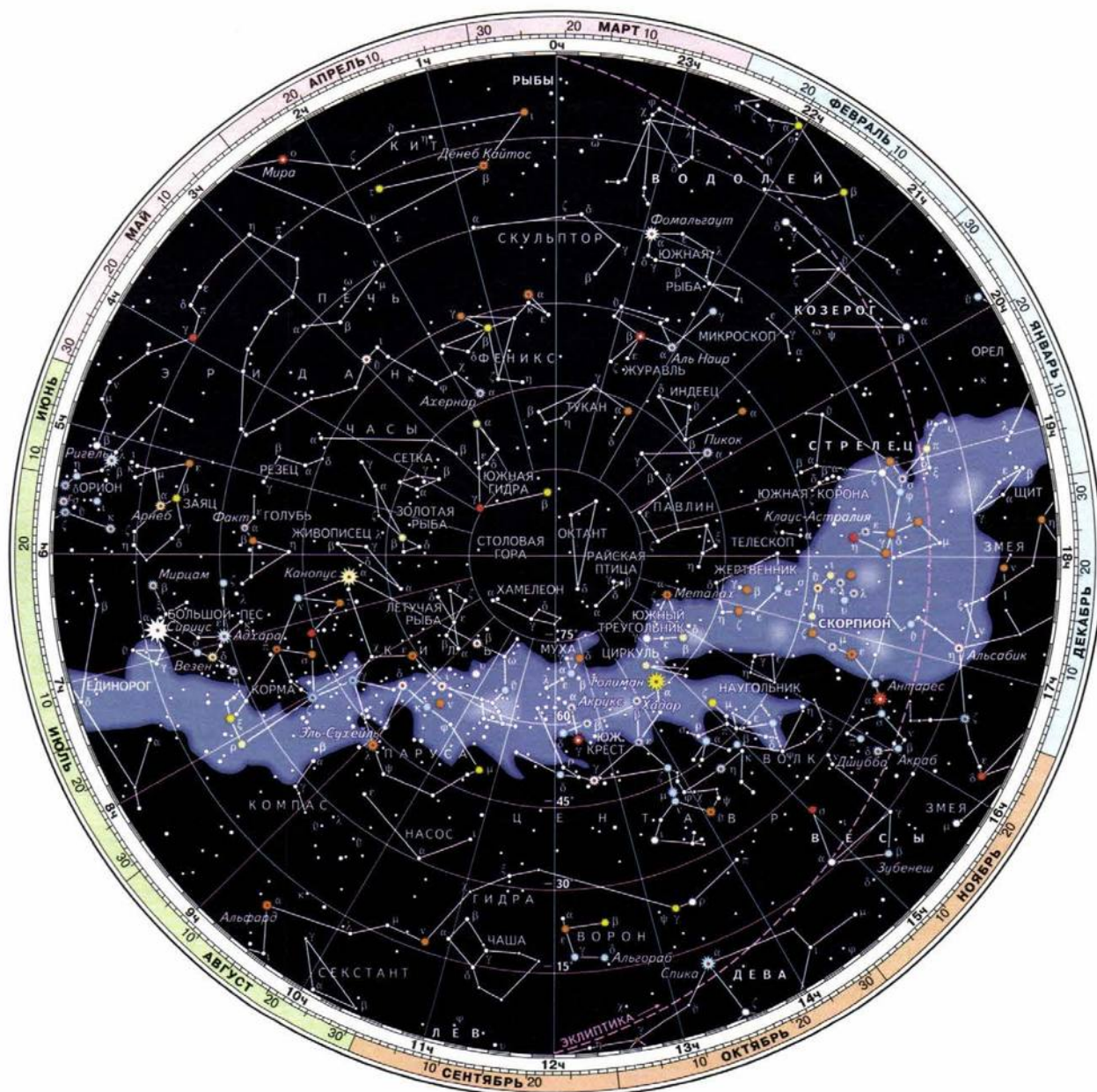
Названия ярких звёзд

СОЗВЕЗДИЯ — участки звёздного неба, выделенные для удобства ориентирования на небесной сфере и обозначения звёзд. Всё небо разделено на 88 созвездий, носящих имена мифических героев, животных и др. Иногда в созвездии выделяют группу звёзд со своими названиями, отличными от названия созвездия. Зодиакальные созвездия — это 12 созвездий, в которых последовательно находится Солнце в своём видимом движении по небу (эклиптика).

ЗВЁЗДЫ — гигантские светящиеся газовые (плазменные) шары, подобные Солнцу. Хотя большинство из них выглядят на небе белыми, при внимательном рассмотрении некоторые из звёзд оказываются красноватыми, оранжевыми или голубовато-стальными.

ЭКЛИПТИКА — большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое годичное движение Солнца. Соответственно *плоскость эклиптики* — плоскость обращения Земли вокруг Солнца (земной орбиты).

ЮЖНОЕ ПОЛУШАРИЕ



В «Уранометрии» (1603) немецкого астронома И. Байера (1572–1625), где изображены созвездия, связанные с названиями легендарных мифических фигур, звёзды впервые были обозначены буквами греческого алфавита приблизительно в порядке убывания их блеска (относя звезду к одной из 6 звёзд-

ных величин). Так, ярчайшая звезда созвездия обозначается α , вторая по блеску — β и т. д. Когда не хватало букв греческого алфавита, Байер использовал латинский. Такое обозначение в уточнённом виде принято и сейчас. Полное обозначение звезды состоит из буквенного обозначения и названия созвездия.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЁЗД

Даже невооружённым глазом видно, что окружающий нас звёздный мир чрезвычайно разнообразен. Звёзды различаются между собой цветом, блеском.

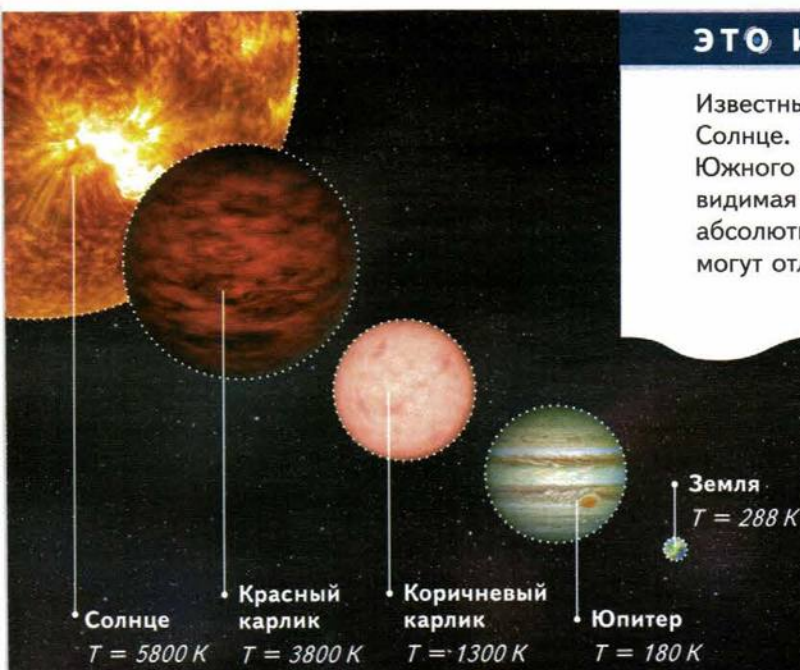
СВЕТИМОСТЬ

Эффективные температуры звёзд находятся в пределах от 3000 до 50 000 К, массы различаются в сотни раз, а радиусы — в миллиарды. Светимости звёзд определяют в относительных единицах, сравнивая со светимостью Солнца. *Светимость звезды L* характеризует поток энергии, излучаемой звездой по всем направлениям.

А исследования с помощью телескопов показывают, что двух одинаковых звёзд не бывает.

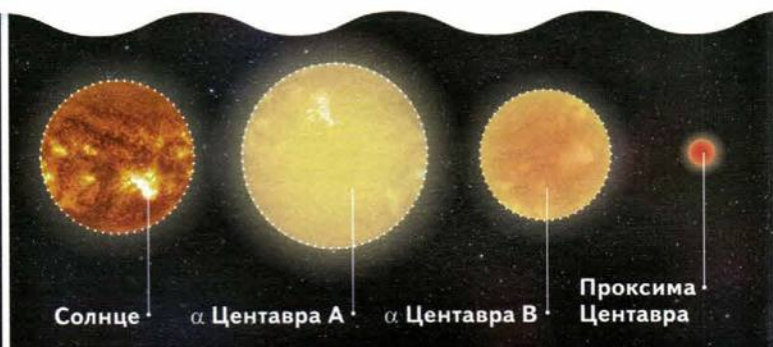
МОДЕЛИ ЗВЁЗД

Среди звёзд очень высокой светимости выделяют *гиганты* и *сверхгиганты*. Звёзды получили своё название за высокую светимость. При массе до $50 M_{\odot}$ их размер может достигать $1000 R_{\odot}$. Большинство гигантов имеет температуру 3000–4000 К, поэтому их называют красными гигантами.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Известны звёзды, излучающие в десятки тысяч раз меньше, чем Солнце. А звезда S Золотой Рыбы, видимая только в странах Южного полушария Земли как звезда 8-й звёздной величины (не видимая невооружённым глазом!), в миллион раз ярче Солнца, её абсолютная звёздная величина $M = -10,6$. По светимости звёзды могут отличаться в миллиард раз.



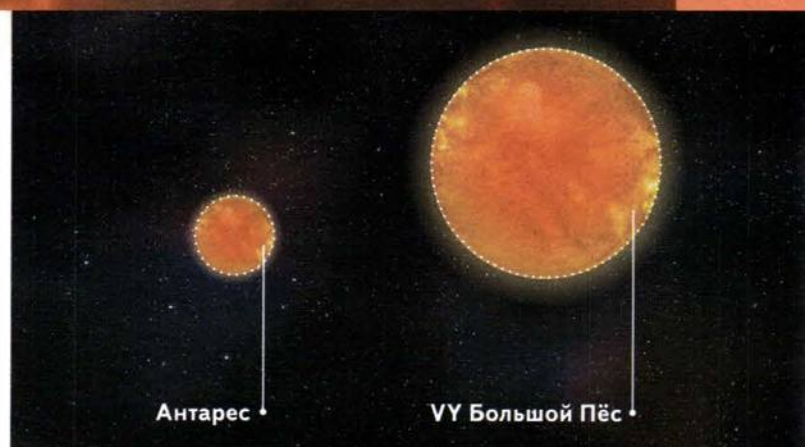
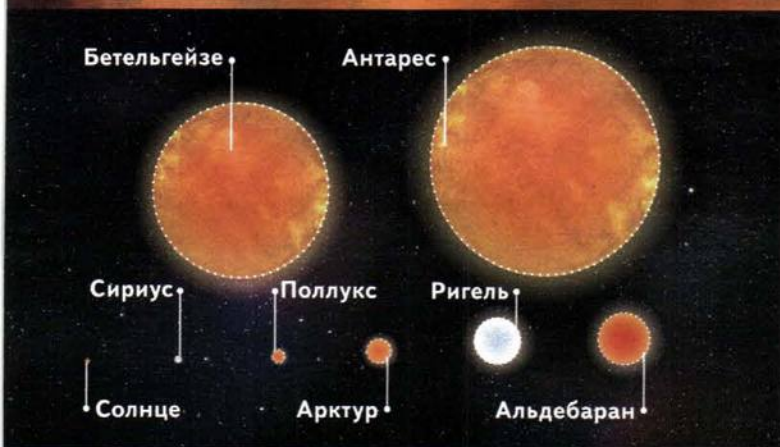
Сравнительные размеры Солнца, красного карлика, коричневого карлика, Юпитера и Земли

Сравнительные размеры Солнца, α Центавра А, α Центавра В и Проксимы Центавра

СВЕТИМОСТЬ ЗВЁЗД

Звезда	Характеристика	Светимость
Сириус А	Звезда главной последовательности	$25,4 L_{\odot}$
Канопус	Жёлтый гигант	$10\,700 L_{\odot}$
Арктур	Красный гигант	$170 L_{\odot}$
Вега	Белый гигант	$40 L_{\odot}$
Ригель	Голубой сверхгигант	$120\,000 L_{\odot}$
Бетельгейзе	Красный сверхгигант, переменная звезда	$90\,000 - 150\,000 L_{\odot}$

Звезда	Характеристика	Светимость
Сириус В	Белый карлик	$0,056 L_{\odot}$
Процион В	Белый карлик	$0,00049 L_{\odot}$
Проксима Центавра	Красный карлик	$0,0017 L_{\odot}$
Лаланд 21185	Красный карлик	$0,026 L_{\odot}$
Вольф 359	Красный карлик	$0,0014 L_{\odot}$
Лухман 16 WISE 1049–5319	Двойная звезда — два коричневых карлика	



Сравнительные размеры красных гигантов и сверхгигантов

КРАСНЫЕ КАРЛИКИ имеют массу от $0,08 M_{\odot}$ до $0,5 M_{\odot}$, низкую светимость, радиус $0,1-0,9 R_{\odot}$. В Галактике красные карлики — самые многочисленные звёзды, в которых сосредоточена основная часть вещества звёзд нашей и большинства других галактик. Из-за низкой скорости сгорания водорода красные карлики имеют очень большую продолжительность жизни — от десятков миллиардов до десятков триллионов лет.

КОРИЧНЕВЫЙ КАРЛИК — объект малой массы $M_{\odot} < 0,08 M_{\odot}$, в котором температура недостаточна для начала термоядерных реакций водорода. В 2013 г. была открыта двойная звезда, состоящая из двух коричневых карликов: Лухман 16 WISE 1049—5319. Эта двойная звезда является третьей по удалённости от Солнца звёздной системой после тройной системы α Центавра и одиночной Летящей звезды Барнарда и находится на расстоянии 6,5 св. лет в созвездии Паруса. Температура Лухман 16 A $T = 1350$ K, масса $M = 0,04 M_{\odot}$, температура Лухман 16 B $T = 1210$ K, масса $M = 0,03 M_{\odot}$.

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ — звёзды с массами меньше $1,4 M_{\odot}$ и с радиусами, в 100 раз меньшими солнечного (примерно радиус Земли), имеющие очень высокую плотность, в миллион раз превышающую среднюю плотность Солнца. Несмотря на высокую температуру, они имеют низкие светимости, примерно $0,0001 L_{\odot}$. Белые карлики являются конечным этапом эволюции массивных звёзд.

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

Звезда	Расстояние, пк	Абсолютная звёздная величина, m	Масса, $M_{\odot}$	Радиус, $R_{\odot}$
Ван Маанена	4,22	14,24	0,630	0,012
40 Эридана В	4,98	11,01	0,363	0,017
Сириус В	2,66	11,30	0,977	0,025
Не 3398	16,39	10,95	0,501	0,015
Процион В	3,44	13,10	0,426	0,013

КРАСНЫЕ КАРЛИКИ

Звезда	Расстояние, пк	Абсолютная звёздная величина, m	Масса, $M_{\odot}$	Радиус, $R_{\odot}$
Проксима Центавра	1,3	15,60	0,12	0,15
Лаланд 21185	2,5	10,48	0,46	0,39
Вольф 359	2,4	16,65	0,09	0,16

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ
ВЕЛИЧИНА СОЛНЦА
ВО ВСЁМ ДИАПАЗОНЕ
ИЗЛУЧЕНИЯ
(БОЛОМЕТРИЧЕСКАЯ
ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА)
 $M_{\odot} = 4,8$

СВЕТИМОСТЬ СОЛНЦА
 $L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26}$ Вт.



Сравнительные размеры Солнца и белого карлика Вольф 457



Сравнительные размеры Земли и белых карликов

ВИДИМАЯ И АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

ВИДИМАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА

Наблюдаемую яркость небесного тела, которая зависит не только от реальной мощности излучения объекта, но и от расстояния до него, характеризуют видимой звёздной величиной, которую обозначают буквой m . Невооружённым глазом можно увидеть звёзды до 6^m звёздной величины.

Очень яркие объекты могут иметь отрицательную звёздную величину. Например, Сириус, ярчайшая звезда небесной сферы, имеет звёздную величину $-1,47^m$. Современная шкала позволяет также получить значение для Луны и Солнца: в полнолуние Луна имеет звёздную величину $-12,6^m$, а Солнце

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Ещё во II в. до н. э. древнегреческий астроном Гиппарх разделил все звёзды на шесть величин. Самые яркие он назвал звёздами первой величины, самые тусклые — шестой, а остальные равномерно распределил по промежуточным величинам.

$-26,8^m$. Орбитальный телескоп «Хаббл» может наблюдать объекты, блеск которых составляет величины примерно до $31,5^m$.



Блеск некоторых небесных светил в шкале звёздных величин

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА

Для определения истинного блеска звезды вводят понятие абсолютной звёздной величины. Абсолютная звёздная величина M — это видимая звёздная

величина, которую имела бы звезда, если бы находилась на стандартном расстоянии в 10 пк, или 32,6 светового года.

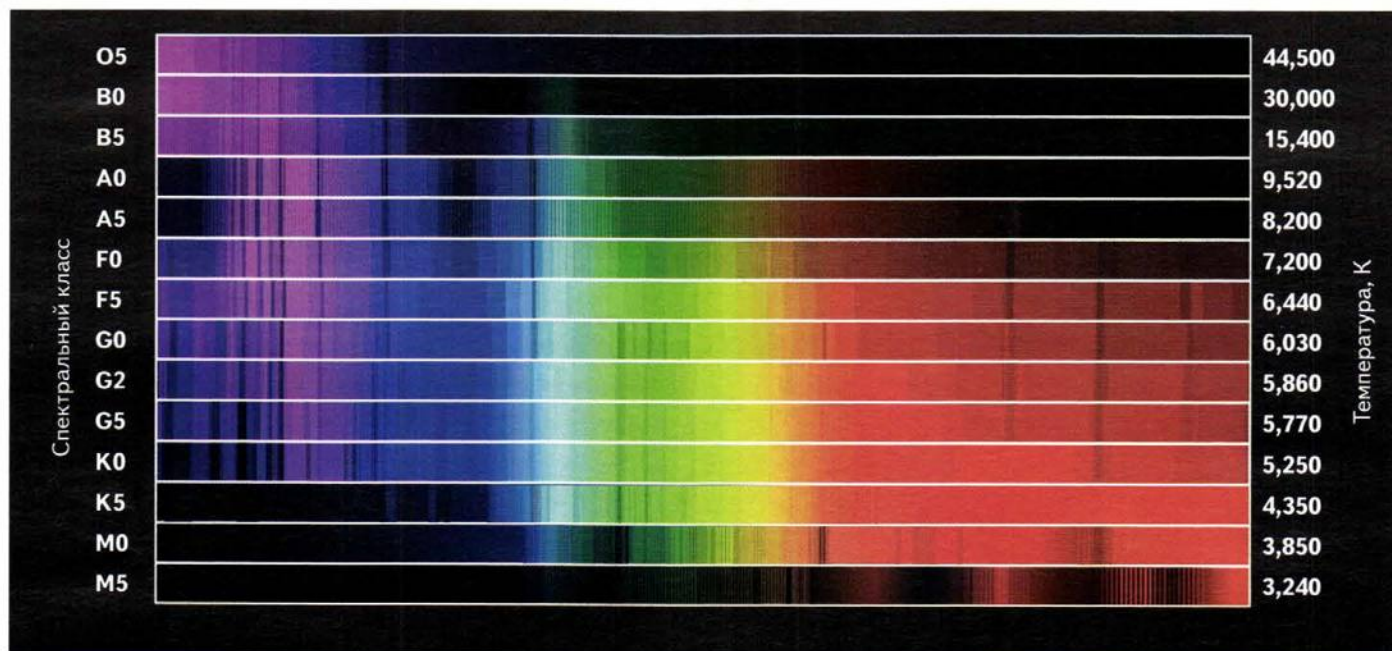
САМЫЕ ЯРКИЕ ЗВЁЗДЫ НАШЕГО НЕБА

Название звезды	Обозначение	Видимая звёздная величина, m	Абсолютная звёздная величина, M	Расстояние, пк	Расстояние, св. год
Сириус	α Большого Пса	-1,46	+1,4	2,6	8,6
Арктур	α Волопаса	-0,05	-0,38	11,2	36,7
Вега	α Лиры	+0,03	+0,58	7,7	25
Капелла	α Возничего	+0,08	-0,5	13	42,2
Ригель	α Ориона	+0,12	-7,84	260	870
Процион	α Малого Пса	+0,38	+2,65	3,5	11,4
Бетельгейзе	α Ориона	+0,5	-5,1	125	407
Альтаир	α Орла	+0,77	+2,2	5,13	16,7
Альдебаран	α Тельца	+0,85	-0,64	20	65,2
Антарес	α Скорпиона	+0,91	-5,5	187	610
Спика	α Девы	+1,04	-3,55	77	250
Поллукс	α Близнецов	+1,15	+1,08	10,3	33,8
Фомальгаут	α Южной Рыбы	+1,16	+1,72	7,7	25
Денеб	α Лебедя	+1,25	-8,8	505	1640
Регул	α Льва	+1,35	-0,57	24	79

СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ

Спектральные классы звёзд связаны с температурой и в меньшей степени зависят от химического состава звёздных атмосфер. Диапазону эффективных температур звёзд от 50 000 до 2000 К соответствует после-

довательность спектральных классов, обозначаемых буквами W, O, B, A, F, G, K, M, L и T. Промежуток между соседними классами делится на 10 подклассов — от 0 до 9. Спектральный класс Солнца G2.



Спектры звёзд

Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Особенности спектра	Типичные звёзды
W	Голубой	80 000	Излучения в линиях гелия, азота, кислорода	Звезда Вольфа—Райе, γ^2 Парусов
O	Голубой	40 000	Интенсивные линии ионизованного гелия, линий металлов нет	Минтака
B	Голубовато-белый	20 000	Линии нейтрального гелия. Слабые линии H и K ионизованного кальция	Спика
A	Белый	10 000	Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Видны линии H и K ионизованного кальция, слабые линии металлов	Сириус, Вега
F	Желтоватый	7000	Ионизованные металлы. Линии водорода ослабевают	Процион, Канопус
G	Жёлтый	6000	Нейтральные металлы, интенсивные линии ионизованного кальция H и K	Солнце, Капелла
K	Оранжевый	4500	Линий водорода почти нет. Присутствуют слабые полосы окиси титана. Многочисленные линии металлов	Арктур, Альдебаран
M	Красный	3000	Сильные полосы окиси титана и других молекулярных соединений	Антарес, Бетельгейзе
L	Тёмно-красный	2000	Сильные полосы CrH, рубидия, цезия	Kel-1
T	Коричневый карлик	1500	Интенсивные полосы поглощения воды, метана, молекулярного водорода	Gliese 229B

ДИАГРАММА СПЕКТР — СВЕТИМОСТЬ

Сопоставление светимостей звёзд с их спектральными классами было сделано в начале XX в. Эйнарсом Герцшпрунгом и Генри Расселом, поэтому диаграмму спектр — светимость часто называют *диаграммой*

Герцшпрунга—Рассела. На этой диаграмме звёзды расположены в соответствии с величиной их светимости (или абсолютной звёздной величины) и температуры (или спектральных классов).

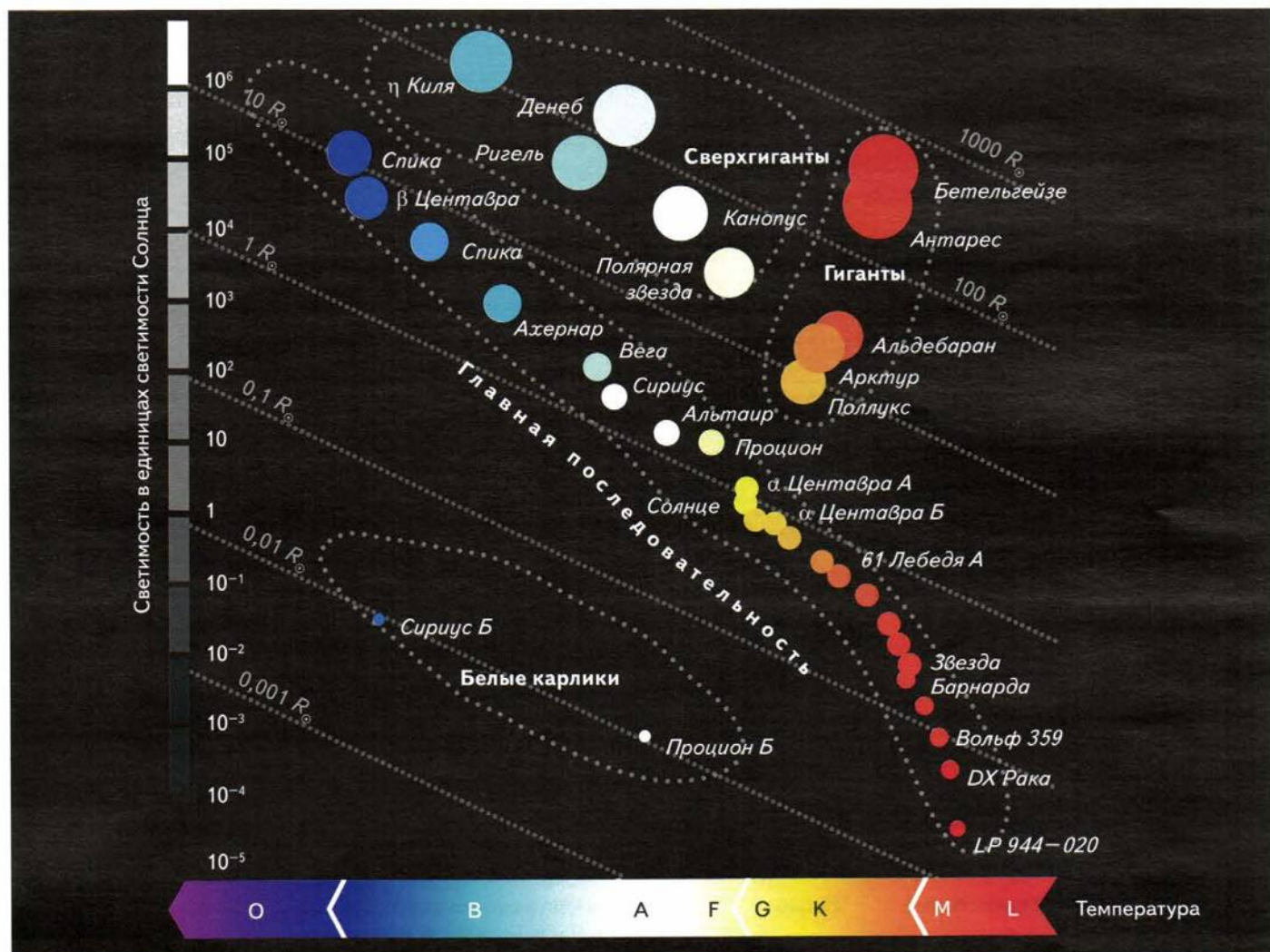


Диаграмма спектр — светимость

КЛАСС СВЕТИМОСТИ I — сверхгиганты; эти звёзды занимают на диаграмме спектр — светимость верхнюю часть и разделяются на несколько последовательностей.

КЛАСС СВЕТИМОСТИ II — яркие гиганты.

КЛАСС СВЕТИМОСТИ III — гиганты.

КЛАСС СВЕТИМОСТИ IV — субгиганты. Звёзды II–IV классов расположены на диаграмме между областью сверхгигантов и главной последовательности.

КЛАСС СВЕТИМОСТИ V — звёзды главной последовательности. Звёзды главной последовательности — нормальные звёзды разной массы, похожие

на Солнце, в которых происходит сгорание водорода в термоядерных реакциях. Самые большие по массе звёзды располагаются в верхней части последовательности и являются голубыми сверхгигантами. Самые маленькие по массе звёзды — красные карлики. Они располагаются в нижней части главной последовательности.

КЛАСС СВЕТИМОСТИ VI — яркие субкарлики. Они образуют последовательность, проходящую ниже главной примерно на одну звёздную величину, начиная от класса A0 вправо.

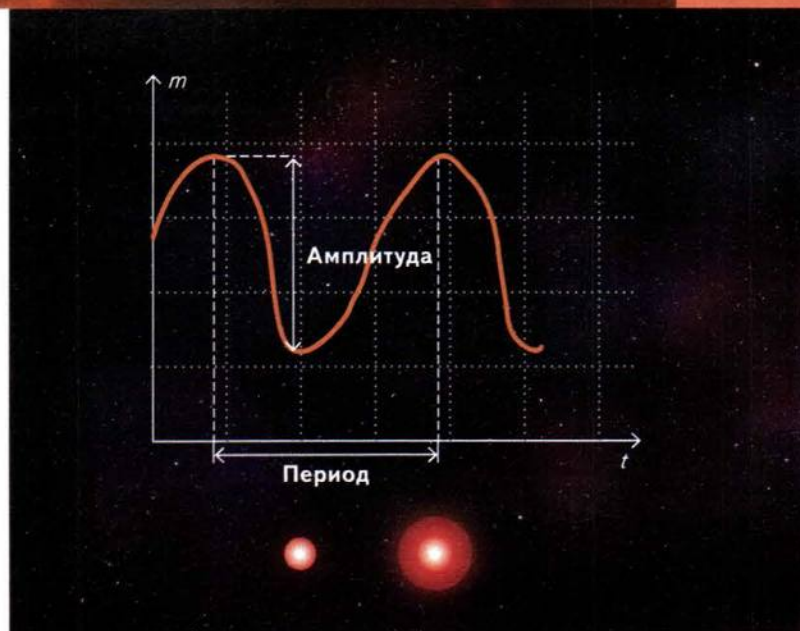
КЛАСС СВЕТИМОСТИ VII — белые карлики. Они обладают весьма малой светимостью и занимают нижнюю часть диаграммы.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ

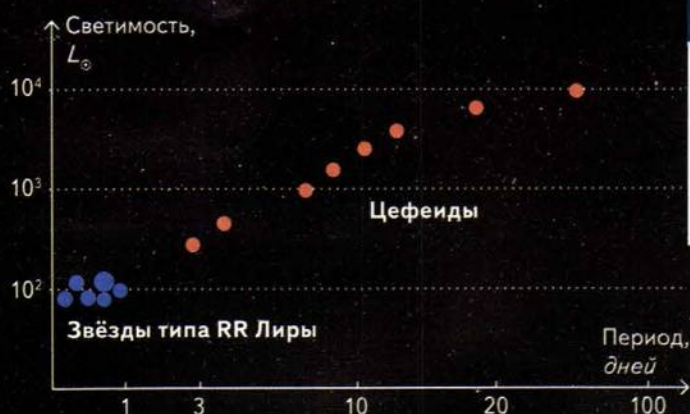
Некоторые звёзды меняют свой блеск. Звёзды, блеск которых изменяется с правильной периодичностью, называют *переменными звёздами*.

Физическими переменными называются звёзды, которые изменяют свою светимость в результате физических процессов, происходящих в самой звезде.

Цефеидами называются пульсирующие звёзды высокой светимости, названные так по имени одной из первых открытых переменных звёзд — δ Цефея. Это жёлтые сверхгиганты спектральных классов F и G, масса которых превосходит массу Солнца в несколько раз, изменяющие блеск с амплитудой от 0,5 до 2,0^m и с периодом от 1 до 50 суток. Одновременно с изменениями блеска изменяются температура и лучевая скорость звёзды, в максимуме блеска поверхностные слои звёзды удаляются от нас с наибольшей скоростью — звезда сжимается, в минимуме блеска — звезда расширяется.



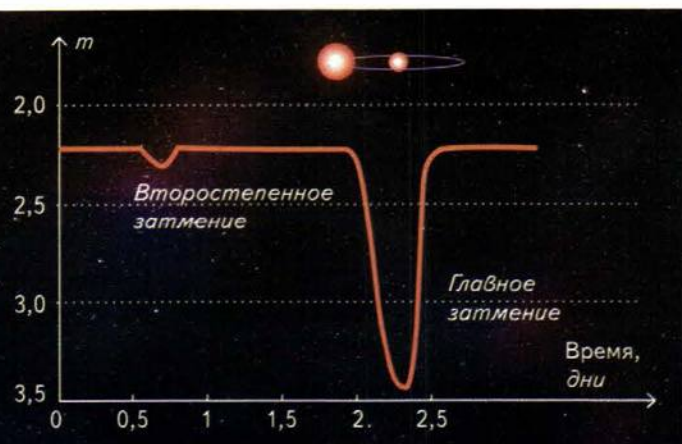
Зависимость звездной величины от времени для переменной звезды. Цефеида изменяет цвет и размер



Зависимость период — светимость для цефеид и звёзд RR Лиры

В общем каталоге переменных звёзд 2008 г. перечислено более 46 тыс. переменных звёзд из нашей

галактики, а также 10 тыс. из других галактик и ещё 10 тыс. возможных переменных.



Зависимость звездной величины от времени для затменно-переменной звезды

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Цефеиды называют маяками Вселенной благодаря зависимости период — светимость. Их используют как эталоны светимости при определении расстояний до удалённых объектов.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД

Первая переменная звезда была определена в 1638 г., когда И. Хольварда заметил, что звезда α Кита, позже названная Мирой, пульсирует с периодом в 11 месяцев. До этого звезда была описана как новая астрономом Д. Фабрициусом в 1596 г. Это открытие, в сочетании с наблюдениями сверхновых в 1572 и 1604 г., доказало, что звездное небо не является чем-то вечно неизменным, как тому учили Аристотель и другие философы древности. Открытие переменных звёзд тем самым внесло свой вклад в революцию астрономических взглядов, произошедшую в XVI и начале XVII в.

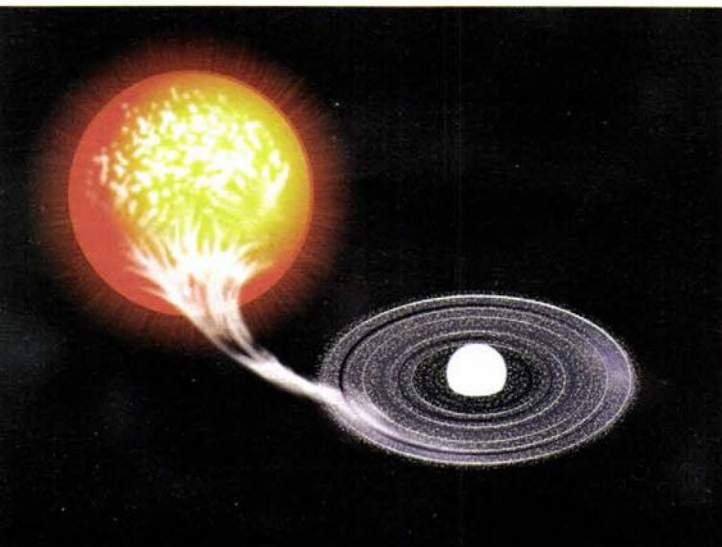
ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ

Звезда	Видимая звёздная величина, <i>m</i>		Период, сут.
	max	min	
Цефеиды			
ζ Близнецов	3,6	4,2	10,14
η Орла	3,5	4,4	7,17
δ Цефея	3,5	4,4	5,36
Звёзды типа RR Лиры			
RR Лиры	7,06	8,12	0,56
AR Персея	9,92	10,83	0,42
Переменные типа Миры Кита			
R Гидры	3,50	10,90	389
χ Лебеда	3,30	14,20	407
ο Кита	2,00	10,10	332
Затменные переменные			
δ Весов	4,9	5,9	2,32
U Змееносца	5,8	6,5	1,67
β Лиры	3,34	4,34	12,934
β Персея	2,12	3,40	3,867
λ Тельца	3,37	3,90	3,953
α Ориона	0,40	1,30	2 100
ρ Персея	3,3	4,0	929,3
Переменные звёзды типа U Близнецов			
U Близнецов	8,2	14,9	—
Переменные звёзды типа UV Кита			
UV Кита	6,8	13,0	—

НОВЫЕ И СВЕРХНОВЫЕ

Некоторые звёзды меняют свой блеск очень резко. Это может быть вспышка новой звезды в тесной двойной системе. Вспышки сверхновых — один из самых мощных катастрофических природных процес-

сов. Фантастическое выделение энергии — столько, сколько Солнце вырабатывает за миллиарды лет, — сопровождает взрыв сверхновой.



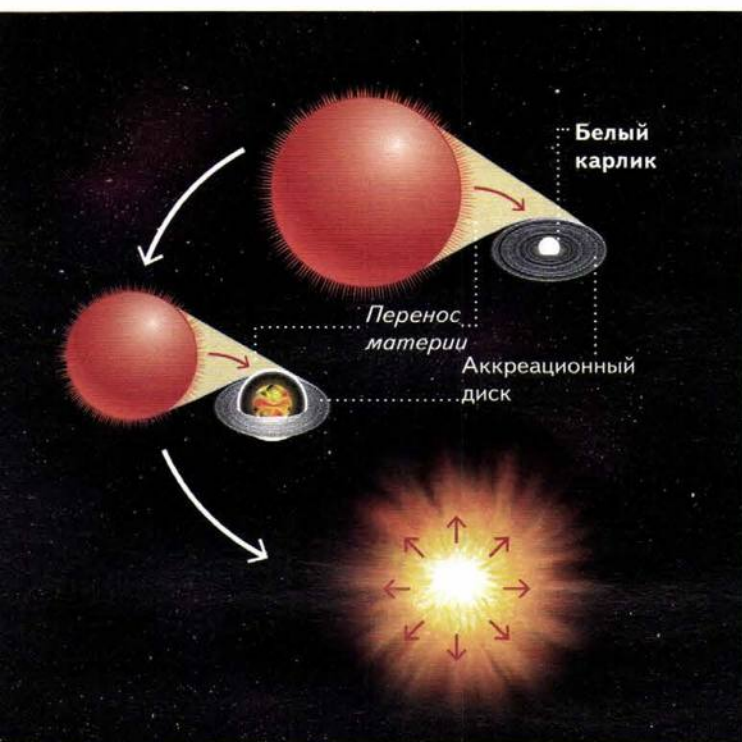
Вспышка новой в двойной системе



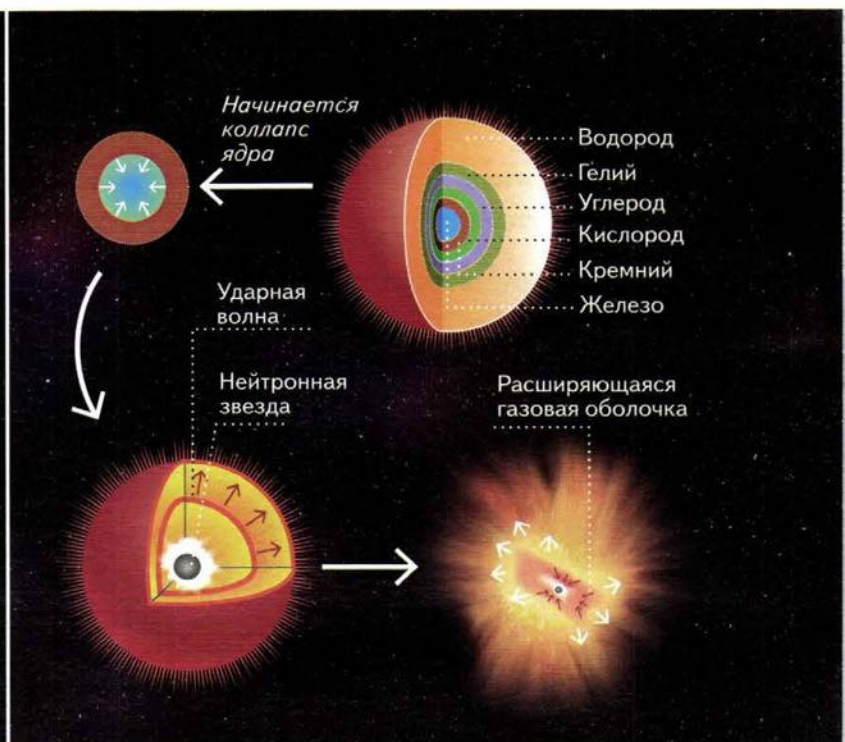
Вспышка сверхновой 1994 в галактике NGC 4526

В 2017 г. открыта сверхновая DES15E2mlf в созвездии Феникса, расстояние до которой 10 млрд св. лет. Её блеск превышает блеск трёх галактик.

Сверхновые бывают в основном двух типов — сверхновые I типа и сверхновые II типа.



Сверхновые I типа — вспышка в двойной звёздной системе. При вспышке сверхновой I типа от звезды отрывается оболочка с массой порядка $0,3-1 M_{\odot}$, которая расширяется в межзвёздное пространство



Сверхновые II типа — конец эволюции массивных звёзд

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА

МЕЖЗВЁЗДНЫЙ ГАЗ

Межзвёздную среду составляет межзвёздный газ, который состоит из водорода (на 90%) и гелия. Причём пространство между звёздами заполнено не только разреженным веществом, но и отдельными фотонами различных длин волн, космическим излучением и магнитным полем. В межзвёздной среде открыты огромные холодные области (молекулярные облака) с температурой 5–50 К и очень горячий газ

с температурой 10^6 К — корональный газ. В зависимости от температуры и плотности межзвёздный газ пребывает в атомарном, ионизованном или молекулярном состоянии. Полная масса межзвёздного газа в нашей Галактике превышает 10 млрд масс Солнца, однако средняя концентрация атомов межзвёздного газа составляет менее 1 атома в 1 см^3 .

ГАЗ В МЕЖЗВЁЗДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ НАБЛЮДАЕТСЯ В ТРЁХ СОСТОЯНИЯХ:

Наблюдаемое состояние газа

1

Ионизованный (плазма)
Область III

2

Атомарный (нейтральный)
Область II

3

Молекулярный
Молекулярное облако

Где наблюдается

- Горячие звёзды ранних спектральных классов O и B
- Мощное ультрафиолетовое излучение

Межзвёздный газ удалён от звёзд, не ионизован

- Холодный плотный газ
- ГМО — гигантские молекулярные облака

Области наблюдения

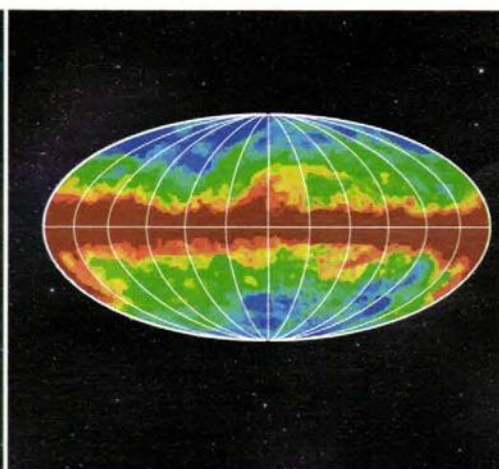
- Видимый спектр
- Ультрафиолетовое излучение

- Радиоизлучение
- Инфракрасное излучение

Радиоизлучение



Альнитак, Альнилам и Минтака — три голубых сверхгиганта, известные также как Пояс Ориона. Туманность Ориона



Распределение нейтрального водорода в нашей Галактике. Концентрация более плотная вдоль плоскости Галактики



Молекулярное облако Барнард 68

МЕЖЗВЁЗДНЫЕ ОБЛАКА

МЕЖЗВЁЗДНОЕ ОБЛАКО — общее название для скоплений газа, плазмы и пыли в нашей и других галактиках.

В плотных холодных межзвёздных облаках методами радиоастрономии нашли органические молекулы, такие как формальдегид, метанол и виниловый спирт, сложные многоатомные молекулы.

Межзвёздная пыль состоит из небольших пылинок твёрдого вещества. Пылинки очень маленькие, порядка микрометра (10^{-6} м). В настоящее время считают, что пылинки состоят из смеси графитовых и силикатных частиц, покрытых оболочками из органических молекул и льда.

ТУМАННОСТИ

МЕЖЗВЁЗДНЫЕ ТУМАННОСТИ — это облака межзвёздного газа и пыли, видимые благодаря их собственному излучению, отражению или поглощению света звёзд.

ЭМИССИОННЫЕ ТУМАННОСТИ светятся за счёт молодых горячих звёзд спектральных классов О или В. Эти звёзды имеют мощное ультрафиолетовое излучение, которое ионизует газ туманности. Такой ионизованный газ, в котором водород находится в ионизованном состоянии, называют областью Н II. В областях Н II межзвёздный газ практически полностью ионизован и нагрет до температуры $T \sim 10^4$ К ультрафиолетовым излучением (с длиной волны $\lambda < 912$ Å) горячих звёзд ранних спектральных классов.

ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ТУМАННОСТИ образуются, если энергии близлежащих звёзд не хватает для ионизации газа туманности и создания эмиссионной туманности, но её достаточно, чтобы дать рассеяние, позволяющее сделать видимой межзвёздную пыль.

1. **Отражательная туманность Голубая Конская Голова (IC 4592)**
2. **Отражательная туманность M78 в созвездии Ориона** — самая известная отражательная туманность
3. **Отражательная туманность Голова Ведьмы.** Эта туманность имеет название IC 2118, её пылинки отражают свет Ригеля (созвездие Ориона)



Эмиссионная туманность

Большая туманность Ориона M42 представляет собой огромную область звездообразования и является одной из самых известных астрономических туманностей

РАССТОЯНИЕ ДО ТУМАННОСТИ

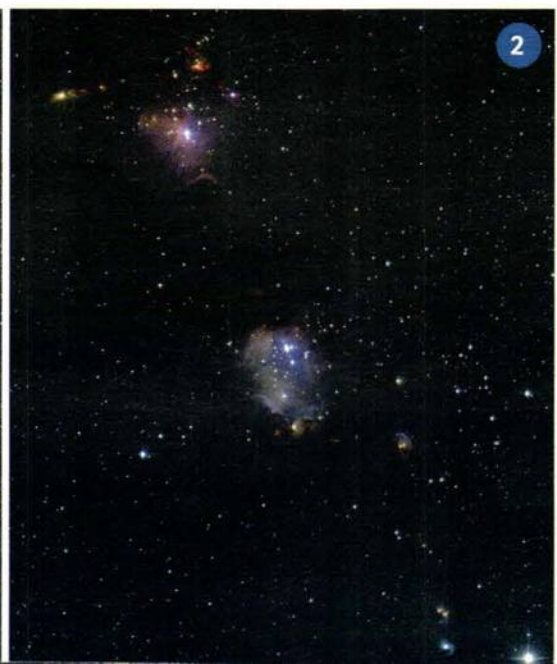
412 пк = 1343 св. года

ДИАМЕТР ТУМАННОСТИ

35', или 5 пк

МАССА МЕЖЗВЁЗДНОГО ГАЗА ТУМАННОСТИ

около 300 $M_{\odot}$





Тёмная туманность Конская Голова
в созвездии Ориона (Барнард 33)



Тёмная туманность Конус
в созвездии Единорога



Планетарная туманность Кошачий Глаз
NGC 6543 в созвездии Дракона находится
на расстоянии 3000 св. лет, центральная звезда,
будучи красным гигантом, примерно 1000 лет
назад сбросила оболочку

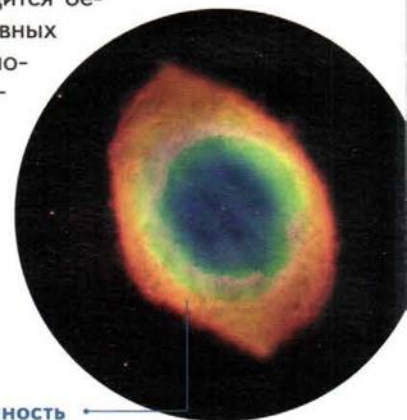
ТЁМНАЯ ТУМАННОСТЬ — место активного образования звёзд.

Тёмная туманность Конская Голова в созвездии Ориона имеет собственное обозначение Барнард 33 и расположена перед красной эмиссионной туманностью IC 434. Расстояние до туманности 1500 св. лет, размеры — 3,5 св. лет. Тёмная туманность Конская Голова состоит из пыли, которая поглощает свет яркой красной туманности, поэтому и видна на ярком фоне. Красное свечение IC 434 вызывается водородом, ионизованным близкой яркой звездой σ Ориона.

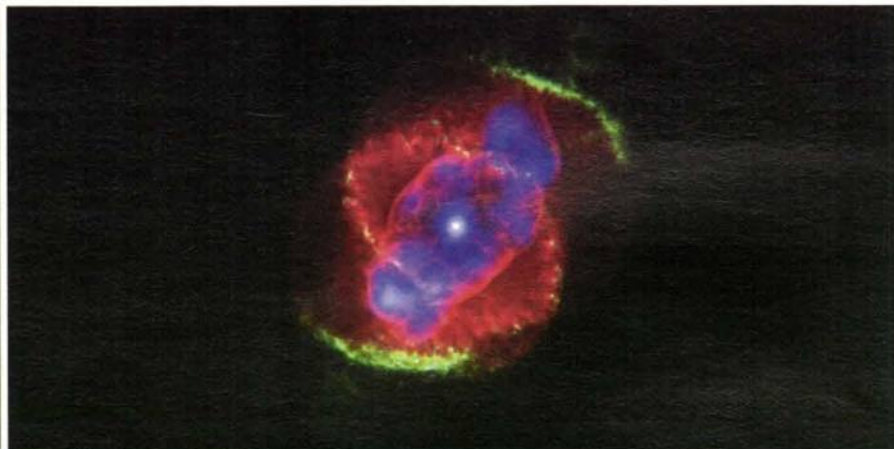
Тёмная туманность Конус находится на расстоянии 2700 св. лет, имеет длину около 7 св. лет, представляет собой область H II — нейтрального водорода. Она тёмная на фоне яркой галактической области звездообразования NGC 2264.

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ — это оболочки, сброшенные звёздами на заключительном этапе их эволюции. Планетарная туманность светится за счёт ультрафиолетового излучения центральной звезды.

Планетарная туманность Спирограф IC 418 находится на расстоянии 2000 св. лет от нас, её размеры составляют 0,3 св. года. Свет из центрального ядра возбуждает окружающие атомы в туманности, заставляя их светиться. Несколько тысяч лет назад красный гигант в конце своей эволюции сбросил внешнюю оболочку, которая до сих пор расширяется, а в центре находится белый карлик. Изображение дано в условных цветах: красный — излучение ионизованного азота, зелёный — водорода, синий — ионизованного кислорода (самый горячий газ, близкий к центральной звезде). Астрономы часто подкрашивают астрономические изображения условными цветами, чтобы понять структуру и физические особенности объекта.



Планетарная туманность
Спирограф



Комбинированное изображение центральной части планетарной туманности Кошачий Глаз в оптике с телескопа «Хаббл» и рентгеновского снимка с космической обсерватории Чандра. Распределение рентгеновской яркости показано голубым цветом, что свидетельствует о наличии там разогретого до огромных температур газа, и наложено на отображённое зелёным и красным цветом распределение оптического излучения

КРАТНЫЕ ЗВЁЗДЫ И ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ

В Галактике каждая третья звезда — двойная, имеются системы из трёх и более звёзд. Известны и более сложные объекты — *звёздные скопления*.

РАСSEЯННЫЕ СКОПЛЕНИЯ

Расcеянные звёздные скопления встречаются вблизи галактической плоскости. Сейчас известно более 1700 расcеянных скоплений, из них детально изучено 500. Самые известные среди них — Плеяды и Гиады в созвездии Тельца. Общее количество расcеянных скоплений в Галактике, возможно, достигает 100 тыс.

Расcеянные скопления состоят из сотен или тысяч звёзд. Суммарная масса звёзд скопления невелика ($100\text{--}1000 M_{\odot}$), и гравитационное поле не может долго сдерживать их в малом объёме пространства, поэтому за миллиарды лет расcеянные скопления распадаются. В расcеянных звёздных скоплениях гораздо больше молодых звёзд, чем старых.

Расcеянное скопление Бабочка М6 (NGC 6405) расположено в созвездии Скорпиона на расстоянии 1600 св. лет и имеет размеры 12 св. лет. Видимая звёздная величина $+4,2^m$, поэтому это созвездие лучше наблюдать в бинокль. Большинство ярких звёзд в этом скоплении — горячие голубые звёзды спектрального класса В, но самая яркая звезда — гигантская звезда спектрального класса К (оранжевого цвета).

ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ

Шаровые скопления сильно выделяются на звёздном фоне благодаря значительному числу звёзд и чёткой сферической форме. Диаметр шаровых скоплений составляет от 20 до 100 пк, а масса — $10^4\text{--}10^6 M_{\odot}$. Вся сфера шарового скопления густо заполнена звёздами, их концентрация растёт к центру. Сейчас известно около 180 шаровых скоплений, предполагается, что в нашей Галактике их несколько тысяч. В шаровых скоплениях двойные звёзды встречаются редко. Некоторые двойные системы в шаровых скоплениях являются рентгеновскими источниками излучения.

Шаровые скопления — старейшие образования в нашей Галактике, их возраст от 10 до 13 млрд лет и сравним с возрастом Вселенной. Бедный химический состав и вытянутые орбиты, по которым они движутся в Галактике, говорят о том, что шаровые скопления образовались в эпоху формирования самой Галактики.

Возраст звёзд, входящих в состав шаровых скоплений, солиден, поэтому все массивные звёзды прошли длинный путь эволюции и стали нейтронными звёздами или белыми карликами. В результате в шаровых скоплениях наблюдаются вспышки новых звёзд, рентгеновские источники и пульсары. Шаровые скопления также богаты переменными типа RR Лиры.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Плеяды — это группа физически связанных близких звёзд, которые сформировались одновременно около 100 млн лет назад.



Расcеянное скопление Плеяды М45 в созвездии Тельца расположено на расстоянии 444 св. лет от нас, имеет видимые размеры $110'$, радиус 6 св. лет, видимую звёздную величину $+1,6^m$ и прекрасно видно невооружённым глазом



Расcеянное скопление Бабочка М6 (NGC 6405)

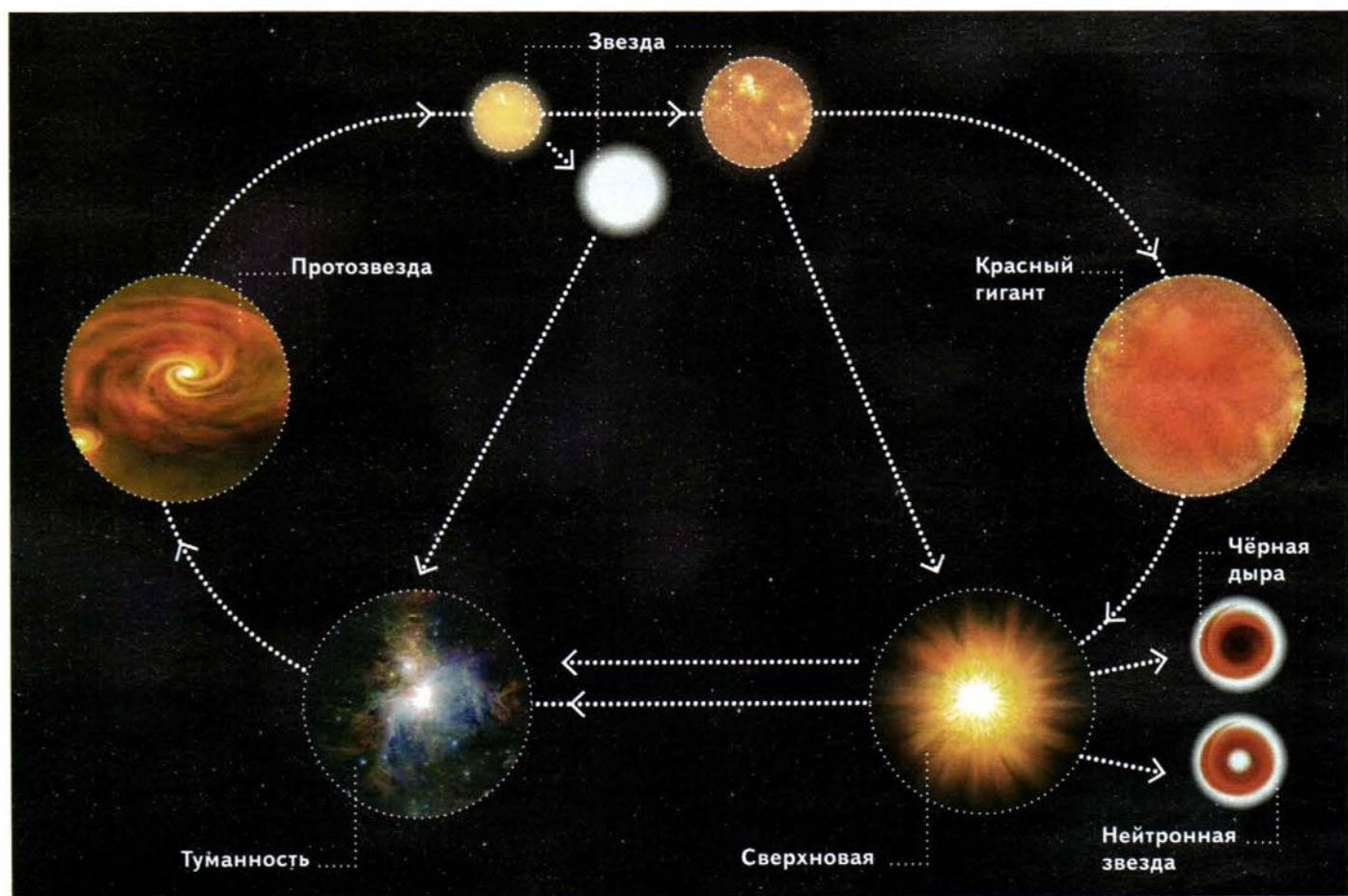


Шаровое скопление Омега NGC 5139 в созвездии Центавра расположено на расстоянии 18 300 св. лет, содержит несколько миллионов звёзд, возраст которых порядка 12 млрд лет, поэтому в скоплении много красных гигантов, которые находятся в конце своей эволюции. В центре скопления звёзды расположены в 10 тыс. раз плотнее, чем в окрестностях Солнца

ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД — изменение со временем физических характеристик, внутреннего строения и химического состава звёзд. Протозвёздная фаза является самой ранней в процессе эволюции звёзд. Для звезды массой $M_{\odot}$ фаза протозвезды длится около миллиона лет.

Звёзды формируются из межзвёздного вещества, а в ходе эволюции возвращают часть вещества в межзвёздную среду.



Кругооборот вещества в Галактике

Источники вещества	Интенсивность сброса, $M_{\odot}/\text{год}$	Количество звёзд или событий в год	Общий приток, $M_{\odot}/\text{год}$
Вспыхивающие звёзды	10^{-12}	10^{11}	0,1
Звёзды ранних спектральных классов О и В	$2 \cdot 10^{-6}$	10^5	0,2
Звёзды — красные гиганты класса М	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^4$	0,08
Планетарные туманности	10^{-5}	$3 \cdot 10^4$	0,3
Новые звёзды	$10^{-4} M_{\odot}$	100	0,01
Сверхновые	$0,5 M_{\odot}$	$1/30$ Не все видны из-за межзвёздной пыли	0,02

ГАЛАКТИКА

ГАЛАКТИКИ — скопления звёзд, удерживаемые за счёт сил всемирного тяготения — различаются по числу звёзд, форме, возрасту и т. д. Наибольший интерес для нас представляют *спиральные галактики*, поскольку Солнце входит именно в такую звёздную систему

Наша Галактика содержит две основные подсистемы (два компонента), вложенные одна в другую и гравитационно связанные друг с другом.

Первая называется сферической — *гало*, её звёзды концентрируются к центру Галактики, а плотность вещества, высокая в центре Галактики, довольно быстро падает с удалением от него. Центральная, наиболее плотная часть гало в пределах нескольких тысяч световых лет от центра Галактики называется *балдж* (от англ. bulge — вздутие).

Вторая подсистема — это массивный *звёздный диск*. Он представляет собой как бы две сложенные краями тарелки. В диске концентрация звёзд значительно больше, чем в гало. В звёздном диске между спиральными рукавами расположено Солнце.

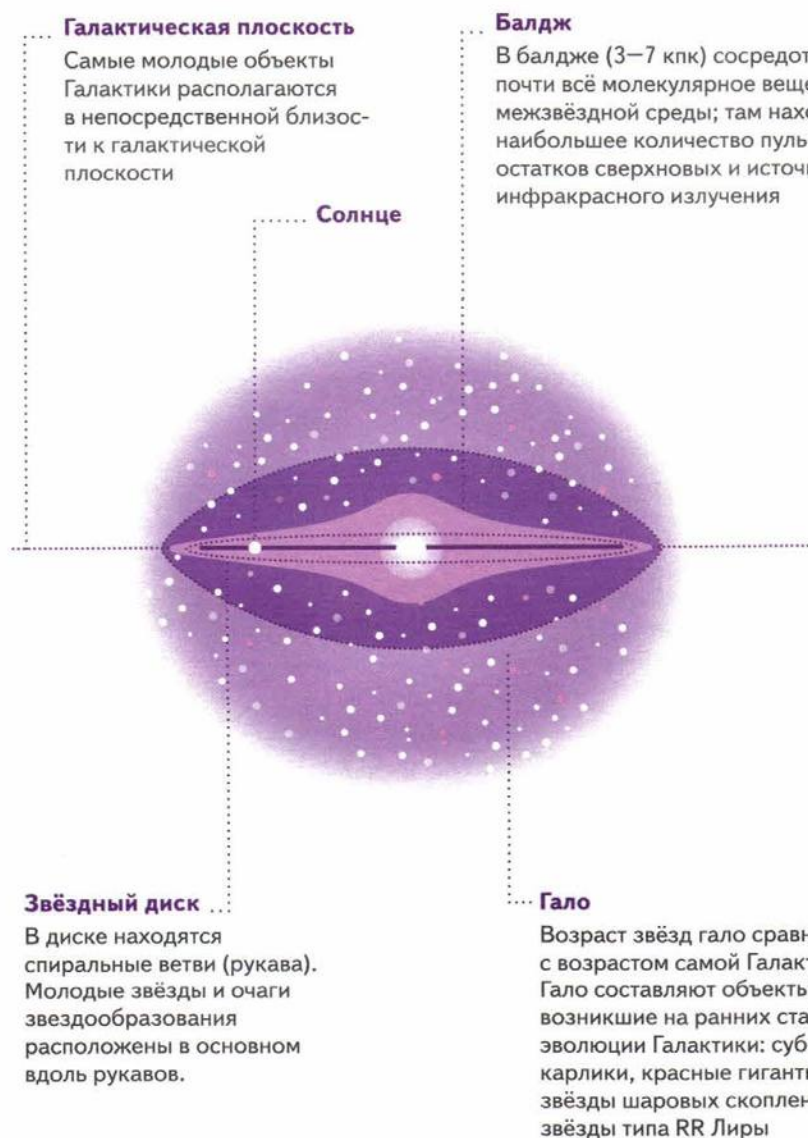


Схема строения Галактики

(в плоскости, перпендикулярной плоскости Млечного Пути)



М 74 — спиральная галактика с хорошо развитыми спиральными рукавами



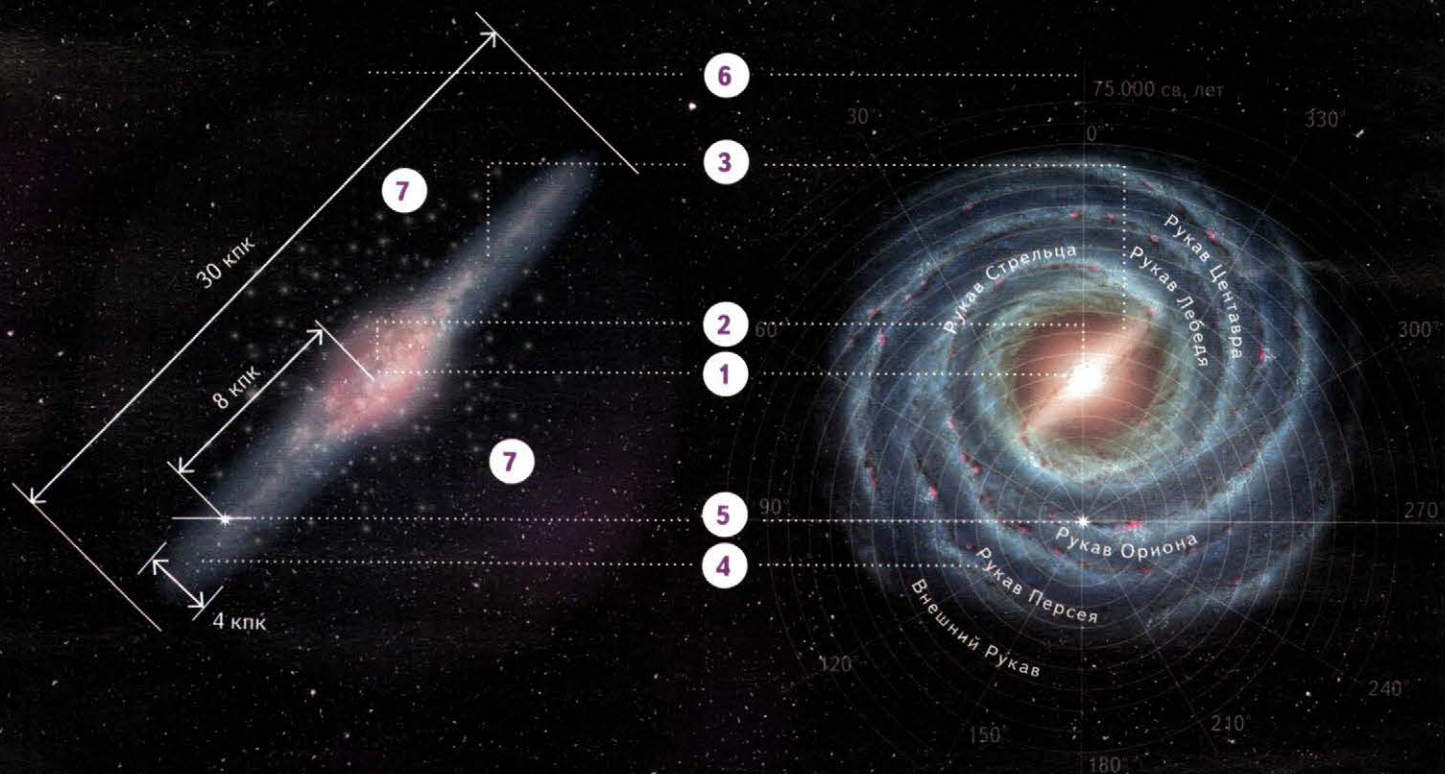
Спиральная галактика с баром NGC 3992 (М 109): примерно так выглядит наша Галактика сверху. Эта галактика является ближайшим прототипом нашей Галактики



Спиральная галактика NGC 891: примерно так выглядит наша Галактика сбоку. По плоскости галактики видна мощная пылевая полоса

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Распределение звёзд в Галактике имеет две ярко выраженные особенности: во-первых, очень высокая концентрация звёзд в галактической плоскости и, во-вторых, большая концентрация в центре Галактики. Так, если в окрестностях Солнца, в диске, одна звезда приходится на 16 кубических парсеков, то в центре Галактики в одном кубическом парсеке находится 10 тыс. звёзд. В плоскости Галактики помимо повышенной концентрации звёзд наблюдается также повышенная концентрация пыли и газа.

**1 Ядро**

В ядре высокая концентрация звёзд: в каждом кубическом парсеке находятся тысячи звёзд

2 Центр Галактики

В центре Галактики доказано существование массивной чёрной дыры. Видимое излучение центральных областей Галактики полностью скрыто от нас мощными слоями поглощающей материи. Центр Галактики находится в созвездии Стрельца

3 Диск

Звёзды внутри диска движутся по круговым траекториям вокруг центра Галактики

4 Спиральные рукава

В спиральных рукавах сосредоточены почти все горячие звёзды высокой светимости и рассеянных скоплений. Кроме молодых звёзд, в рукавах сосредоточена большая часть межзвёздного газа Галактики, поэтому в спиральных ветвях концентрируются области образования звёзд

5 Положение Солнца

Солнце расположено в звёздном диске между спиральными рукавами

6 Галактическая корона

Диск и окружающее его гало погружены в корону. В настоящее время считают, что размеры короны Галактики в 10 раз больше, чем размеры диска.

7 Шаровые скопления

ЭКЗОПЛАНЕТЫ

ЭКЗОПЛАНЕТА — планета, принадлежащая иной, не Солнечной планетной системе. На начало 2018 г. было найдено 3728 планет, 2794 планетных системы, из них 622 содержат несколько экзопланет.

Экзопланета была впервые обнаружена в 1995 г. астрономами Женевской обсерватории Мишель Майор

и Дидье Квелоз с помощью спектрометра, способного измерять доплеровское смещение линий с точностью до 13 м/с. Они обнаружили «покачивания» звезды 51 Пегаса с периодом 4,23 сут., вызванные влиянием на неё планеты, по массе близкой к Юпитеру.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНЕТ ВОКРУГ ДРУГИХ ЗВЁЗД:

- прямое наблюдение;
- астрометрическое (положение) колебание (1);
- метод Доплера, или метод лучевых скоростей (radial velocities), который заключается в спектрометрическом измерении вариаций лучевой скорости звезды;
- транзитный метод, который основан на падении видимого блеска звезды при прохождении планеты по её диску (2);
- гравитационное микролинзирование, при котором планета у более близкой к Земле звезды (линзы) может быть зафиксирована благодаря эффекту линзирования света от более далёкой (т. е. фоновой) звезды-источника.

1

Движение планеты искривляет траекторию звезды



2



Потенциально обитаемые экзопланеты





Kepler-186 f — экзопланета в планетной системе красного карлика Kepler-186 в созвездии Лебедя на расстоянии 492 св. лет от Земли. Это первая планета с радиусом, близким к земному, обнаруженная в обитаемой зоне другой звезды. Планета обнаружена с помощью космического телескопа «Кеплер» транзитным методом вместе с ещё четырьмя планетами, обращающимися гораздо ближе к звезде.

→ Экзопланета Kepler-186 f
в представлении художника

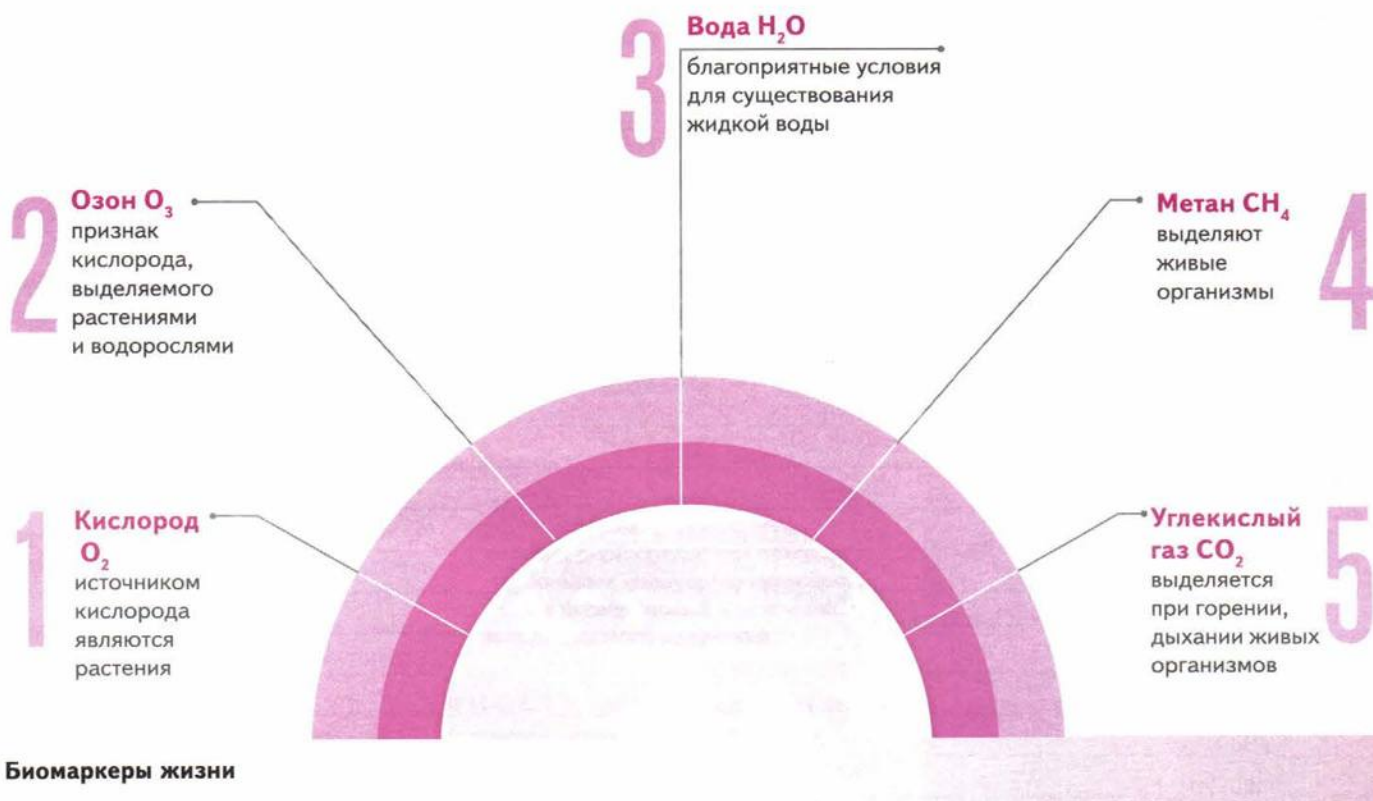
Название планеты	Масса, $M_{\oplus}$	Радиус, $R_{\oplus}$	Период обращения, земн. сут.	Большая полуось, а. е.	Температура, °C	Тип звезды
Проксима b	1,27	—	11,2	0,05	-39	M5.5 Ve
Глизе 163 c	6,9	1,8–2,4	25,6	0,125	60	M
Глизе 581 c	5,36	?	12,9	0,07	40	M3V
HD 40307 g	7,1	—	197,8	0,60	-19,99	K2,5V
Глизе 667 C c	3,8	?	28,1	0,12	27	M1V
Глизе 667 C e	2,7	?	62,24	0,213	-104	M1V
Глизе 667 C f	2,7	?	39,03	0,156	-83	M1V
HD 85512 b	3,6	?	58,4	0,26	25	K5V
Kepler-22 b	13,8	2,4	290	0,85	22	G5V
Kepler-61 b	—	2,15	59,87	0,26	—	K
Kepler-62 e	< 36	1,61	122,4	0,427	~17	K2V
Kepler-62 f	< 35	1,41	267,3	0,718	-5,77	K2V
Kepler-90 i	—	1	14,4	0,2	—	—
Kepler-186 f	—	1,13	129,9	0,393	—	M1V
Тау Кита e	4,3	—	168,12	0,552	40,3	G8.5V
Каптейн b	4,8	—	48,616	0,168	—	M1V
Каптейн c	7	—	121,54	0,311	—	M1V

Экзопланета Kepler-90 i обращается вокруг звезды Kepler-90 в созвездии Дракона. Находится на расстоянии 780 пк от Земли.



Около звезды Kepler-90 открыто 8 планет. На расстоянии 1 а. е. расположена экзопланета Kepler-90 i. В настоящее время наличие возможной жизни определяют по биомаркерам. Вещества, которые доволь-

но чётко связаны с жизнью, называют **биомаркерами**. Основных биомаркеров пять — это кислород, озон, вода, метан и углекислый газ.



TRAPPIST-1 — одиночная звезда в созвездии Водолея. Находится на расстоянии 39,5 св. лет от Солнца. В 2016 г. была открыта планетная система, состоя-

щая из трёх планет. А в 2017 г. открыли ещё четыре планеты, из них три находятся в зоне жизни, на них вода может существовать в жидком виде.

В системе TRAPPIST-1 обнаружено сразу семь землеподобных экзопланет, три из которых находятся в зоне обитания



СОДЕРЖАНИЕ

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Небесные тела Солнечной системы	2–3
Солнце	4
Внутреннее строение планет	5
Освоение космоса	6
Меркурий	8–9
Венера	10–11
Земля	12–13
Луна	14–15
Исследование Луны	16–17
Марс	18–19
Спутники Марса	20–21
Юпитер	22
Спутники Юпитера	23
Галилеевы спутники Юпитера	24–25
Сатурн	26
Спутники Сатурна	27
Уран	28
Нептун	29
Малые тела Солнечной системы	30–31
Изучение Солнечной системы	32–33
Заглядывая в будущее	34–35

ЗВЁЗДЫ

Звёздное небо	36–37
Характеристики звёзд	38–39
Видимая и абсолютная звёздные величины	40
Спектральные классы	41
Диаграмма спектр — светимость	42
Переменные звёзды	43–44
Новые и сверхновые	45

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА

Межзвёздная среда	46–48
Кратные звёзды и звёздные скопления	49
Звездообразование и эволюция звёзд	50–52

ЭКЗОПЛАНЕТЫ

Экзопланеты	53–55
-------------	-------

УДК 373.167.1:52(084)
ББК 22.6я6
А91

Астрономия. 10—11 классы : атлас / Н. Н. Гомулина, И. П. Карачевцева, А. А. Коханов. — М. : А91 Дрофа, 2018. — 56 с. : ил., карт. — (Российский учебник).

ISBN 978-5-358-20914-5

УДК 373.167.1:52(084)
ББК 22.6я6

РОССИЙСКИЙ УЧЕБНИК
Учебное издание

Гомулина Наталия Николаевна, **Карачевцева** Ирина Петровна,
Коханов Александр Александрович

АСТРОНОМИЯ
10—11 классы
Атлас

Раздел «Строение Солнечной системы» подготовлен по материалам исследований
Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК
авторским коллективом в составе:

И. П. Карачевцева — редактор, А. А. Коханов — картограф,
с участием А. Ю. Жарковой (картограф), Н. А. Козловой, А. Б. Дубовицкой,
И. Ю. Завьялова, М. М. Коленкиной

Редактор *О. А. Черникова*
Картограф *Е. В. Ключников*
Художественный редактор *Н. А. Морозова*
Внешнее оформление *К. С. Стеблева*
Художники *Ф. И. Павлов, К. С. Стеблев*
Технический редактор *В. Ф. Козлова*
Корректор *Е. Е. Никулина*

В оформлении атласа использованы изображения: *Фотобанк «Лори»,*
Shutterstock / FOTODOM, NASA, ESA,
«ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина», Роскосмос
Цветокоррекция и обработка изображений *Л. В. Аникиной, М. А. Богдановой*

Сертификат соответствия № РОСС RU. АД44. Н02752. **6+**

Картографическая лицензия № 7700435Ф от 18.11.14 ООО «ДРОФА».
Подписано в печать 25.05.18. Формат 60х90¹/₈. Гарнитура TextBookSanPin.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,0. Тираж 7000 экз.
Заказ №70682.

Отпечатано в ОАО «Советская Сибирь»
630048, г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 104

ООО «ДРОФА»
123308, г. Москва, ул. Зорге, дом 1, офис № 313



rosuchebnik.ru/metod

Предложения и замечания по содержанию и оформлению издания
можно отправлять по электронному адресу: expert@rosuchebnik.ru
По вопросам приобретения продукции издательства обращайтесь:
тел.: 8-800-700-64-03; e-mail: sales@rosuchebnik.ru
Электронные формы учебников, другие электронные материалы и сервисы:
LESTA.ru, тел.: 8-800-555-46-68
В помощь учителям и ученикам: регулярно пополняемая библиотека дополнительных
материалов к урокам, конкурсы и акции с поощрением победителей, рабочие программы,
вебинары и видеозаписи открытых уроков rosuchebnik.ru/metod

