

ЗАК СКОТТ

книга содержит авторскую инфографику

ВСЕЛЕННАЯ

**КРАТКАЯ ИСТОРИЯ КОСМОСА
ОТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ДО ТЕМНОЙ МАТЕРИИ**

ЗАК СКОТТ

ВСЕЛЕННАЯ

**КРАТКАЯ ИСТОРИЯ КОСМОСА
ОТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ДО ТЕМНОЙ МАТЕРИИ**



УДК 524
ББК 22.6
С44

ACROSS THE UNIVERSE

Zack Scott

Настоящее издание опубликовано по согласованию с компаний Johnson & Alock Ltd. и The Van Lear Agency

Перевод с английского Валентина Фролова

Научный редактор: Андрей Дамбис, доктор физико-математических наук,
заведующий отделом Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга

Скотт З.

С44 Вселенная. Краткая история космоса: от Солнечной системы до темной материи / Зак Скотт ; [пер. с англ. В. И. Фролова]. — М. : КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2024. — 240 с. ; ил.

ISBN 978-5-389-21719-5

Небо с древних времен завораживало человека. От шумерских лунных календарей до снимков НАСА люди не перестают задаваться вопросами, как устроен космос. Зак Скотт приглашает читателя в увлекательное путешествие по Вселенной, доступно рассказывая о Солнечной системе, рождении галактик, темной материи, Большом взрыве и многом другом. Скотт пишет просто о сложном: что такое гравитация, как светят звезды, когда закончился Большой взрыв и закончился ли вообще. Вместе с данным уникальным и подробным путеводителем по самым загадочным уголкам космоса вы узнаете о черных дырах, побываете в галактике М87, увидите, с чего все началось и чем завершится. Автор убедительно и четко выстраивает хронологию существования Вселенной и предлагает гипотезы будущего, когда звезды погаснут и все вокруг погибнет.

Книга содержит оригинальную авторскую инфографику, красочные иллюстрации и подробные схемы.

УДК 524
ББК 22.6

© Zack Scott, 2023

© Фролов В. И., перевод на русский язык, 2023

© Издание на русском языке, оформление.

ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2023

КоЛибри®

Научно-популярное издание Танымал ғылыми басылым

Скотт Зак

ВСЕЛЕННАЯ

Краткая история космоса: от Солнечной системы до темной материи

Ответственный редактор М. Терехова

Редактор И. Якимова

Художественный редактор Н. Данильченко

Технический редактор Л. Синицына

Корректоры С. Луконина, Е. Бударгина

Компьютерная верстка Н. Козель

В оформлении обложки использована иллюстрация © SkillUp / Shutterstock.com

Подписано в печать / Баспаға қол қойылды 09.11.2023. Формат 84 × 108^{1/16}.

Бумага мелованная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 25,2. Тираж 3000 экз. В-SCI-30673-01-R. Заказ №

Изготовитель: ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» — обладатель товарного знака «КоЛибри» 115093, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Даниловский, пер. Партийный, д. 1, к. 25 Тел. (495) 933-76-01, факс (495) 933-76-19 E-mail: sales@atticus-group.ru	Өндіруші: «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» ЖШҚ — «КоЛибри» тауар белгісінің иесі, 115093, Мәскеу, қ. іш. аум. Даниловский муниципалдық округі, Партийный т.ш., 1-үй, к. 25 Тел. (495) 933-76-01, факс (495) 933-76-19 E-mail: sales@atticus-group.ru
Филиал ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» в г. Санкт-Петербурге 191123, Санкт-Петербург, Воскресенская набережная, д. 12, лит. А Тел. (812) 327-04-55 E-mail: trade@azbooka.spb.ru www.azbooka.ru; www.atticus-group.ru	Санкт-Петербург қ. «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» ЖШҚ филиалы, 191123, Санкт-Петербург, Воскресенская жағалауы, 12-үй, А лит. Тел. (812) 327-04-55 E-mail: trade@azbooka.spb.ru www.azbooka.ru; www.atticus-group.ru
Отпечатано в России.	Ресейде басып шығарылған

Техникалық реттеу туралы РФ заңнамасына сай басылымның сәйкестігін
растуа туралы мәліметтерді мына адрес бойынша алуға болады:
<http://atticus-group.ru/certification/>.

Знак информационной продукции (Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.)
Ақпараттық өнім белгісі (29.12.2010 ж. № 436-ФЗ федералдық заң)



Содержание

Солнечная система

Тяготение и движение небесных тел	10
Меркурий	16
Венера	20
Земля	24
Кометы	28
Метеорные тела, метеоры и метеориты	32
Луна	36
Марс	44
Пояс астероидов	48
Юпитер	52
Сатурн	56
Уран	60
Нептун	64
Пояс Койпера и облако Оорта	68
Солнце	82

Звезды

Изучая свет	98
Туманности	106
Протозвезды	110
Коричневые карлики	111
Диаграмма Герцшпрунга — Рассела	112
Звезды главной последовательности	114
Термоядерный синтез в недрах звезд	116
Маломассивные звезды	118
Проксима Центавра	120
Красные карлики	121
Звезды средней массы	122
Мира	124
Звезда ван Маанена	126
Жизнь нашего Солнца	128
Массивные звезды	130
Бетельгейзе	132
Сверхновые	134
Нейтронные звезды	138
Черные дыры	142
Жизненный цикл звезд	146
Самые массивные звезды	148
Звезды вне главной последовательности	150
Кратные звездные системы	152
Сириус А и В	154

Внесолнечные планеты

Как образуются планеты	164
Типы планет	166
Расположение планет	168
Обнаружение внесолнечных планет	170
Методы обнаружения	172
Жизнь на других планетах	174

Галактики

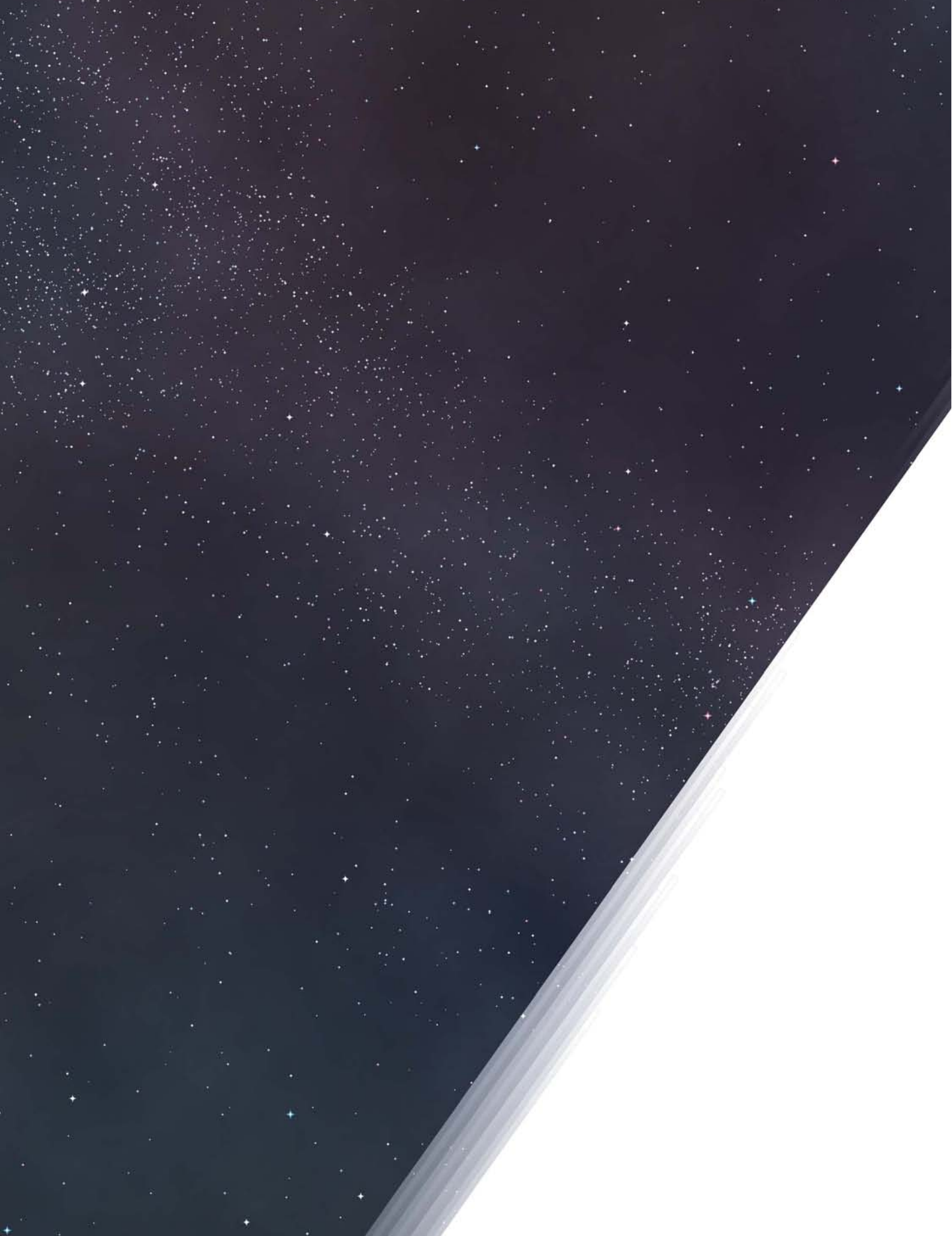
Рождение галактик	184
Типы галактик	186
Млечный Путь	188
Темная материя	194
Сверхмассивные черные дыры	196
Квazarы	200
Галактика M87	202
Расширение Вселенной	204
Темная энергия	206

Большой взрыв

Начало начал	212
Первая секунда	214
Возникновение материи	216
Распределение вещества	218
Первые звезды	220

Гибель Вселенной

Варианты развития событий	230
Звезды гаснут	232
Хронология Вселенной	234



Введение

Ночное небо с давних пор манило нас чудесами. Некогда считалось, что оно имеет божественную природу и отгорожено от мира нас, смертных, однако теперь известно, что это не так: и небеса, и мы сами — части грандиозного целого, которое зовется Вселенной.

С древних времен пытливые умы преодолевали множество трудностей на пути познания, чтобы сегодня мы смогли понять космос и наше место в нем. Первые астрономы могли лишь смотреть на небо невооруженным глазом, пытаясь постичь загадки ночного неба, но теперь существуют мощные телескопы, некоторые из них расположены высоко на орбите над Землей, чтобы иметь возможность заглянуть еще дальше. За те тысячи лет, что потрачены на изучение тайн Вселенной, наши методы, безусловно, значительно усовершенствовались. Однако и древние звездочеты, и современные ученые, запускающие телескопы в космос, сыграли в постижении секретов небес равно важную роль.

Книга эта начинается с рассмотрения самых близких к людям объектов — тел Солнечной системы. Неудивительно, что именно с ними мы знакомы лучше всего и, следовательно, больше всего о них знаем. Названия планет действительно были даны им представителями древних

цивилизаций, и даже в период, предшествующий именованию планет, наши предки уже поклонялись живительному Солнцу, поэтому можно с уверенностью сказать, что у нас, людей, давние отношения с этими небесными телами. Знакомство с нашей планетарной системой мы закончим на самом уникальном ее представителе — Солнце, непрерывно дарующем свет и тепло. Затем мы покинем уютный дом и приступим к изучению расположенных за его пределами звезд, планет и галактик. Попутно разберемся, как образуются звезды и что происходит, когда они умирают, а также узнаем о жизненном цикле Вселенной в целом — что именно произошло после Большого взрыва и как все живое, вероятно, прекратит свое существование.

В пути нам будут попадаться примеры, как астрономам удавалось раскрывать бесчисленные чудеса космоса. Поначалу может показаться нелепым, даже невероятным, что можно так много рассказать о звездах, столь далеких, что свет от них добирается до нас за тысячи, а то и миллионы лет. Надеемся, что благодаря подробному описанию наблюдений и последующих выводов необычайные факты и цифры, фигурирующие в космологии, смогут показаться немного более правдоподобными.



“
Природа
довольна
простотой*
”

Исаак Ньютон (1643–1727)

* В переводе с латинского А. Н. Крылова «Природа проста» — *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии = *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*: [пер. с лат.] / Исаак Ньютон; ред. и предисл. Л. С. Полака; пер. и комм. А. Н. Крылова. — М.: Наука, 1989. — 688 с. — (Классики науки).

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА



8


В РОДНЫХ КРАЯХ

Путешествие по Вселенной начнем с прогулки по ближайшим небесным окрестностям — Солнечной системе. Солнце возникло из газопылевого облака и засияло около 4,6 миллиарда лет назад, а из окружающих его остатков материи образовались планеты.

На протяжении большей части существования человечества мы не осознавали своего места в Солнечной системе или во Вселенной в целом. Мы считали себя неподвижными, находящимися в центре всего сущего и обособленными от небесных тел, несущихся по небу. Только после революционных научных открытий XVI века было признано, что Солнце находится в центре

орбит планет и что Вселенная не вращается вокруг нас. С тех пор наше понимание космоса развивается в геометрической прогрессии. Телескоп, усовершенствованный и модернизированный после его изобретения, а с недавних пор и отправляемые к другим планетам космические аппараты сделали источниками огромного объема данных, безгранично расширив горизонты познания. Без этих технологий мы знали бы лишь малую часть того, что доступно сегодня.

Стартуем с ближайшей к Солнцу планеты — Меркурия. Затем отправимся далее, останавливаясь на каменных внутренних планетах, поясе астероидов, потом перейдем к газовым планетам-



гигантам, обитающим во внешней части Солнечной системы. По дороге нам встретятся спутники, кометы и карликовые планеты, пока не доберемся до таинственного облака Оорта, что расположено на самом дальнем рубеже Солнечной системы. Последнее тело, на которое оглянемся, покидая Солнечную систему, это само Солнце, щедрый даритель света и тепла. Но почему планеты крутятся вокруг Солнца? Почему не разлетаются в пустоту космоса? Для понимания данных процессов прежде всего необходимо изучить тяготение — явление, определяющее движение планет и звезд и в значительной степени строение Вселенной на больших масштабах.

Тяготение и движение небесных тел

Тяготение — это сила притяжения, действующая между всеми объектами во Вселенной. Именно она приковывает нас к земле, удерживает Луну на орбите, а галактики — от распада. Тяготение — важнейшая сила, которая, по сути, сформировала Вселенную, без нее не смогли бы образоваться планеты и не светили бы звезды.

Впервые научное исследование тяготения предпринял итальянский астроном Галилео Галилей в конце XVI века. В своих знаменитых опытах он измерял скорость падения шаров разной массы, бросая их с вершины Пизанской башни. Как он и предсказывал, шары разных масс падали на землю за одинаковое время, что доказывает, что масса объекта не влияет на скорость его падения. Исаак Ньютон распространил идеи Галилея о падении тел на движение планет. Ньютон пришел к выводу, что та же сила, которая заставляет предметы падать на землю, отвечает и за удержание планет и их спутников на орбитах. В 1687 году он опубликовал посвященный изучению тяготения и законов движения трактат «Математические начала натуральной философии» (Principia) — один из важнейших трудов в истории науки.

10

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА

Закон всемирного тяготения Ньютона гласит, что каждое тело во Вселенной притягивает всякое другое тело и сила притяжения зависит от массы объектов и расстояния между ними. Сила тяготения уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния между объектами, и поэтому соответствующее соотношение также называют законом обратных квадратов, он сводится к простому уравнению:

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Сила

Гравитационная постоянная

Расстояние между центрами масс двух объектов

Масса объекта 1

Масса объекта 2

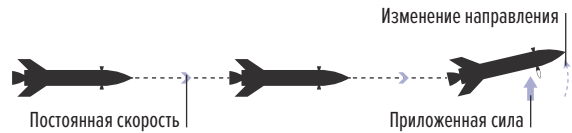


ТРИ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ

Изложенные в «Началах» три закона описывают связь между движением тел и действующими на них силами. Эти законы справедливы для всех объектов, от бильярдных шаров до планет, хотя в экстремальных обстоятельствах они не работают. Объекты, движущиеся со скоростью, близкой к скорости света, испытывающие действие очень сильного тяготения или имеющие размеры меньше атома, приходится описывать в рамках других теорий и расчетов.

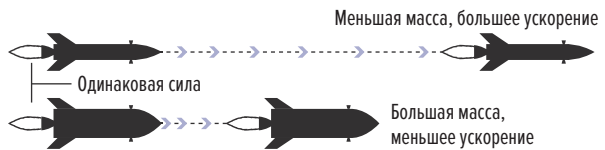
1-Й ЗАКОН

В отсутствие внешних сил тело остается неподвижным или движется с постоянной скоростью и в одном направлении



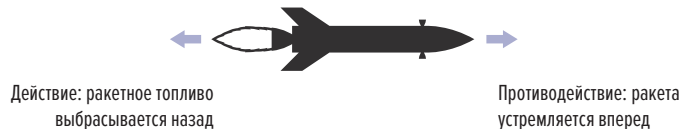
2-Й ЗАКОН

Сила, действующая на тело, равна его массе, умноженной на его ускорение. Таким образом, если к двум разным телам, масса одного из которых в два раза больше массы другого, приложить равную силу, то более массивное будет двигаться с в два раза большим ускорением



3-Й ЗАКОН

Всякому действию сопоставлено равное по силе и обратное по направлению противодействие



ПУШЕЧНЫЕ ЯДРА НЬЮТОНА

Для объяснения траектории движения небесных тел Ньютон предложил мысленный эксперимент, демонстрирующий действие силы тяготения на масштабах больших, чем высота Пизанской башни. Он предложил вообразить высокую гору, на вершине которой стоит пушка, стреляющая ядрами с разной скоростью вылета.



МАЛАЯ СКОРОСТЬ

Ядро, вылетающее с малой скоростью, просто упадет на землю



ОРБИТАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ

При определенной для заданной высоты скорости вылетевшее из пушки ядро будет постоянно падать, обращаясь вокруг Земли, но не сталкиваясь с ней



ВЫСОКАЯ СКОРОСТЬ

Ядро, выстреленное со скоростью больше орбитальной (но меньше скорости освобождения), будет двигаться по эллиптической орбите



СКОРОСТЬ ОСВОБОЖДЕНИЯ

При некотором значении скорости вылета ядра оно покинет околоземное пространство, двигаясь по параболе; такую скорость называют скоростью освобождения



МАЛАЯ ВЫСОТА

Чем ближе пушечное ядро к Земле, тем быстрее оно должно двигаться, чтобы оставаться на орбите



БОЛЬШАЯ ВЫСОТА

Чем больше расстояние от Земли, тем медленнее должно двигаться пушечное ядро, чтобы остаться на орбите

ВИДЫ ОРБИТ

Три тела движутся под действием расположенной в центре планеты, имеющей гораздо большую массу. Два тела удерживаются на околопланетных орбитах, тогда как третье, не будучи захвачено планетой, всего лишь меняет направление движения.

КРУГОВАЯ ОРБИТА

Орбиты многих тел в Солнечной системе — например, орбита Луны вокруг Земли — являются круговыми

ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ОРБИТА

Орбиты объектов, движущихся по вытянутым (или эксцентрическим) траекториям, называются эллиптическими

ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ/ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ ТРАЕКТОРИЯ

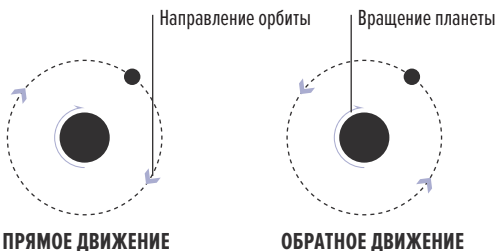
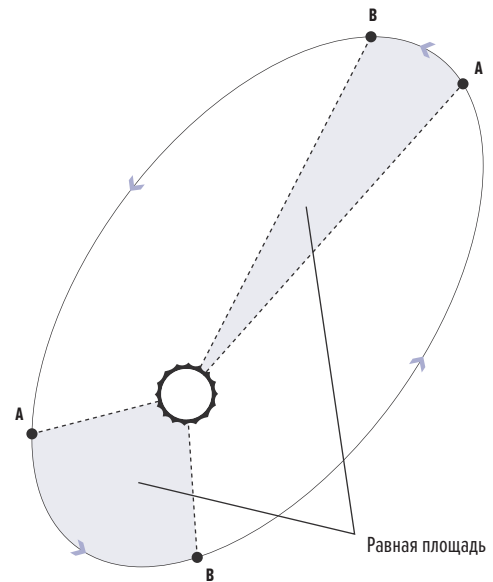
Пролетающие мимо звезды тела, не связанные с ней силами тяготения, движутся по невозвратным (параболическим или гиперболическим) орбитам

12

ВТОРОЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА

Еще до появления работ Ньютона немецкий астроном Иоганн Кеплер установил три закона, описывающие движение планет вокруг Солнца. Вторым из них гласит, что, когда планета при перемещении по орбите приближается к Солнцу, ее скорость увеличивается. Также закон определяет, как именно меняется скорость вдоль орбиты.

На данном рисунке изображена планета, обращающаяся по эллиптической орбите вокруг Солнца и проиллюстрирован второй закон Кеплера, определяющий, на какое расстояние планета перемещается за определенный период времени в разных точках орбиты. В обоих случаях планета *A* перемещается в точку *B* за одно и то же время, но, как видно из рисунка, в случае, когда планета находится дальше от Солнца, она проходит меньшее расстояние и, значит, движется медленнее. Кеплер установил, что за равные промежутки времени соединяющий планету с Солнцем радиус описывает равные площади.



НАПРАВЛЕНИЕ ОРБИТЫ

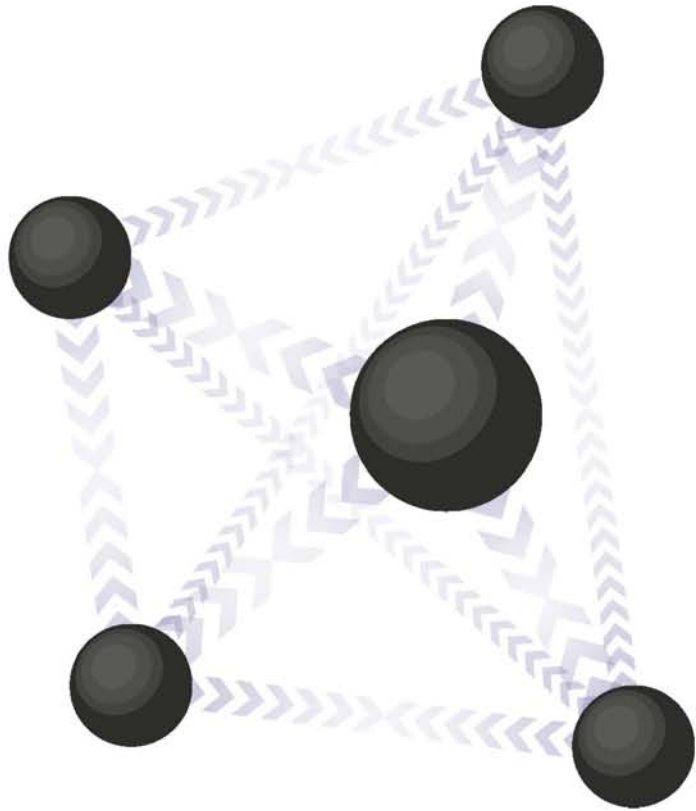
Термины «прямая» и «обратная» орбита означают, что планета или спутник обращается в том же направлении, что и вращается центральное тело (соответственно звезда или планета), или противоположном ему.

СЛУЧАЙ НЕСКОЛЬКИХ ТЕЛ

Благодаря пониманию того, как действует сила тяготения, можно предсказывать траектории движения небесных тел и их положение в будущем, но точность подобного предсказания ухудшается на больших интервалах времени.

Изучая проявления взаимного тяготения двух тел, нетрудно оценить действующие на них силы. В реальности все сложнее. Возьмем, к примеру, Луну: хотя она и обращается вокруг Земли, на нее также сильно влияет сила притяжения Солнца. Поэтому траектория ее движения не является идеальным эллипсом с Землей в фокусе. В реальности на Луну влияют не только Земля и Солнце, но также и все прочие тела Солнечной системы и даже притяжение Млечного Пути.

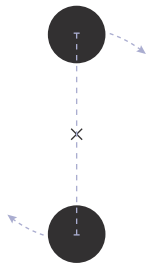
Из-за огромного количества переменных вычисление положений спутников, планет и звезд подобно прогнозу погоды — нетрудно выполнить на ближайшее время, но получить долгосрочный прогноз гораздо труднее.



13

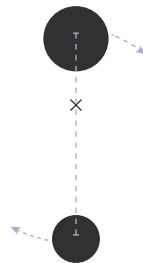
ЦЕНТР МАСС

Два взаимно притягивающихся тела обращаются вокруг точки, называемой их общим центром масс.



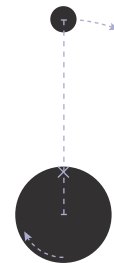
СЛУЧАЙ РАВНЫХ МАСС

Если два тела имеют одинаковую массу, то центр масс расположен на одинаковом расстоянии от обеих планет



СЛУЧАЙ ЕДИНИЧНОЙ И ДВОЙНОЙ МАССЫ

Если масса одного тела в два раза больше массы другого, то центр масс будет в два раза ближе к центру первой планеты



СИСТЕМА ЗЕМЛЯ — ЛУНА

Центр масс системы Земля — Луна расположен в среднем на глубине около 1700 км под поверхностью Земли

АККРЕЦИЯ

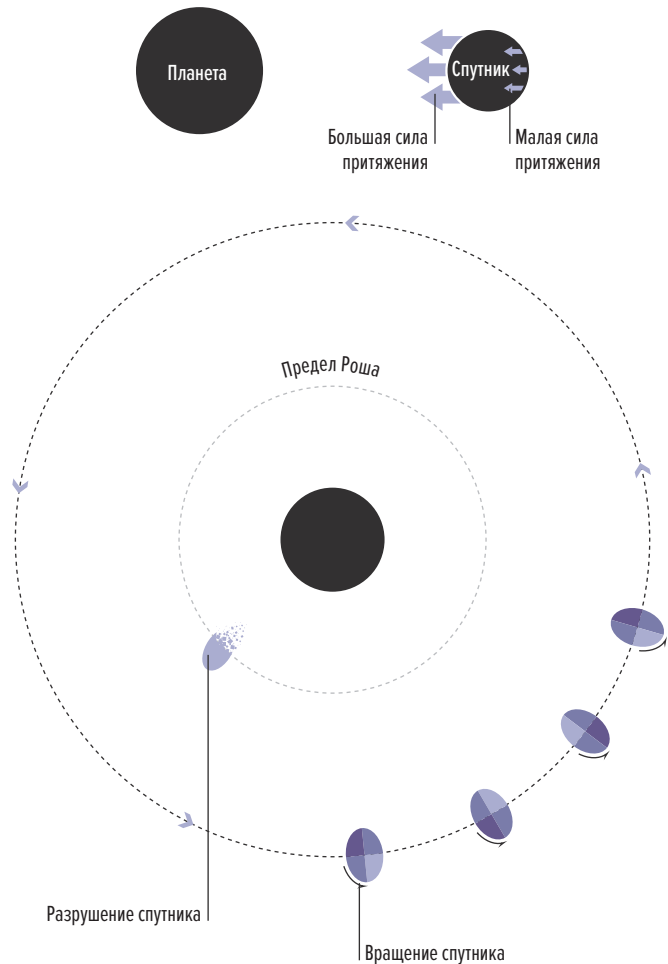
Сила тяготения (гравитация) не только удерживает планеты на их орбитах вокруг Солнца, но также обеспечивает саму возможность их образования. До своего рождения планеты являлись лишь космической пылью и молекулами, но сила тяготения постепенно собрала все эти микроскопические частицы вместе, образовав астероиды и планеты, а также Солнце и звезды.

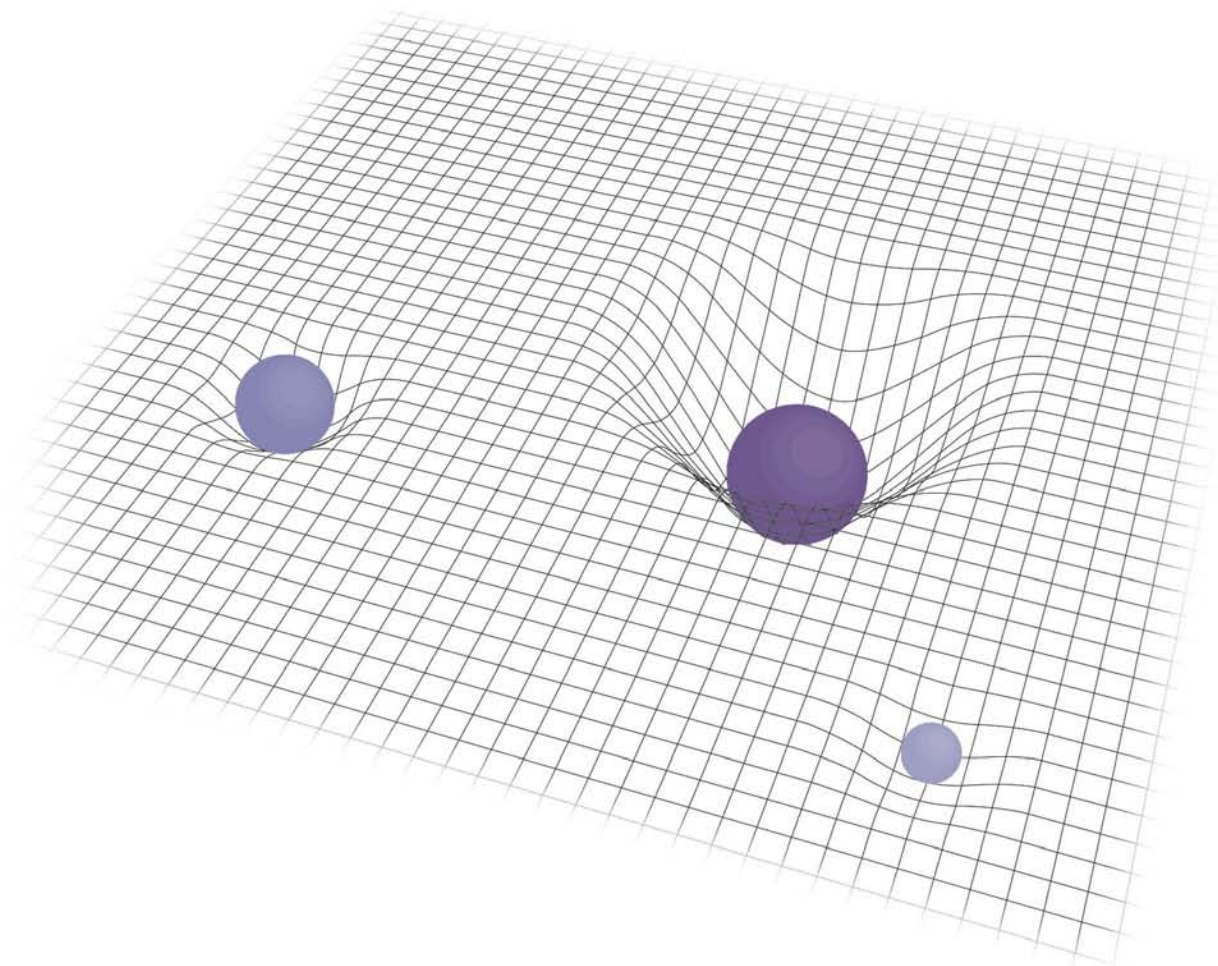


ПРИЛИВНЫЕ СИЛЫ

Как известно, сила притяжения уменьшается с расстоянием, поэтому, когда два тела обращаются друг вокруг друга, ближайšie стороны притягиваются друг к другу сильнее, чем удаленные. Как следствие, сила тяготения «растягивает» обращающийся вокруг более массивной планеты спутник. Если спутник при этом вращается, поворачиваясь к планете то одной, то другой своей стороной, то он будет постоянно деформироваться, что приводит к «лунотрясениям» и разогреву недр спутника. Процесс этот называется приливным разогревом и может приводить к вулканической активности. Приливные силы также замедляют вращение обращающихся вокруг центральных тел спутников — именно это произошло с Луной, период вращения которой стал равным ее орбитальному периоду.

Влияние приливных сил тем сильнее, чем ближе спутник к планете. При приближении спутника на определенное расстояние к планете, известное как предел Роша, из-за различия величины сил тяготения, действующих на разные его части, спутник разрывается на несколько фрагментов. Соответствующее пределу Роша расстояние зависит от множества факторов, включая массы притягивающихся тел и физический состав спутника.





ЧТО ТАКОЕ ГРАВИТАЦИЯ?

До сих пор мы рассматривали действие тяготения и его влияние на небесные тела, но что именно вызывает эту силу? Ответ на данный вопрос был получен только в 1915 году, когда Альберт Эйнштейн предложил общую теорию относительности, согласно которой масса на самом деле деформирует «ткань» пространства.

В своей работе Эйнштейн объяснил, что три видимых нами измерения (высота, ширина и глубина) и четвертое (время) являются частью единого целого, известного как пространство-время. Он также предположил, что пространство-время не является плоским или постоянным, а искажается под воздействием материи. В изображенной выше модели пространство-время представлено плоскостью с сеткой пересекающихся линий. Теперь представьте, что эта поверхность ведет себя как ткань на батуте и на нее кладут шар для боулинга: материал растягивается, и ткань вблизи шара деформируется. Если рядом с шаром для боулинга прокатить тело гораздо меньшей массы, например маленький стеклянный шарик, то его траектория изменится и шарик повернет в сторону большей массы. По этой аналогии мы можем представить, как большие тела, например планеты, захватывают пролетающие мимо объекты, становящиеся их спутниками. Американский физик-теоретик Джон Арчибалд Уилер сформулировал эту теорию наиболее лаконично: «Пространство-время диктует материи, как двигаться; материя диктует пространству-времени, как изгибаться».

Меркурий



16



Первая планета, попадающая нам навстречу во время путешествия по Солнечной системе, — Меркурий. Маленький и плотный, он находится так близко к Солнцу, что зачастую его бывает не разглядеть на фоне яркого светила. Из-за размеров и расположения Меркурий трудно наблюдать даже с помощью современных технологий.

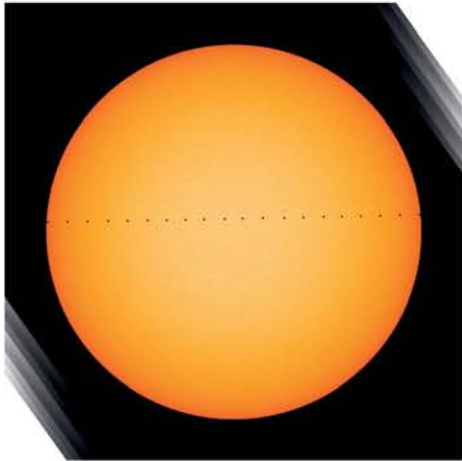
Для земного наблюдателя Меркурий носится туда-сюда, выскакивая то с одной, то с другой стороны ослепительного Солнца. Происходит это довольно быстро, так как из-за близости планеты к Солнцу она испытывает сильное воздействие солнечного притяжения. Ввиду этих особенностей планета получила название в честь древнеримского бога Меркурия, который, помимо всего прочего, служил посланником другим богам.

Можно предположить, что из-за близости к Солнцу планета раскалена добела, но это не так. Несмотря на быстрое движение по орбите — планета совершает один оборот вокруг Солнца всего за 88 земных суток, — вокруг своей оси планета вращается невероятно медленно, а значит, сутки на Меркурии эквивалентны 176 земным суткам (за это время планета дважды облетит вокруг Солнца!). Во время долгого дня на стороне, обращенной к Солнцу, температура может достигать 430 °С (этого достаточно, чтобы расплавился свинец). Однако на противоположной стороне планеты ночью температура опускается до -200 °С, ведь тепло слабо удерживается

разреженной атмосферой планеты. Из-за малой массы Меркурия и слабого тяготения на его поверхности планета не в состоянии сформировать сколь-нибудь значительную по содержанию газов атмосферу. Чрезвычайно разреженная атмосфера состоит в основном из водорода и гелия и менее распространенных элементов, выделившихся из коры под действием солнечного ветра и ударов метеоритов.

Многочисленные участки Меркурия покрыты глубокими кратерами, многие из которых предположительно возникли в результате катаклизма, известного как «поздняя тяжелая бомбардировка». Считается, что в тот период (около 3,9 миллиарда лет назад) многочисленные астероиды сталкивались с планетами земной группы во внутренней части Солнечной системы. Меркурий тогда был геологически активен: на нем находились вулканы и бассейны, заполненные магмой, которая со временем остыла, образовав гладкие равнины. Наличие крупных кратеров на поверхности говорит о том, что геологическая активность на Меркурии прекратилась примерно миллиард лет назад — ведь если бы поверхность планеты продолжала обновляться, то за прошедшее время эти образования должны были основательно разрушиться.

Вопреки всему на Меркурии, самой близкой к Солнцу планете, сохранились залежи воды в виде льда. Они были обнаружены зондом Messenger в 2008 году благодаря особенностям отражения льдом радиолокационных импульсов. Лед нашли в некоторых из самых глубоких кратеров, расположенных вблизи полюсов планеты. Дно кратеров настолько глубокое, что туда не попадает солнечный свет, и в результате температура никогда не превышает -160 °С. Считается, что образующиеся здесь скопления льда были принесены на планету кометами. При столкновении с планетой большое количество воды, содержащейся в кометах, испаряется, и на короткое время после такого столкновения Меркурий окружен атмосферой из водяного пара. Часть пара, выпадающего на поверхность в виде осадков, оказывается на дне вечно темных и холодных кратеров и конденсируется, образуя очередной слой льда, где и сохраняется надолго.



На этом составном изображении, созданном на основе данных наблюдений, выполненных космическим аппаратом NASA Solar Dynamics Observatory 11 ноября 2019 года, показан ряд положений Меркурия в течение пятичасового прохождения по диску Солнца с интервалом 21 минута

ПРОХОЖДЕНИЕ МЕРКУРИЯ ПО ДИСКУ СОЛНЦА

Здесь изображен силуэт Меркурия, проходящего между Землей и Солнцем. В среднем Меркурий проходит по диску Солнца каждые семь лет. Впервые в телескоп это явление наблюдал французский астроном Пьер Гассенди в 1631 году. Проведя наблюдения и осуществив расчеты, он стал первым, кто смог точно определить диаметр другой планеты.

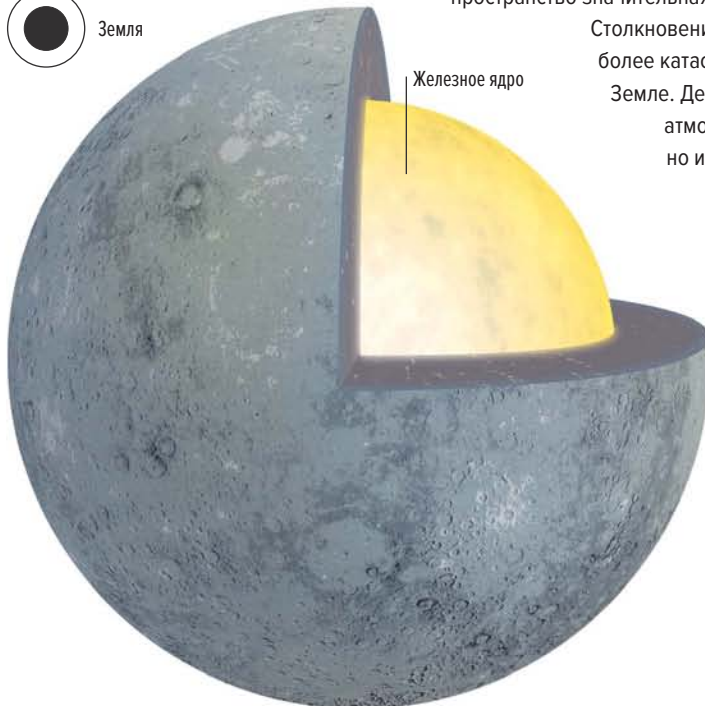
КРУПНОЕ ЖЕЛЕЗНОЕ ЯДРО

Подобно Земле, Меркурий имеет железное ядро. Но если земное ядро занимает 17% объема нашей планеты, то ядро Меркурия — около 57%. Согласно общепринятой теории, все дело в том, что однажды с Меркурием столкнулась планетезималь (небольшое тело диаметром менее 100 км, состоящее из камня или льда), в результате чего с планеты была сорвана и выброшена в космическое пространство значительная часть внешних каменных слоев (коры и мантии).

Столкновения небесных тел с Меркурием, как правило, несут более катастрофические последствия, чем те же явления на Земле. Дело не только в отсутствии сколь-нибудь заметной атмосферы, могущей защитить поверхность планеты, но и в близости Меркурия к Солнцу и вытекающей из этого большей скорости орбитального движения и, следовательно, большей скорости соударения планеты с падающими на нее астероидами.

СРАВНЕНИЕ ЯДЕР

18



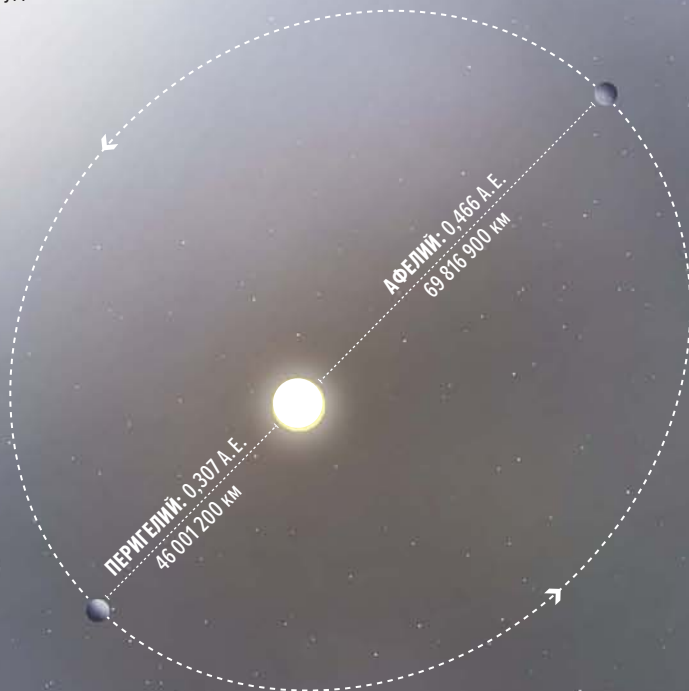
НАКЛОНЕННАЯ ОРБИТА

Орбита Меркурия — самая наклоненная среди всех планетных орбит, хотя орбиты некоторых тел — например, карликовой планеты Плутон и других объектов в поясе Койпера и поясе астероидов — наклонены еще сильнее.



ВЫТЯНУТАЯ ОРБИТА

Орбита Меркурия выделяется среди прочих планет не только из-за малой продолжительности года и исключительно долгих суток. У Меркурия самая эксцентричная (наименее круглая) орбита из всех планет. У идеально круглой орбиты эксцентриситет равен нулю, а эксцентриситет очень вытянутой орбиты близок к единице. Эксцентриситет орбиты Меркурия равен 0,21, поэтому разница между расстоянием планеты от Солнца в перигелии (ближайшей к Солнцу точке орбиты) и афелии (самая удаленная от Солнца точка орбиты) значительна.



Венера

Венера — вторая планета от Солнца, ближайшая к Земле. Она — третий по яркости объект на нашем небе (после Солнца и Луны), и обычно ее можно увидеть перед рассветом или после заката. На фоне красноватого неба яркое сияние кремово-белой планеты издавна ассоциируется с красотой: по имени древнеримской богини любви и красоты Венера и получила свое название. Однако внешность бывает обманчивой.

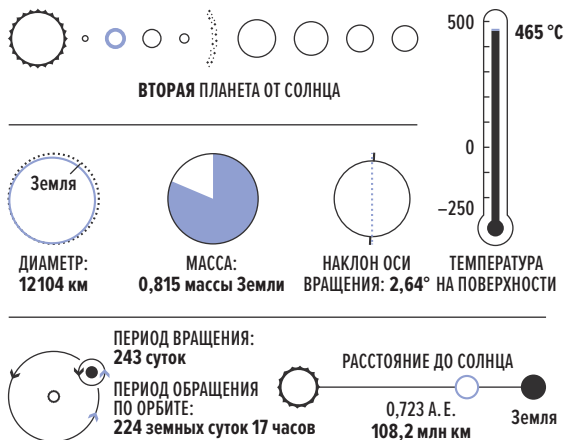
Красота Венеры — маска, созданная толстым слоем облаков, отражающих большую часть солнечного света. Привлекательным тут является только внешний вид планеты, поскольку без маски Венера — адское местечко.

Сами облака состоят не из паров воды, а из серной кислоты, которая окрашивает тускло освещенную поверхность планеты в желтый цвет. Любой свет, пробивающийся сквозь облака, задерживается плотной атмосферой. Высокое содержание углекислого газа в атмосфере Венеры дает самый сильный парниковый эффект в Солнечной системе. Несмотря на то что планета почти в два раза дальше от Солнца, чем Меркурий, и освещенность солнечным светом там в четыре раза слабее, температура поверхности на Венере выше. Из-за невероятного жара в нижних слоях атмосферы любой проливающийся из облаков кислотный дождь испаряется задолго до того, как попадет на поверхность.

Наиболее подробная информация о поверхности планеты была получена благодаря советской космической программе «Венера», в рамках которой в 1970 году совершена была первая в мире посадка космического аппарата на поверхность другой планеты. В общей сложности десять зондов «Венера» совершили успешные посадки, и каждый из них был потрепан ветрами со скоростью 300 км/ч, когда они спускались на парашютах в верхних слоях атмосферы. Приземлившись на растрескавшиеся плиты черной вулканической породы, зонды могли продержаться в этой враждебной среде не более двух часов, в течение которых передавали данные на Землю. Воздух у поверхности Венеры очень плотный из-за высокого давления; почти текучий, как жидкость, он увлекает за собой камни и пыль. Из-за плотной атмосферы посадочные аппараты могли видеть только на несколько километров в окружающем свете, но радарная съемка позволила получить гораздо больше информации о ландшафте.

Около трех четвертей планеты покрыто образованиями, состоящими из гладких вулканических равнин и многих тысяч вулканов, более сотни которых имеют диаметр свыше 100 км. Скорее всего, Венера все еще вулканически активна, о чем свидетельствует наличие серы в атмосфере и наблюдаемые на поверхности характерные кратеры. Большинство ударных кратеров на Венере находятся в хорошо сохранившемся состоянии, что свидетельствует о том, что, скорее всего, современная поверхность планеты сформировалась недавно, а старые выветрившиеся кратеры оказались погребены под вулканическим пеплом и лавой. Помимо вулканов, жары, высокого давления и ветров, ядовитой атмосферы и облаков кислоты, есть также свидетельства, что на планете бывают грозы и молнии — если всего перечисленного мало.

Считается, что атмосфера Венеры когда-то была такой же, как сейчас на Земле, и что на поверхности было много жидкой воды. Когда вода испарилась, дополнительный пар в воздухе усилил порожденный другими газами парниковый эффект, и в какой-то момент был достигнут критический уровень, после которого повышение температуры ускорилось, что привело к еще более интенсивному выкипанию воды. Глобальное потепление вышло из-под контроля.



СКРЫТЫЕ ОПАСНОСТИ

Под прекрасной пеленой облаков Венера прячет кошмарный облик. Вот некоторые из опасностей, которые таит в себе планета.



МОЛНИИ



ВУЛКАНЫ



ВЫСОКАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Со средней температурой на поверхности 462 °С Венера — самая жаркая в Солнечной системе



ОБВАЛЫ КАМНЕЙ

Ветра, дующие над поверхностью, сносят камни и пыль так, что те катятся по поверхности планеты



ЯДОВИТЫЕ ОБЛАКА

Состоят из серной кислоты



ЯДОВИТАЯ АТМОСФЕРА

На 96,5% состоит из углекислого газа. Остальное — азот



ВЫСОКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Атмосферное давление на поверхности планеты в 92 раза превышает земное. У нас такое же давление наблюдается на глубине 900 метров ниже уровня моря

Большой каньон, Земля
416 м

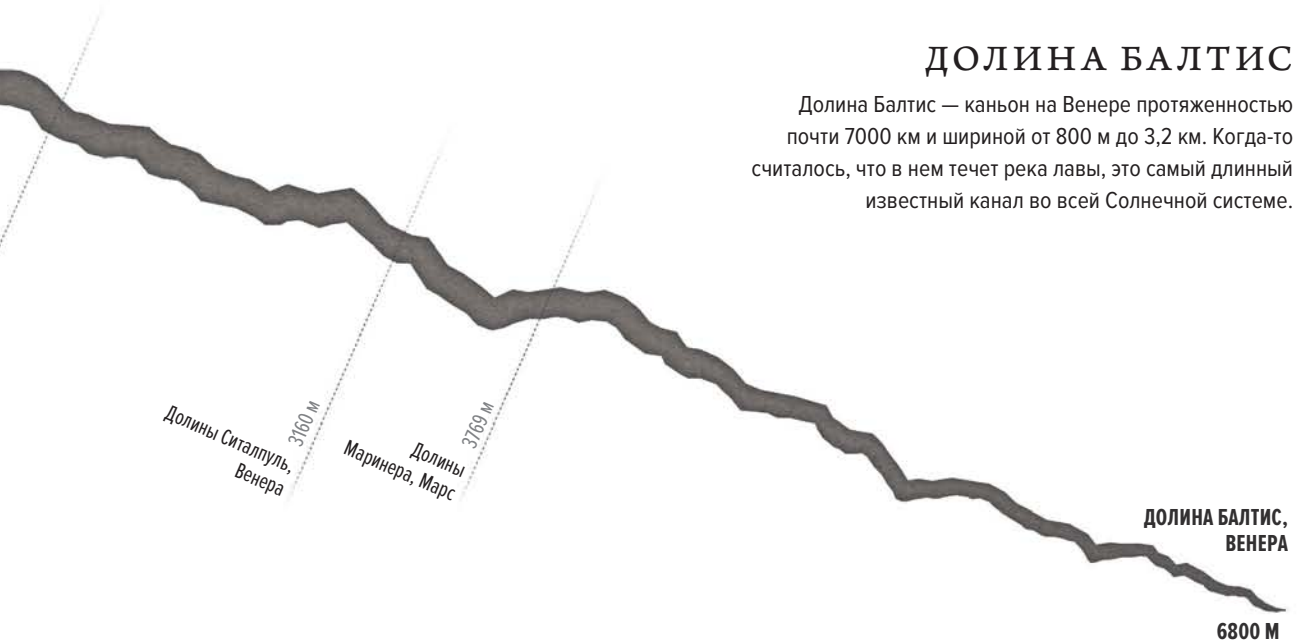
Каньоны Галунлати, Рея
(спутник Сатурна)
740 м

Каньон Итока, Тефия
(спутник Сатурна)
1219 м

Долина Арес, Марс
1758 м

ДОЛИНА БАЛТИС

Долина Балтис — каньон на Венере протяженностью почти 7000 км и шириной от 800 м до 3,2 км. Когда-то считалось, что в нем течет река лавы, это самый длинный известный канал во всей Солнечной системе.

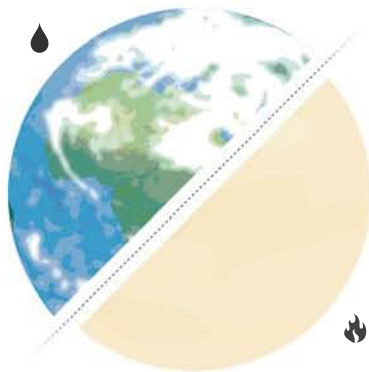


АЛЬБЕДО

Альbedo планеты — показатель ее отражательной способности. «0» означает черное тело, не отражающее свет, а «1» — объект, отражающий весь свет. Благодаря близости Венеры к Солнцу и к нам, а также ее высокому альbedo она является самой яркой планетой, которую можно увидеть с Земли.



23



СЕСТРА ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ

Из-за схожего размера, массы и расположения в Солнечной системе Венеру часто считают планетой-сестрой Земли. Однако на этом сходство заканчивается.

Земля

24

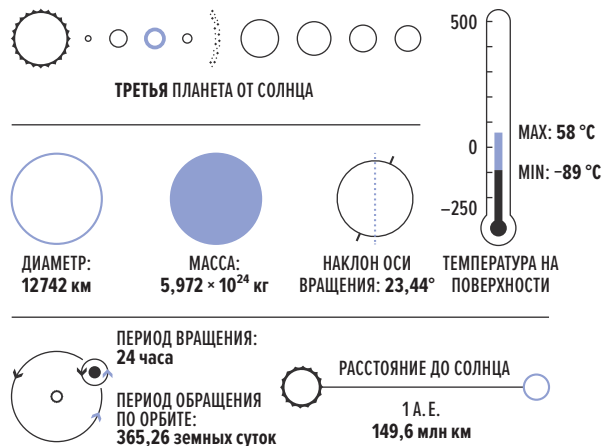


Далее мы прибываем на Землю, третью планету от Солнца, и наш дом, райский сад посреди космического пространства. Земля уникальна по сравнению с другими планетами Солнечной системы: ее поверхность омывают огромные водные океаны, и это единственное известное нам место, где есть жизнь.

Земля, как и другие каменные планеты, возникла около 4,6 миллиарда лет назад при формировании Солнечной системы. Тогда эти еще молодые планеты были не твердыми, а расплавленными: причиной тому было тепло, выделившееся во время многочисленных столкновений, вызвавших их появление. Со временем поверхности планет остыли и образовалась твердая кора, а малые планеты (Меркурий и Марс) в конце концов затвердели вплоть до самого ядра. Поскольку Земля оказалась самой большой из каменных планет, внутри нее сохранилось больше всего тепла, которого хватило на то, чтобы вызвать конвективные потоки в мантии. Эти потоки были медленными, но достаточно сильными, чтобы под их действием кора разделилась на отдельные плиты, которые начали тереться друг о друга, как это происходит и сегодня. Благодаря падавшим на Землю кометам начала накапливаться вода, а движение плит и вулканическая активность дали возможность воде выйти на поверхность. По мере формирования первых океанов образовалась и атмосфера, в которой удерживались парниковые газы и водяной пар. Этот важнейший процесс обеспечил «теплоизоляцию» планеты, предотвратив замерзание океанов.

Помимо нашей драгоценной атмосферы, еще одной защитой от опасностей космоса является магнитное поле Земли. Оно возникло примерно через миллиард лет после образования планеты в результате оседания более тяжелых элементов (в основном железа) в ядро. Из-за огромного давления в самом центре эта часть железного ядра затвердела, несмотря на высокую температуру. Но в окружающих слоях осталось более низкое давление, железо там находится в жидком состоянии и течет, действуя как огромный генератор. Именно поток электропроводного жидкого железа создает магнитное поле, которое простирается далеко над поверхностью Земли, защищая нас от вредного излучения. Без него солнечный ветер снес бы атмосферу, и планета замерзла бы.

Есть основания полагать, что жизнь возникла на Земле уже через полмиллиарда лет после ее образования. Полмиллиарда лет — срок, конечно, долгий, но с точки зрения возникновения жизни на Земле кажется, что она с трудом дожидалась своего часа — почти сразу после появления океанов появилась и жизнь! Как именно это произошло, до сих пор тайна, но известно, что все началось с простейших микроорганизмов. Самые первые из них питались сульфатами, выделяемыми гидротермальными источниками. Затем постепенно, в течение следующего миллиарда лет или около того организмы эволюционировали, смогли использовать углекислый газ и с помощью фотосинтеза создавать кислород. Это заняло много времени, но в конце концов эти крошечные существа увеличили количество кислорода до уровня, на котором могли бы развиваться более сложные организмы, способные дышать кислородом. Все началось с простейших одноклеточных, и на данный момент на Земле представлен широчайший спектр существ, от бактерий и грибов до растений и животных.



ГОЛУБАЯ ПЛАНЕТА

Вода в изобилии присутствует на Земле, покрывая 71% ее поверхности. Наша планета — единственная из известных, где вода существует в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном.



ТВЕРДОЕ
У полюсов образуется лед



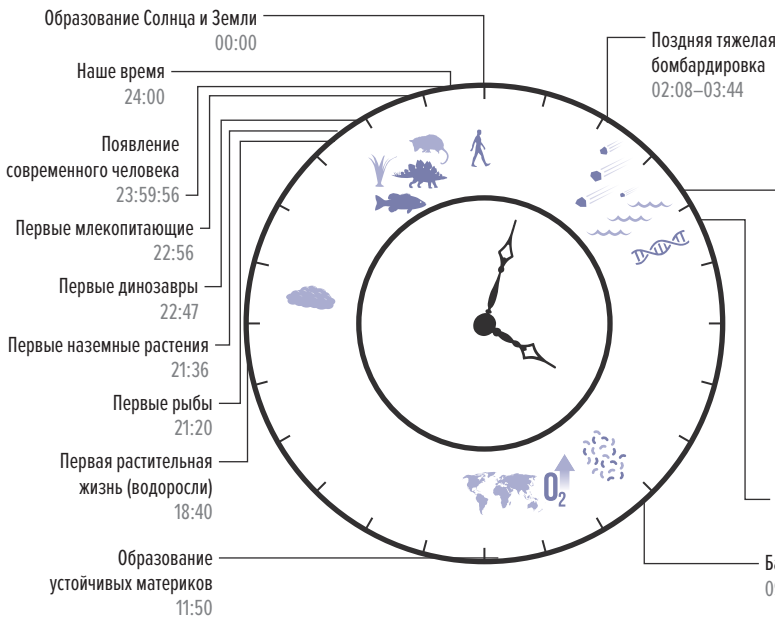
ЖИДКОЕ
Моря и океаны заполнены водой



ГАЗООБРАЗНОЕ
В атмосфере водяной пар конденсируется, образуя облака

ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ

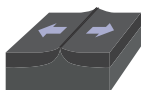
На часах показаны некоторые основные вехи истории Земли начиная с ее образования 4,6 миллиарда лет назад в 00:00 до современности (24:00 или 00:00 следующего дня). На этой шкале предки человека появляются на последней минуте, а современные люди — всего за 4 секунды до полуночи.



26

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПЛИТЫ

Литосфера Земли насчитывает семь крупных плит и множество более мелких. В зависимости от взаимного направления движения плит выделяют три типа границ между ними: дивергентные (границы между расходящимися плитами), конвергентные (границы между сходящимися плитами) и сдвиговые (границы между сдвигающимися друг относительно друга плитами).



ДИВЕРГЕНТНАЯ

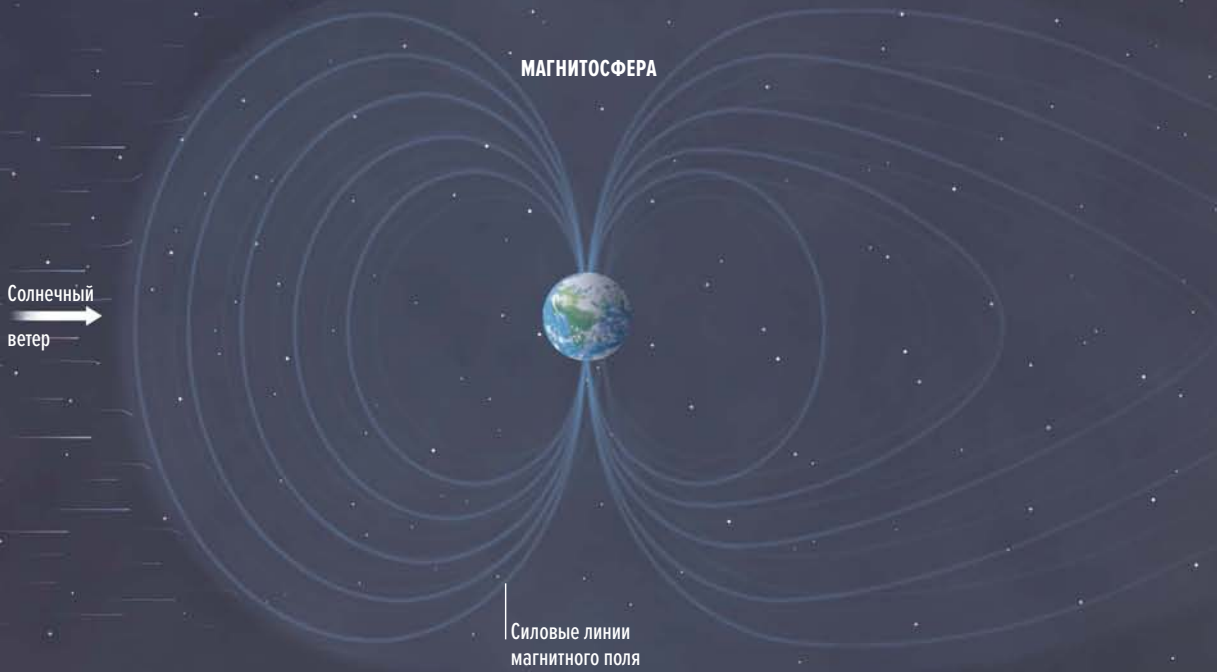


КОНВЕРГЕНТНАЯ



СДВИГОВАЯ



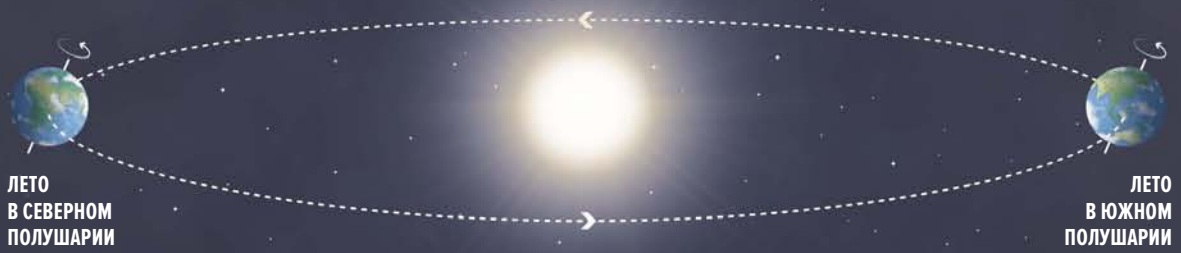


МАГНИТОСФЕРА

Магнитосфера — это область пространства, на которую влияет магнитное поле Земли. Оно защищает нас от солнечного ветра, отклоняя ионы и электроны от планеты. На дневной стороне Земли магнитосфера сжимается встречным солнечным ветром, а на ночной стороне ветер растягивает магнитосферу в длинный хвост.

ВРЕМЕНА ГОДА

Наклон оси вращения Земли к плоскости орбиты составляет $23,4^\circ$, в результате чего разные части земной поверхности получают больше или меньше солнечного света в зависимости от времени года. Это обстоятельство улучшает распределение тепла, предотвращает перегрев территорий и делает планету более пригодной для жизни.



Кометы

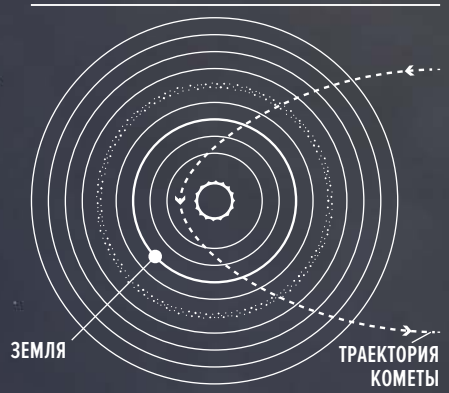
Итак, мы добрались до родной планеты и теперь можем взглянуть на некоторые из малых тел, встречающихся в нашей Солнечной системе. С ними следует ознакомиться, прежде чем отправляться дальше, поскольку наша планета нередко оказывается на пути этих малых тел. Малыми телами называют все объекты Солнечной системы, не являющиеся планетами, карликовыми планетами или естественными спутниками других планет, и их рассмотрение мы начнем с комет.

Твердое ядро кометы состоит в основном из водяного льда, а также мелких частиц камней и пыли. Эти «грязные снежки» представляют собой комки неправильной формы поперечником от сотен метров до десятков километров и происходят из самых дальних уголков Солнечной системы. На столь больших расстояниях малые тела не видны с Земли, но случайные возмущения поля тяготения меняют их траектории, иногда направляя кометы к планетам земной группы. В таком случае маленькая комета начнет нагреваться по мере приближения к Солнцу, и к тому времени, как она достигнет пояса астероидов, тепла будет достаточно для выделения газа. Помимо того, что ядро теряет массу, этот процесс создает вокруг кометы разреженную атмосферу, называемую комой. Именно благодаря коме комета заметна. Она выглядит размытой, у нее появляется хвост, направленный в сторону от Солнца, поскольку солнечное излучение и солнечный ветер «сдувают» газ из комы. Как и следовало ожидать, при приближении кометы к Солнцу из-за дальнейшего нагрева ее кома и хвост увеличиваются в размерах и становятся ярче. Но когда комета достигнет орбиты Марса, солнечный ветер становится настолько сильным, что из-за «сноса» атмосферы кома начинает уменьшаться, что приводит к увеличению длины хвоста. Обычно формируется и второй хвост, но состоит он не из газа, а из выброшенной кометой пыли. Твердые пылинки не так сильно подвержены воздействию солнечного ветра, как газовый хвост, который всегда прямой и направлен от Солнца. Пылевой же хвост изогнут; поскольку Солнце отклоняет его в меньшей степени, чем газ, он тянется вслед за кометой вблизи ее траектории. В отличие от планетных орбит орбиты комет эллиптические; кометы разворачиваются у Солнца, а затем уносятся в более отдаленные области Солнечной системы. Из-за особенностей их движения

кометы могут сиять всего несколько недель, а после исчезновения комы на тысячи лет погружаются во тьму. Кометы классифицируют по величине их орбитального периода: короткопериодические (с периодами менее 200 лет) и долгопериодические (проходят вблизи мимо Солнца с периодом от 200 до десятков миллионов лет). Орбиты короткопериодических комет расположены вблизи плоскости планетных орбит, в то время как наклоны орбит долгопериодических комет распределены гораздо более случайным образом, поскольку эти тела меньше подвержены воздействию планет. Бывает, комета движется с такой скоростью и под таким углом, что проходит мимо Солнца всего один раз, после чего оказывается полностью выброшенной из Солнечной системы. Эти оригиналы, гиперболические кометы, отправляются исследовать межзвездное пространство, чтобы никогда не вернуться.

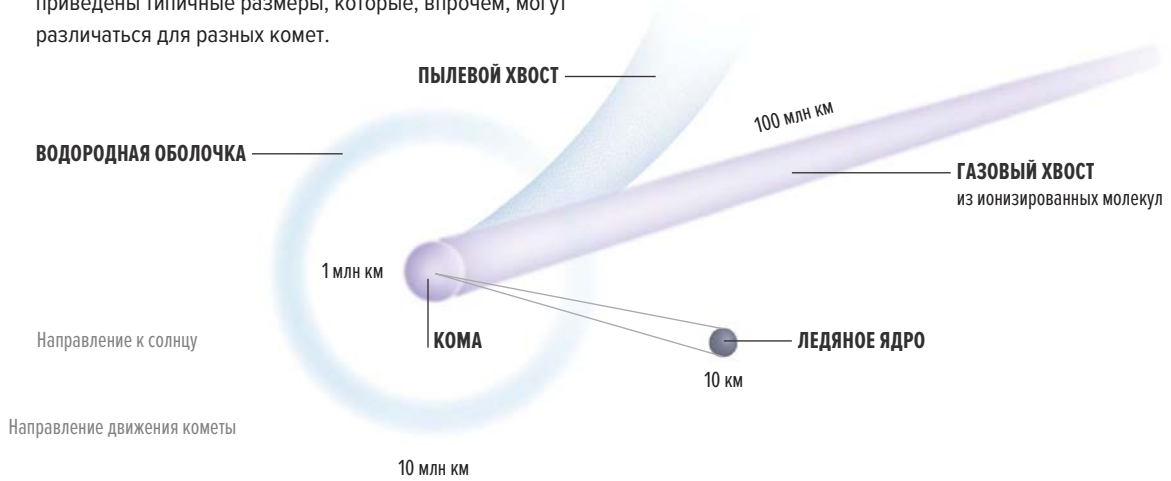
Многочисленные пролеты вблизи Солнца приводят к потере кометой воды. Такие потухшие кометы больше не светятся и становятся похожими на небольшие астероиды. Хотя время жизни кометы ограничено, в них нет недостатка; по оценкам, в облаке Оорта может находиться до одного триллиона кометных тел, ожидающих своего часа.





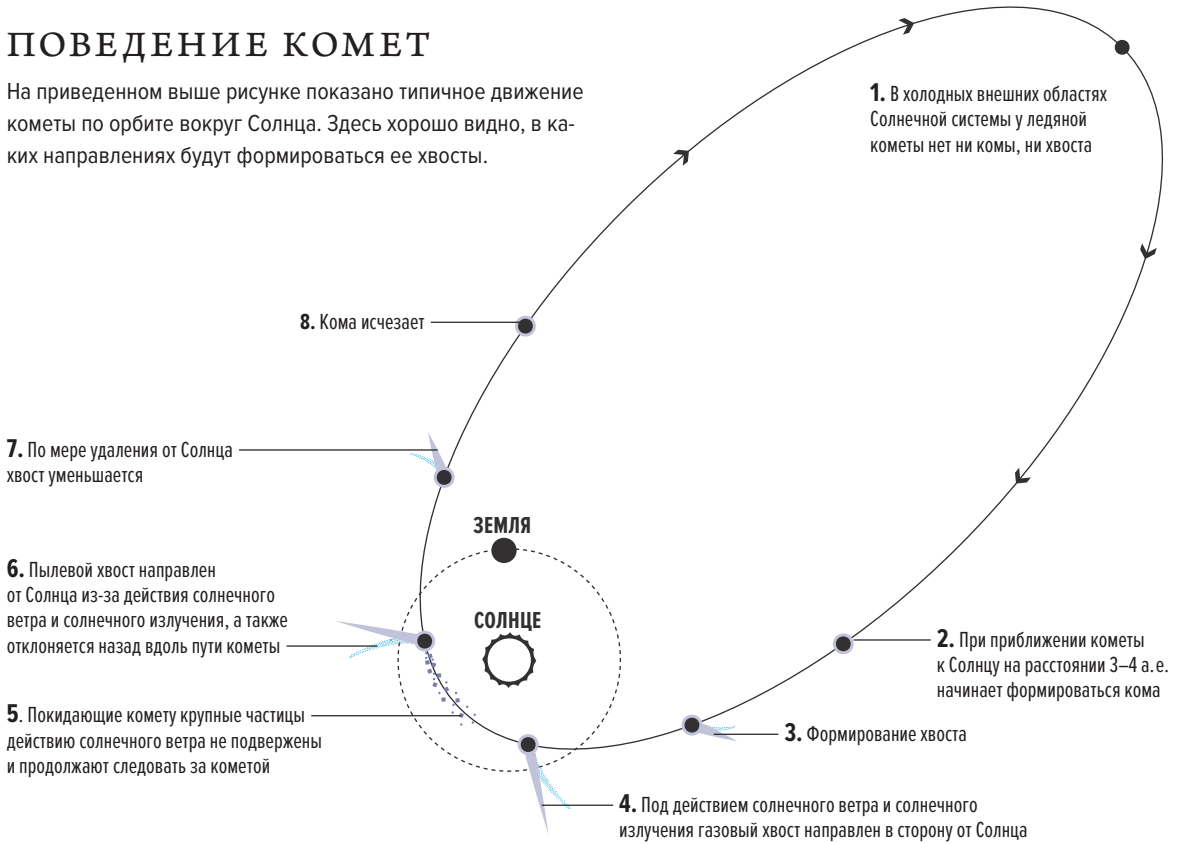
СТРОЕНИЕ КОМЕТЫ

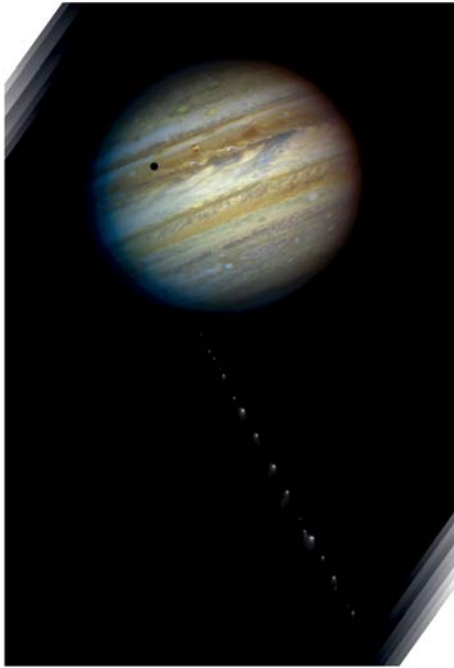
На рисунке изображены составные части кометы. Здесь приведены типичные размеры, которые, впрочем, могут различаться для разных комет.



ПОВЕДЕНИЕ КОМЕТ

На приведенном выше рисунке показано типичное движение кометы по орбите вокруг Солнца. Здесь хорошо видно, в каких направлениях будут формироваться ее хвосты.





На этом составном изображении, полученном космическим телескопом Hubble Space Telescope, видны фрагменты кометы Шумейкеров — Леви 9 до столкновения. Темная круглая отметка в верхнем левом углу Юпитера — это спутник Ио

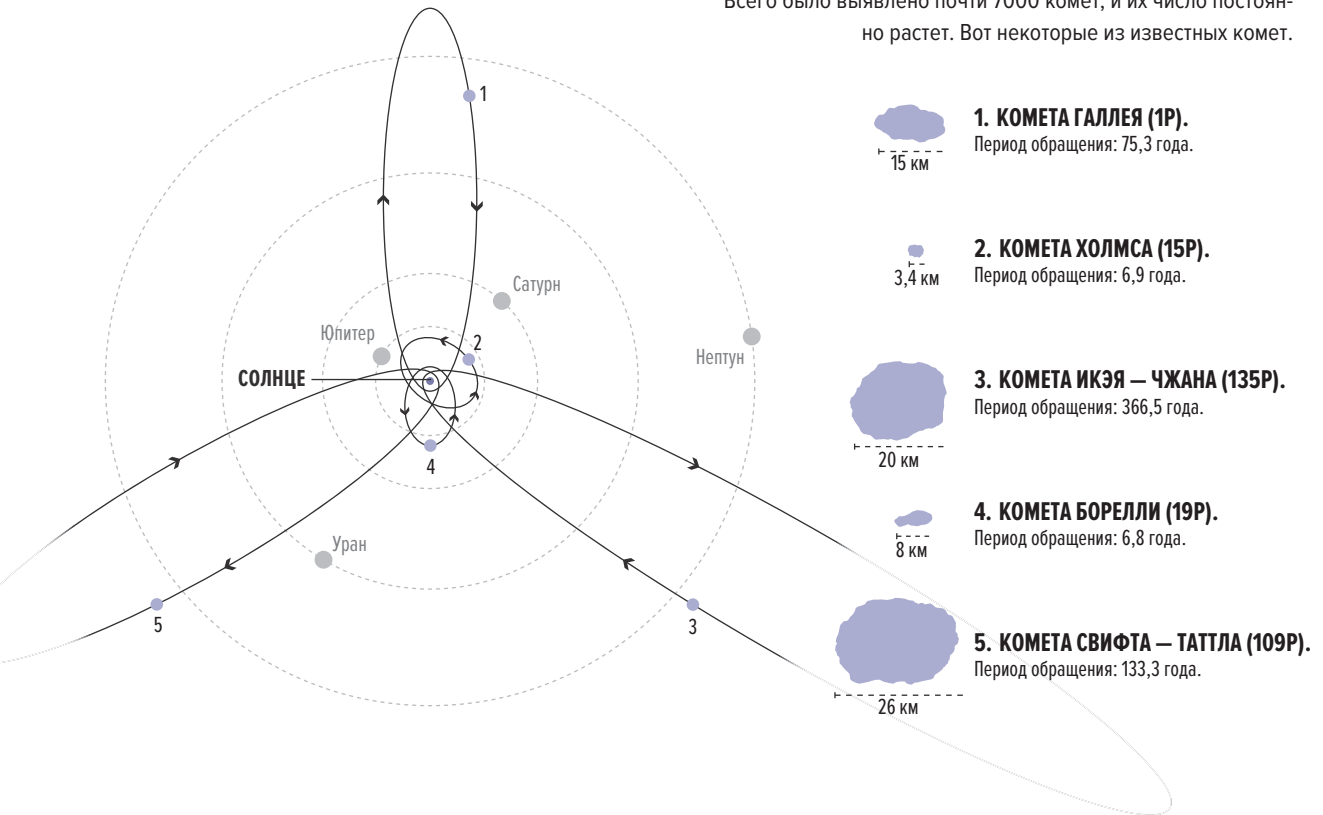
СТОЛКНОВЕНИЯ В КОСМОСЕ

В 1993 году была обнаружена комета Шумейкеров — Леви 9, но в отличие от всех других известных на тот момент комет она не обращалась вокруг Солнца, а была захвачена огромной силой притяжения Юпитера по крайней мере 20 лет назад, и расчеты показали, что ей суждено вскоре погрузиться в недра планеты. Наблюдая за кометой, астрономы обнаружили, что, оказавшись вблизи Юпитера, кометное ядро под действием очень сильного гравитационного поля планеты распалось на несколько фрагментов размером до 1,9 км.

Знание, что комета обречена на столкновение с планетой, дало астрономам прекрасную возможность подготовиться к столь знаменательному событию: наземные и космические обсерватории направили телескопы на Юпитер. В июле 1994 года произошло падение первого фрагмента, а затем в течение шести дней еще более 20 столкновений. При каждом столкновении наблюдались огненные шары с температурой свыше 23000 °С, а шлейфы газов выбрасывались почти на 3200 км над облаками. Самое мощное столкновение произошло через два дня и, по оценкам ученых, сопровождалось выделением энергии, эквивалентной шести миллионам мегатонн тротила и появлением темного пятна диаметром 12000 км. Хотя планета-гигант легко поглотила обломки, оставленные ими шрамы сохранялись в течение нескольких месяцев.

ИЗВЕСТНЫЕ КОМЕТЫ

Всего было выявлено почти 7000 комет, и их число постоянно растет. Вот некоторые из известных комет.



Метеорные тела, метеоры и метеориты

Помимо комет, которые время от времени озаряют наше небо, Солнечную систему населяют также бесчисленные более мелкие тела. Пояс астероидов, как следует из названия, является пристанищем большинства астероидов Солнечной системы, но мы доберемся до него только после того, как пролетим мимо Марса. Сейчас же рассмотрим метеорные тела — маленькие частички и камни, засоряющие межпланетное пространство.

32

МЕТЕОРНЫЕ ТЕЛА

Есть три основных типа метеорных тел: каменные, железные и железокаменные, а размеры их варьируются от едва заметных крупинок до валунов размером до метра в поперечнике. Частицы меньшего размера называются либо микрометеороидами, либо космической пылью. Большинство метеорных тел представляют собой фрагменты астероидов или комет, однако небольшая часть из них — это обломки, выброшенные с планет или спутников после столкновения.



КАМЕННЫЕ



ЖЕЛЕЗНЫЕ



ЖЕЛЕЗОКАМЕННЫЕ



МЕТЕОР

МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК

МЕТЕОРЫ

Известный в народе как падающая звезда, метеор — это метеорное тело, которое заметно нам во время его пролета через земную атмосферу. Метеорные тела обычно входят в атмосферу Земли со скоростью более 70000 км/ч и ослепительно сгорают из-за мощнейшего аэродинамического нагрева. Метеорные потоки состоят из частиц, оставленных пролетающими кометами. По мере движения кометы прокладывают за собой след из обломков, который может тянуться вдоль всей орбиты — проходя сквозь рой подобного рода метеорных тел, мы и наблюдаем поток.

33

МЕТЕОРИТЫ


Метеоры обычно сгорают в верхних слоях атмосферы и распадаются еще за 50 км до поверхности Земли. Однако если метеор достаточно большой (например, более 30 кг), то сгорают только внешние его слои. Упавшая на Землю оставшаяся центральная часть тела и есть метеорит.



МЕТЕОРИТ

СТОЛКНОВЕНИЯ, МЕНЯЮЩИЕ НАШ МИР

34

A large, dark, irregularly shaped meteorite is shown in the process of entering Earth's atmosphere. A bright, glowing white and yellow trail of ionized air (a meteor) extends from the meteorite towards the top right of the frame. The Earth's horizon is visible at the bottom, showing a thin layer of blue atmosphere and a dark, silvery ground surface. The background is a deep black space filled with numerous small, distant stars.

Атмосфера Земли защищает нас от мелких частиц, летящих из космоса, однако некоторые тела все же проходят сквозь нее. Подсчитано, что каждый год поверхности Земли достигают 500 метеоритов, причем 99% из них остаются незамеченными, ведь большинство из них падает либо в океан, либо в необитаемые районы, либо это происходит в такой день, когда их труднее обнаружить. Удивительнее то, что почти один раз в год в Землю врезается тело, при падении которого выделяется энергия, эквивалентная сброшенной на Хиросиму атомной бомбе. Но большинство из них также остаются незамеченными. Метеориты такого размера часто взрываются высоко в атмосфере, вызывая яркую вспышку и раскат грома, при этом земли достигают только более мелкие осколки.

За долгую историю Земли было много столкновений гораздо более мощных, чем упомянутые до сих пор. Падение самых крупных тел способно изменить судьбу планеты, иногда катастрофически воздействуя на геологию, климат и жизнь на ней. Эти столкновения вызывают множество ужасающих последствий: в атмосферу выбрасываются раскаленный пепел и пар, которые расходятся от места падения; часть выбросов уходит в космос, но вскоре снова возвращается на Землю, выпадая по всей планете, где из-за разогрева до очень высоких температур при прохождении через атмосферу она вызывает лесные пожары, порождает проходящие через всю планету ударные волны, землетрясения, извержения вулканов и цунами; и, конечно же, образуется гигантский кратер. К счастью для нас, чем крупнее падающее тело, тем меньше вероятность с ним столкнуться, поэтому пока что нас это бедствие миновало.

Конечно, космические камни падают не только на Землю. В Солнечной системе полным-полно свидетельств бесчисленных столкновений. И таких свидетельств на других каменных планетах (и спутниках планет) Солнечной системы куда больше, чем на Земле. За исключением Венеры с ее плотной атмосферой, на других каменных планетах космические шрамы сохраняются гораздо лучше, чем на Земле. Из-за постоянных сдвигов коры и дождей история «побоев» Земли скрыта от глаз, хотя и не полностью.

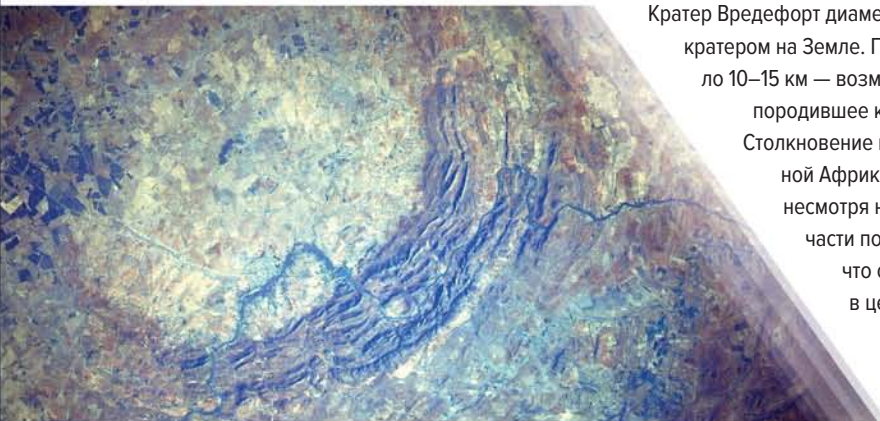
КРАТЕР ЧИКШУЛУБ

Именно здесь произошло столкновение, положившее конец эре динозавров (по крайней мере, на то указывают все данные). Расположенный на полуострове Юкатан у Мексиканского залива кратер Чикшулуб имеет диаметр 150 км. Сегодня большая его часть скрыта под водой, погребена под сотнями метров песка и отложений, а над уровнем моря осталось лишь несколько видимых деталей. Он образовался, когда тело диаметром не менее 11 км упало здесь 66 миллионов лет назад. В ходе последовавшего за этим массового вымирания погибло 75% всех существовавших на тот момент видов растений и животных.



КРАТЕР ВРЕДЕФОРТ

Кратер Вредефорт диаметром 300 км является крупнейшим ударным кратером на Земле. Породивший его астероид имел диаметр около 10–15 км — возможно, он был такого же размера, как и тело, породившее кратер Чикшулуб, но летел намного быстрее. Столкновение произошло на территории современной Южной Африки чуть более двух миллиардов лет назад, но, несмотря на огромный размер кратера, он по большей части почти целиком разрушился и выветрился. Все, что осталось, — кольцо холмов диаметром 70 км в центре места падения. Так называемый купол Вредефорта известен по снимку из космоса. Этот снимок был сделан с борта космического корабля Shuttle.



АРИЗОНСКИЙ КРАТЕР

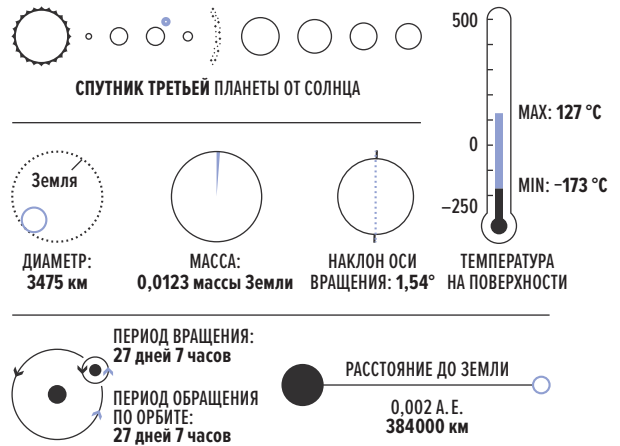
Этот кратер гораздо меньше вышеупомянутых, и следствием падения породившего его тела была катастрофа местного, никак не планетарного масштаба. Однако его история заслуживает особого внимания, так как речь идет о первом кратере на Земле, для которого установлено ударное (метеоритное) происхождение. Кратер имеет диаметр 1200 м и глубину 170 м и расположен в Аризоне, где в условиях сухой пустыни он сохранил свой первоначальный вид.



Луна

36





Перед тем как отправиться на другие планеты, задержимся ненадолго на Луне. Она обращается вокруг Земли на расстоянии 384400 км — рукой подать по космическим меркам. И пока это единственное помимо Земли небесное тело, на котором побывали люди.

Спутник Земли Луна — первый, с которым мы встречаемся в начале нашего путешествия по центральной части Солнечной системы. Меркурий и Венера находятся слишком близко к Солнцу, поэтому естественных спутников иметь не могут. Если бы спутники вращались вокруг этих планет на большом расстоянии, то были бы захвачены полем тяготения Солнца и втянуты в огонь, а спутники, обращающиеся слишком близко к этим планетам, были бы разорваны приливными силами.

Считается, что Луна образовалась вскоре после рождения Солнечной системы, примерно через 100 миллионов лет, когда объект размером с Марс столкнулся с нашей тогда еще молодой планетой. В результате мощнейшего удара часть вещества с Земли оказалась выброшена в околоземное пространство, где оно «слиплось» и образовало Луну. В момент образования размер орбиты Луны составлял лишь треть от нынешнего, и с тех пор она удаляется от нас со скоростью около 4 см в год. Будучи еще молодой, Луна вращалась быстрее, но приливные силы постепенно замедлили ее вращение. В результате получилось то, что мы видим сегодня: знакомый каждому лик Луны, всегда обращенный к Земле одним и тем же полушарием.

Еще одна привычная особенность Луны — ее фазы, то есть изменение внешнего вида из-за того, что по мере движения по орбите вокруг нас освещенными

оказываются разные части светила. Период от одного полнолуния до другого составляет около 29,5 дня, поэтому регулярная смена фаз стала основой многих древнейших календарей мира: так, и наши 30-дневные месяцы основаны на лунном цикле.

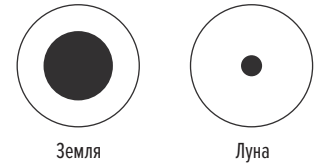
По размеру относительно своей планеты Луна является самым крупным спутником Солнечной системы (а по абсолютному размеру занимает почетное пятое место). Из-за этого поле ее тяготения оказывает значительное влияние на Землю, в первую очередь на уровень моря. Поле тяготения Луны порождает в Мировом океане «горбы» — один на стороне, обращенной к Луне, а другой на противоположной, что приводит к двум приливам и двум отливам каждые 24 часа.

После столкновения, в результате которого образовалась Луна, оба небесных тела нагрелись до температуры более 1000 °С. Луна, из-за своего маленького размера, остыла первой, и последние извержения вулканов на ней произошли более миллиарда лет назад. Однако с геологической точки зрения она не вполне мертва. По мере изменения расстояния до Земли (орбита Луны слегка эллиптическая) меняются и действующие на нее силы притяжения, а также создаваемые Солнцем приливные силы. В результате поверхность Луны расширяется на 10 см каждые 27 дней, что приводит к накоплению напряжений под поверхностью. Напряжения высвобождаются в виде лунотрясений, которые гораздо менее сильны и происходят гораздо реже землетрясений на нашей планете. Лунотрясения стали неожиданным открытием ученых программы Apollo, которые обнаружили их с помощью сейсмометров, оставленных на поверхности Луны.

СОСТАВ ЛУНЫ

По сравнению с Землей железное ядро Луны очень маленькое, что согласуется с теорией о происхождении спутника в результате столкновения, в соответствии с которой часть вещества внешних слоев Земли оказалась выброшенной на околоземную орбиту, а ядро нашей планеты осталось нетронутым. По этой причине Луна состоит в основном из богатых кремнием пород, имеющих в мантии и коре Земли, и почти не содержит железа.

СРАВНЕНИЕ ЯДЕР



Земля

Луна



Приближающееся тело

Столкновение

Обломки на орбите Земли

Агломерация обломков

Образование Луны

ПРИЛИВЫ И ОТЛИВЫ НА ЗЕМЛЕ

Поскольку сила притяжения уменьшается с увеличением расстояния, ее величина различна для различных частей обращаемого вокруг центрального тела объекта. Как сказано выше, твердые тела могут вытягиваться под действием приливных сил. Если на поверхности планеты есть жидкость, как на Земле, то под действием приливных сил там возникают приливы и отливы.

Луна сильнее притягивает воду на обращенной к ней стороне Земли, и возникает прилив.

На противоположной стороне планеты Луна притягивает воду слабее, и тоже наблюдается прилив.

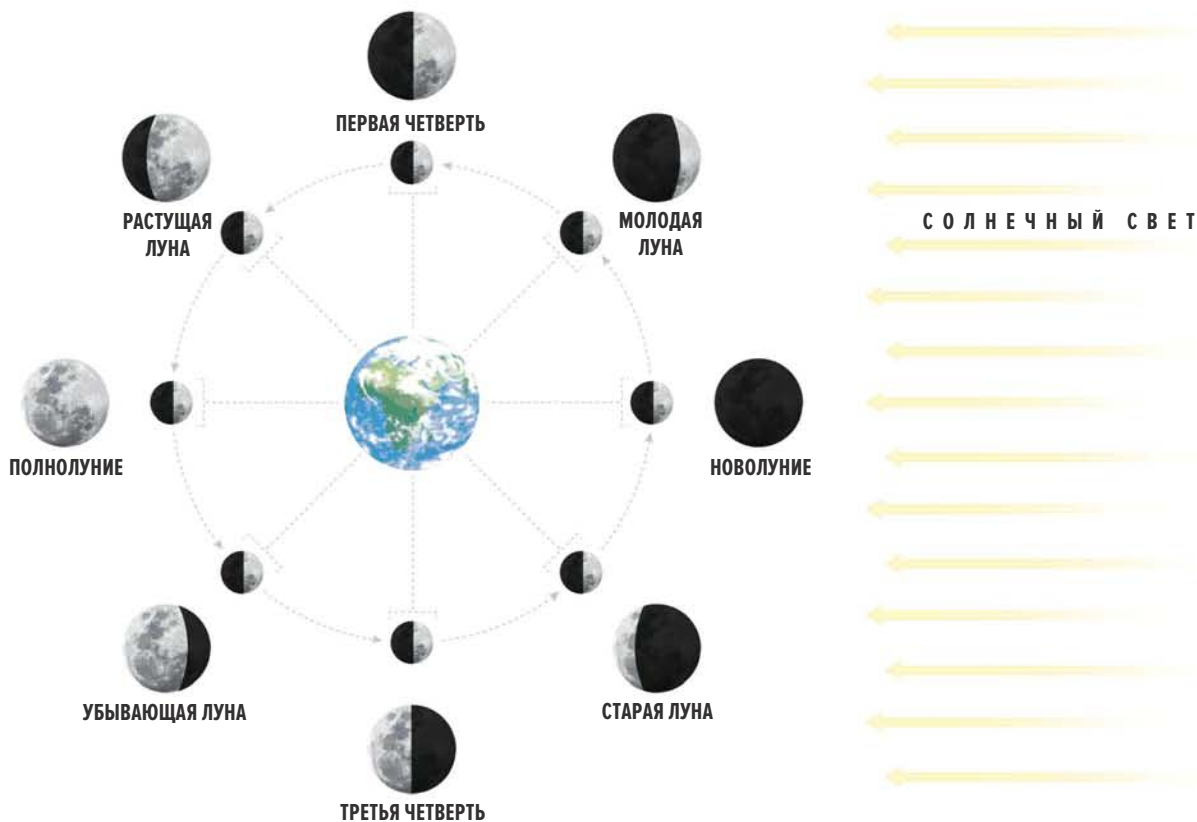


ИССЛЕДОВАНИЯ

Луна — единственное небесное тело, которое человечество посетило лично. В рамках программы Apollo в конце 60-х — начале 70-х годов НАСА успешно осуществило шесть полетов, причем время пребывания на Луне с каждым разом становилось все более продолжительным. Во время последней миссии два астронавта провели на поверхности Луны более трех полных суток.

ФАЗЫ

По внутренней окружности видно, как освещаются различные области Луны при движении по орбите вокруг Земли. Внешняя же показывает, как мы видим Луну с Земли.



39

КРАТЕРЫ

Кратеры на Луне почти круглые, как и на других телах Солнечной системы. Не странно ли? Ударные тела могут прилетать под любым углом, и было бы логично предположить, что они оставят полосы на поверхности, вгрызаясь в грунт. На самом деле, когда метеорит врывается в небесное тело, то из-за вызванного ударом сильного нагрева и сам метеорит, и породы в месте столкновения испаряются. Мгновенное выделение газа под поверхностью небесного тела приводит к взрыву, взрывная волна распространяется равномерно во все стороны и оставляет после себя кратер, во много раз превышающий размеры первоначального ударного тела.



На Луне, где нет атмосферы, ничто не может замедлить движение даже самых маленьких объектов, поэтому процесс образования кратера начинается с контакта тела с грунтом



Упавшее тело проникает под поверхность и сильно сжимается вместе с расположенным под ним грунтом. Большая его часть испаряется, из-за чего происходит взрыв и выброс вещества из места удара



В зависимости от силы тяжести и размеров ударного тела внутри кратера может образоваться так называемая центральная горка. Это результат вертикального выброса расплавленной породы после первоначального удара



Расплавленная порода опускается на дно кратера, а отвесные стены обрушиваются внутрь, образуя ступенчатые стены. В больших кратерах оставшаяся центральная горка также может иметь ступенчатую форму

МИНИ-ЛУНЫ

Известно, что вокруг Солнца обращаются тысячи астероидов, орбиты которых пересекают земную орбиту. Время от времени такие тела захватываются притяжением системы Земля — Луна, выходя на неустойчивые орбиты. По оценкам специалистов, в любой момент на околоземной орбите временно находятся один или два объекта размером со стиральную машину и около тысячи объектов размером с теннисный мяч.





Мини-луны редко задерживаются около нас дольше года; побродив вокруг Земли, они обычно или оказываются выброшенными обратно на околосолнечную орбиту, или устремляются к Земле в виде метеоров.

СПУТНИКИ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Здесь представлены все известные спутники планет Солнечной системы. По мере накопления знаний о Солнечной системе, по-видимому, будут открыты новые спутники у планет-гигантов.

 **МЕРКУРИЙ: 0**

 **ВЕНЕРА: 0**

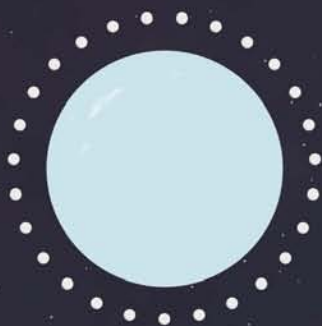
 **ЗЕМЛЯ: 1**

 **МАРС: 2**

 **ЮПИТЕР: 79**



САТУРН: 82



УРАН: 27



НЕПТУН: 14



ПЛУТОН: 5
(карликовая планета)

Марс

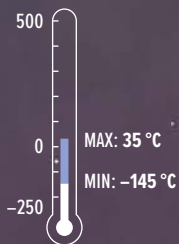
Марс — четвертая планета от Солнца и последняя каменная планета на нашем пути. Названный в честь бога войны, Марс имеет кровавый цвет. Красноватый оттенок планеты обусловлен богатой железом пылью, которая покрывает большую часть ее поверхности. Несмотря на совершенно другой цвет и в два раза меньший диаметр, Марс более всех других планет Солнечной системы похож на Землю.

По-видимому, на Красной планете все начиналось почти так же, как на Земле. Молодая планета была окружена плотной атмосферой и покрыта большим количеством воды. Дело в том, что, как и у Земли, у Марса когда-то имела мощная магнитосфера, защищавшая его поверхность от опасного излучения, но около 4 миллиардов лет назад магнитное поле планеты почти полностью исчезло. Поточные движения в жидком железном ядре планеты прекратились, но причина этого остается неизвестной. Согласно одной из теорий, из-за меньшего размера Марс остыл раньше, и его ядро сейчас уже почти полностью отвердело, хотя это пока еще окончательно не доказано. Тем не менее вслед за потерей Марсом магнитосферы последовала также и потеря значительной части атмосферы, молекулы которой были унесены солнечным ветром. В результате уменьшилось атмосферное давление, что сделало невозможным существование воды на поверхности планеты в жидкой фазе, планета стала холодной и безводной. В настоящее время напряженность магнитного поля Марса составляет менее 1% напряженности земного магнитного поля, и оно практически никак не защищает поверхность планеты.

Хотя Марс проходит не так близко к Земле, как Венера, он представляется нам более благоприятным местом для исследования: условия на нем гораздо менее суровые и опасные, чем на нашей планете-сестре. Вода на Марсе есть, но не в жидком виде, большая ее часть заключена в ледяные шапки на полюсах, а часть содержится в виде пара в атмосфере. На поверхности осталось множество свидетельств наличия потоков воды в прошлом: остатки водопадов, донного рельефа, рек и каналов — все давно высохшие — являются доказательством того, что когда-то планета была совсем другой, возможно, столь же голубой, как и наша. В спокойные дни по бесплодному ландшафту изредка проплывают

облака, похожие на перистые, состоящие из кристаллов льда, но погода на Марсе переменчива. Пыльные бури, от небольших до очень мощных, охватывающих всю планету, случаются довольно часто. Эти явления трудно прогнозировать, поэтому они составляют большую проблему для создателей посадочных аппаратов. Сложно предсказать скорость спуска аппаратов, и многие из них вместо запланированной мягкой посадки разбиваются о марсианскую поверхность.

Еще одно сходство Марса с Землей — состав атмосферы. Марсианский воздух состоит из углекислого газа, азота и аргона, присутствующих также и в нашей атмосфере. Однако в отличие от земной атмосферы в марсианском воздухе почти нет кислорода; у нас его в изобилии производят растения в результате фотосинтеза, но на Марсе растительность отсутствует. Марсианская атмосфера очень разреженная, поверхность планеты быстро остывает в ночное время. Продолжительность марсианских суток близка к нашей — 24 часа 37 минут, при этом дневная температура достигает максимум 20 °С, а ночью опускается до -140 °С, что примерно на 50 °С холоднее, чем в самой холодной точке Антарктиды.



ДИАМЕТР:
6779 км



МАССА:
0,107 массы Земли



НАКЛОН ОСИ
ВРАЩЕНИЯ: 25,19°

ТЕМПЕРАТУРА
НА ПОВЕРХНОСТИ



ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ:
24 часа 37 минут

РАССТОЯНИЕ ДО СОЛНЦА



1,52 А. Е.
228 млн км

Земля

ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ
ПО ОРБИТЕ:
686 земных суток 23 часа



ЛЕД НА МАРСЕ

Наклон оси вращения Марса не слишком отличается от земного, и в результате на Марсе наличествует смена времен года. Как и на Земле, на Марсе имеются полярные шапки льда, которые уменьшаются зимой и увеличиваются летом, причем южная ледяная шапка больше северной. Если бы на Марсе могла существовать вода в жидкой фазе, то ее количества в южной ледяной шапке было бы достаточно, чтобы покрыть всю планету 11-метровым слоем.

ЗИМА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ



Больше льда на северной ледяной шапке

ЗИМА В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ



Больше льда на южной ледяной шапке

ГОРА ОЛИМП

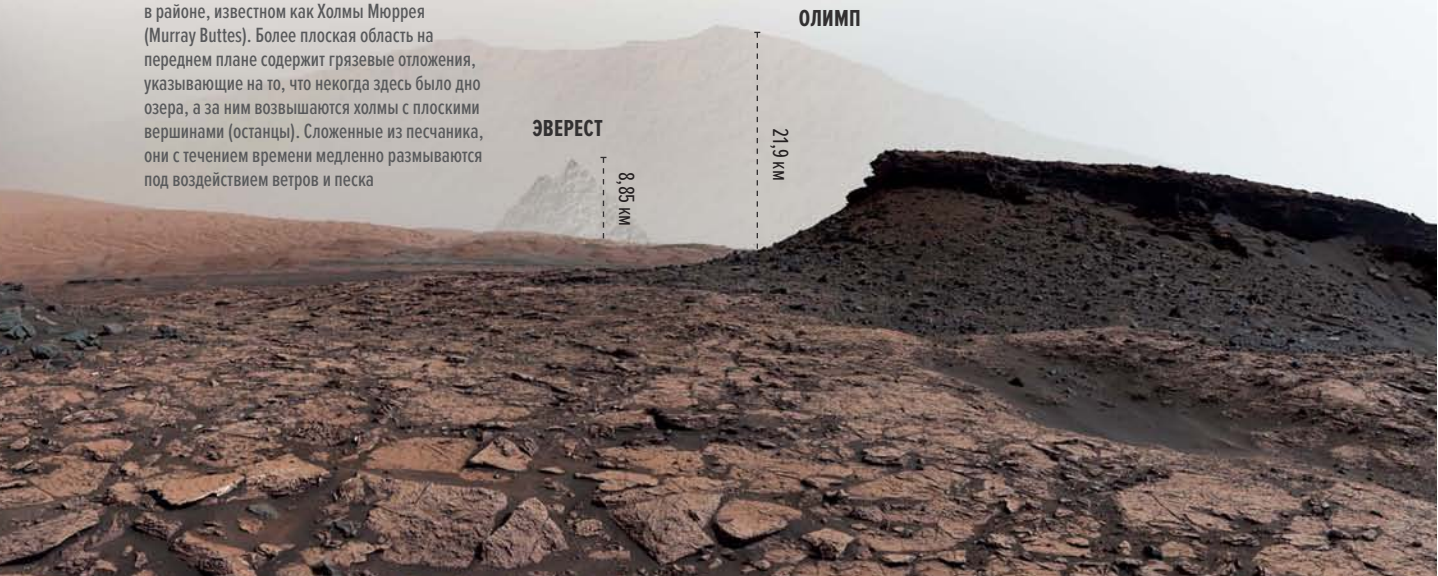
По большей части марсианский ландшафт характеризуется вулканическими образованиями. На Марсе обнаружены потоки лавы, вулканические равнины и крупнейшие вулканы Солнечной системы. Хотя с предыдущего периода сильной вулканической активности минуло не менее двух миллионов лет, ученые не уверены, что это было последнее ее проявление.

Самая высокая гора, образовавшаяся в результате вулканической активности на Марсе, — Олимп. Она почти в два с половиной раза выше Эвереста и является самой высокой горой во всей Солнечной системе. Вулканы на Марсе могут подниматься выше, чем на Земле — из-за более слабого притяжения образуются магматические камеры большего объема и более длинные потоки лавы. Кроме того, поскольку на Марсе отсутствует движение тектонических плит, вулканы извергаются в одном и том же месте в течение миллионов лет. На Земле горные цепи возникают в результате сдвиговых движений земной коры.

46

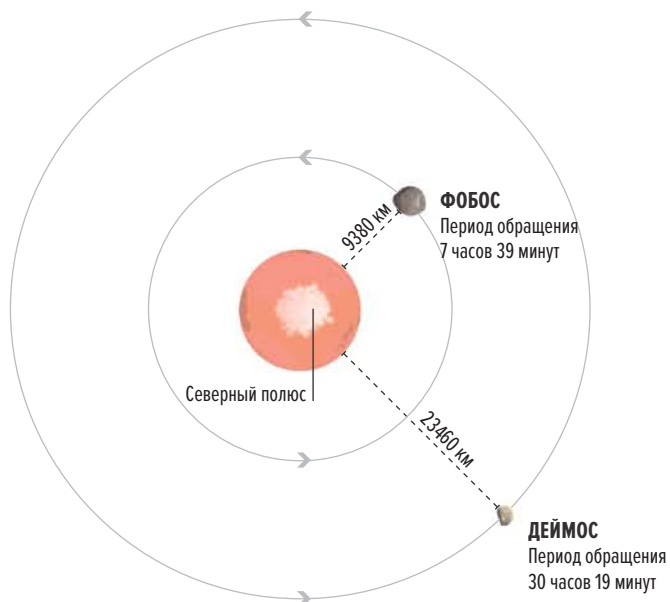


Снимок пейзажа внизу страницы был получен марсоходом НАСА Curiosity 4 сентября 2017 года в районе, известном как Холмы Мюррея (Murray Buttes). Более плоская область на переднем плане содержит грязевые отложения, указывающие на то, что некогда здесь было дно озера, а за ним возвышаются холмы с плоскими вершинами (останцы). Сложенные из песчаника, они с течением времени медленно размываются под воздействием ветров и песка



СПУТНИКИ МАРСА

У Марса два спутника, Фобос и Деймос, оба маленькие, неправильной формы. Согласно одной из теорий о причинах их происхождения, они были астероидами, которые прошли так близко к Марсу, что оказались захвачены его гравитацией. Более крупный Фобос обращается вокруг планеты на высоте менее 10000 км над поверхностью, и с каждым прошедшим столетием эта величина уменьшается на два метра. В какой-то момент в будущем он достигнет предела Роша и распадется на фрагменты, возможно, породив при этом систему колец, подобную той, что есть у Сатурна.



ФОБОС



22,5 км

ДЕЙМОС



12,4 км

Фобос и Деймос — имена сыновей Ареса, греческого бога войны, которые вместе с отцом сражались в битвах. Фобос олицетворяет страх, а Деймос — ужас

47

ОБЛАКА ПЫЛИ

Помимо частых спиралевидных пылевых торнадо, пронсящих по марсианской поверхности, на планете регулярно возникают гораздо более масштабные пылевые бури. Шлейфы пыли могут достигать 1 км в высоту и опоясывать всю планету. В течение недель или месяцев, пока эти бури длятся, освещенность поверхности Марса снижается, и мы не можем видеть его рельеф.

Рельеф поверхности просматривается



Июнь 2001

Буря скрывает очертания рельефа



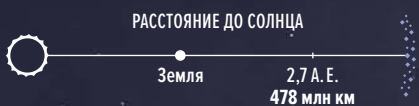
Сентябрь 2001


(снимки сделаны телескопом Hubble)

Пояс астероидов



МЕЖДУ ЧЕТВЕРТОЙ И ПЯТОЙ ПЛАНЕТАМИ ОТ СОЛНЦА





В конце XVIII века астрономы начали искать планету в пространстве между Марсом и Юпитером. Постепенно в этой зоне были обнаружены небольшие тела, обращающиеся вокруг Солнца, но слишком маленькие, чтобы считать их планетами. К середине XIX века подобные объекты стали обнаруживаться все чаще, и ученые пришли к выводу, что в данной области Солнечной системы находится не планета, а россыпь обломков.

Идея о существовании планеты между Марсом и Юпитером была первоначально предложена немецким астрономом Иоганном Кеплером в 1596 году на основании того, что расстояние между двумя вышеупомянутыми планетами слишком велико. Расстояния между всеми известными в то время планетами соответствовали математической закономерности, известной как правило Тициуса — Бодде, которое гласит, что каждая планета будет находиться примерно в два раза дальше от Солнца, чем предыдущая. Толчком к поиску «пропавшей» планеты послужило открытие Урана в 1781 году — его расстояние от Солнца почти идеально соответствовало математическим предсказаниям. Со вновь обретенной уверенностью в правиле Тициуса — Бодде астрономы воодушевленно приступили к поискам планеты.

Первым объектом, обнаруженным внутри того, что мы сейчас называем «поясом астероидов», была Церера (1801). Неудивительно, это самый большой объект в поясе астероидов, но довольно маленький по сравнению с истинными планетами. Всего через год после открытия Цереры был обнаружен еще один объект, Паллада, обращающийся вокруг Солнца на таком же расстоянии. При наблюдении в первые телескопы эти небесные тела выглядели как крошечные светящиеся точки, похожие на звезды, расположенные очень далеко. На самом деле единственной характеристикой, отличавшей их от звезд, была скорость, с которой тела перемещались по небу. Именно из-за их видимого сходства со звездами мы используем слово «астероид», которое в переводе с греческого буквально означает «похожий на звезду». Прошло пять лет после нахождения Паллады, когда были обнаружены еще два крупнейших объекта пояса. По мере того как улучшалась способность обнаруживать все более мелкие объекты, расширялся и список известных астероидов — сегодня их насчитывается более миллиона.

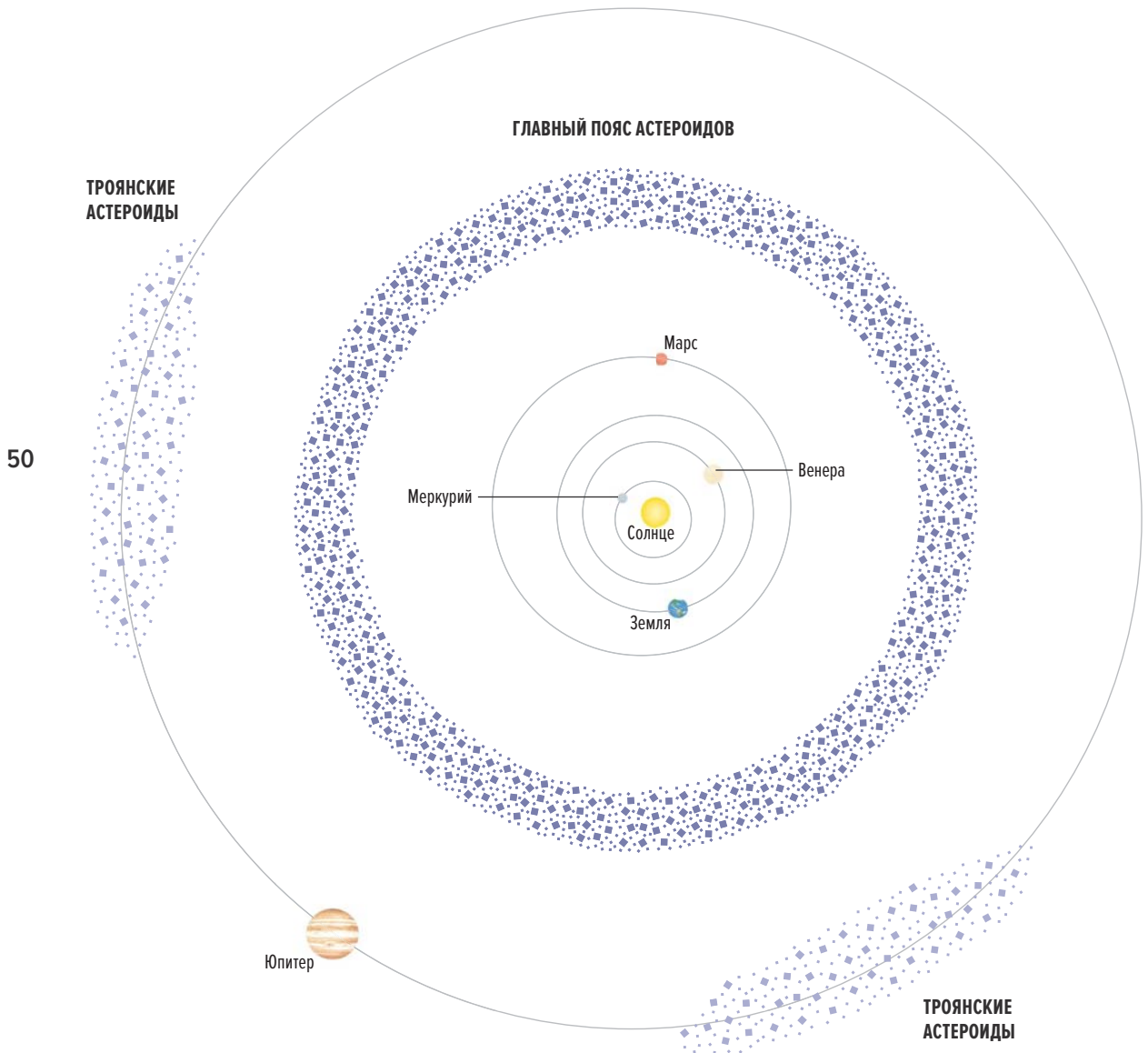
Несмотря на огромное их количество, пояс астероидов не так плотно заполнен, как принято считать. Например, весь пояс астероидов имеет массу, равную всего 4% от массы Луны, и эта масса рассеяна на очень большой территории. Было подсчитано, что вероятность столкновения космического аппарата с астероидом при прохождении через пояс составляет менее одного случая на миллиард.

Астрономы считают, что на заре Солнечной системы пояс астероидов содержал примерно в 1000 раз больше вещества, чем сейчас. Однако из-за близости Юпитера каменные и металлические фрагменты не смогли соединиться в крупные тела, подобные внутренним планетам. Гравитационное влияние планеты-гиганта привело к тому, что столкновения в поясе были более сильными, и сталкивающиеся астероиды чаще дробились, чем объединялись в более крупные агломераты. Юпитер также периодически выталкивает астероиды из пояса, что объясняет постоянную потерю его массы.

Стоит отметить, что сегодня астрономы считают правило Тициуса — Бодде и его соответствие расположению некоторых планет не более чем совпадением. Открытие Нептуна и размер его орбиты совершенно не согласуются с этим правилом.

ПОЯС АСТЕРОИДОВ

Большинство астероидов находятся в главном поясе и обращаются вокруг Солнца за четыре-пять лет. Существует также две группы астероидов — так называемые троянцы, — которые движутся по орбите Юпитера: одна на 60° впереди планеты, а другая — на 60° позади. Порой поле тяготения Юпитера отклоняет астероид от устойчивой орбиты в главном поясе так, что его новая орбита может пролегать вблизи земной. Как правило, околоземные астероиды остаются на своей орбите всего несколько миллионов лет, после чего сталкиваются с Солнцем или другой планетой.



КРУПНЕЙШИЕ АСТЕРОИДЫ

Сила собственного тяготения Цереры (крупнейшего тела в поясе астероидов) достаточно велика, чтобы тело приобрело сферическую форму, и поэтому Церера считается карликовой планетой. Астероиды обычно становятся круглыми под действием собственного притяжения при диаметре около 600 км, хотя это зависит от их состава.



ЭВОЛЮЦИЯ АСТЕРОИДА

С астрономической точки зрения столкновения в поясе астероидов происходят часто, что приводит к различным последствиям.



Когда астероид вырастет до достаточно большого размера, распад радиоактивных элементов внутри него приводит к нагреву вещества до температуры плавления. Тяжелые элементы опускаются в центр, а легкие поднимаются над ними, образуя мантию и кору.



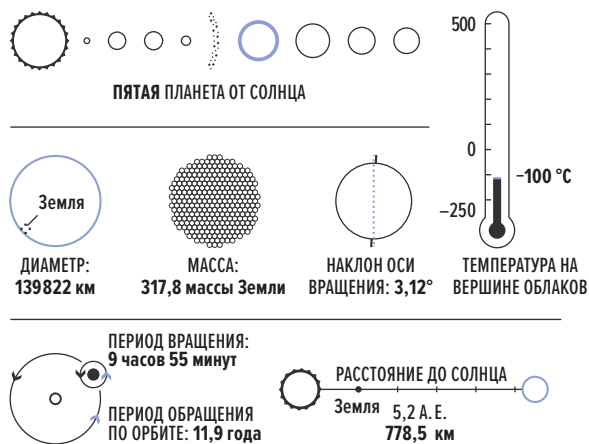
Юпитер

Оставив позади пояс астероидов, мы переходим во внешнюю часть Солнечной системы, к огромному Юпитеру. Эта планета, безусловно, самая грандиозная из ближайших к нам; ее масса почти в два с половиной раза превышает массу всех остальных планет, вместе взятых, и она настолько велика, что на ней могли бы уместиться 1300 таких планет, как Земля. Юпитер — царь планет, поименованный по главному из римских богов.

Юпитер — самый яркий объект на ночном небе после Луны и Венеры и потому был известен людям еще до начала письменной истории. У этой гигантской планеты много спутников. В настоящее время известно 79, хотя многие из них очень малы (63 спутника имеют диаметр менее 10 км). Однако самые крупные спутники Юпитера, известные как галилеевы спутники, являются одними из самых больших в Солнечной системе и были первыми обнаруженными людьми небесными телами, которые обращаются не вокруг Солнца*.

Спускаясь с орбит спутников к планете, обнаруживаем, что Юпитер, как и другие планеты-гиганты, не имеет твердой поверхности. Сначала заметны клубящиеся полосы облаков, которые окружают планету и в основном состоят из водорода и гелия, но с примесью более сложных газов. Облачный слой относительно тонкий — его глубина около 50 км. Под ним расположена атмосфера, состоящая преимущественно из водорода, чем ближе к ядру, тем выше ее давление и, соответственно, плотность, а на определенном уровне она переходит в жидкое состояние. Хотя это и не доказано, считается, что в центральной части планеты находится твердое ядро, состоящее из камня, металла и соединений водорода. Температура и давление вблизи этой области настолько высоки, что атомы водорода теряют свои электроны и ведут себя как жидкий металл. Электропроводность металлического водорода и его движение вокруг ядра создает магнитное поле, которое в 14 раз сильнее земного.

Несмотря на невероятный жар вблизи ядра планеты, температура на ее «поверхности» ниже $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. На таком расстоянии от Солнца небесные тела получают очень мало солнечного излучения. На самом деле Юпитер излучает в 1,7 раза больше тепла, чем получает от Солнца, что приводит к постепенному охлаждению планеты. Процесс охлаждения также вызывает медленное уменьшение планеты (примерно на 2 см в год).



Еще одна примечательная особенность Юпитера — скорость его вращения: один оборот он совершает всего за 9 часов 56 минут, на этой планете самый короткий день в Солнечной системе. Из-за столь быстрого вращения экватор планеты отчетливо «выпячен». Поскольку ось вращения Юпитера почти перпендикулярна плоскости орбиты, на планете нет выраженных времен года, а температура из-за внутреннего нагрева почти везде одинакова.

Хотя Юпитер — планета очень большая, до превращения в звезду ему еще далеко: чтобы стать красным карликом, самой холодной и тусклой из звезд, его масса должна быть в 80 раз больше. При такой массе давление и температура в его ядре повысятся настолько, что там запустятся реакции ядерного синтеза.

* Если не считать Луны. — Прим. ред.

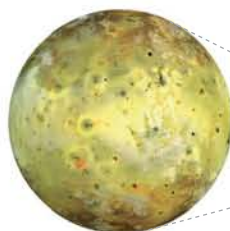


ГАЛИЛЕЕВЫ СПУТНИКИ

В 1610 году Галилей стал первым человеком, увидевшим спутники Юпитера. Получилось это благодаря усовершенствованному им же самим телескопу. Но, несмотря на то что спутников Юпитера так много, следующие из них были открыты только в 1892 году. Галилеевы же спутники — одни из самых крупных объектов (не считая Солнца и планет) в Солнечной системе.

ИО

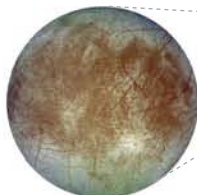
Будучи ближайшей к своей планете, Ио со всех сторон испытывает притяжение Юпитера и других его крупных спутников. Трение, нагрев и возникающие внутри напряжения приводят к тому, что Ио является самым геологически активным телом в Солнечной системе — на ней насчитывается более 400 вулканов



3643 км

ЕВРОПА

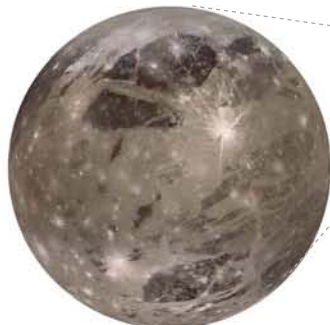
У Европы самая ровная поверхность из всех крупных тел Солнечной системы. Ее кора состоит из льда (более темные участки — это области с повышенным содержанием минералов), а под ней, возможно, скрывается океан из воды, которая находится в жидком состоянии из-за внутреннего разогрева недр спутника



3120 км

ГАНИМЕД

Крупнейший спутник планеты в Солнечной системе — по размеру он даже больше Меркурия. Ганимед — единственный спутник планеты с собственной магнитосферой, по-видимому, подобно земной магнитосфере, обязанной своим существованием жидкому железному ядру



5268 км

КАЛЛИСТО

На Каллисто отсутствуют признаки вулканической активности, и поверхность этого спутника самая старая и наиболее испещренная кратерами среди всех тел Солнечной системы. Там нет геологических образований — одни лишь кратеры на кратерах



4820 км

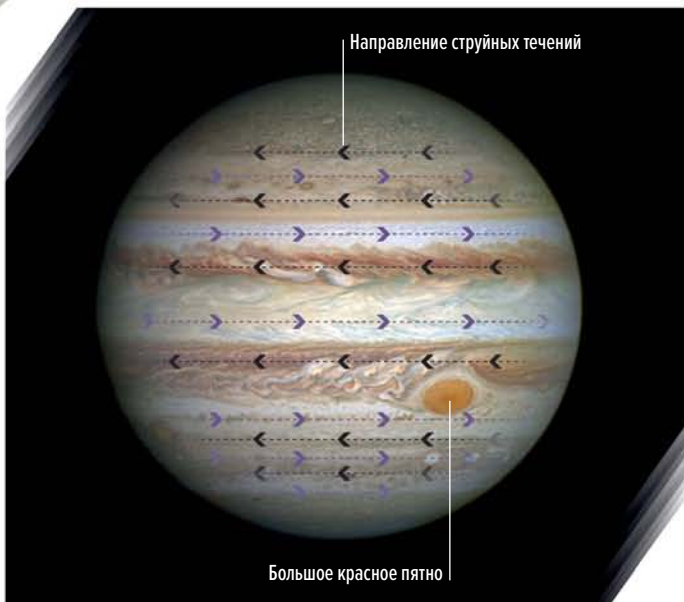
350 000 км

600 990 км

1 000 490 км

1 812 790 км

расстояние до верхней границы облаков Юпитера



СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

Турбулентные облака, постоянно окутывающие планету, несутся со скоростью до 360 км/ч. Более светлые полосы называются зонами, а более темные — поясами. Светлый цвет зон связан с тем, что мы наблюдаем облака кристаллизовавшихся частиц, которые закрывают нижележащие слои.

БОЛЬШОЕ КРАСНОЕ ПЯТНО

На поверхности Юпитера уже давно бушует ураган исполинских размеров, под стать самой планете. Большое красное пятно в два раза больше Земли, но в настоящее время его длина уменьшается более чем на 900 км в год. Астрономы не знают, будет ли оно и дальше уменьшаться, пока не исчезнет совсем, или это результат естественных колебаний.

СИСТЕМА ЮПИТЕР — СОЛНЦЕ

Юпитер настолько огромен, что центр масс системы Юпитер — Солнце расположен над солнечной поверхностью на расстоянии почти 50000 км.



КРУПНЫМ ПЛАНОМ

Этот снимок был сделан космическим аппаратом НАСА Juno 29 октября 2018 года во время шестнадцатого пролета над планетой. На снимке запечатлен Северный умеренный пояс — ближайший к северному полюсу планеты. Здесь можно во всех подробностях разглядеть мириады вихревых облаков, расположенных на высоте чуть более 7000 км над атмосферой.

Сатурн



ШЕСТАЯ ПЛАНЕТА ОТ СОЛНЦА



Земля

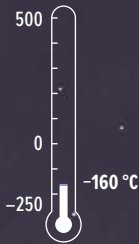
ДИАМЕТР:
116464 км



МАССА:
95,16 массы Земли



НАКЛОН ОСИ
ВРАЩЕНИЯ: 0,01°

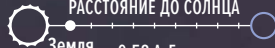


ТЕМПЕРАТУРА НА
ВЕРШИНЕ ОБЛАКОВ
-160 °C



ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ:
10 часов 33 минуты

ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ
ПО ОРБИТЕ: 29,5 года



РАССТОЯНИЕ ДО СОЛНЦА

Земля

9,58 А. Е.

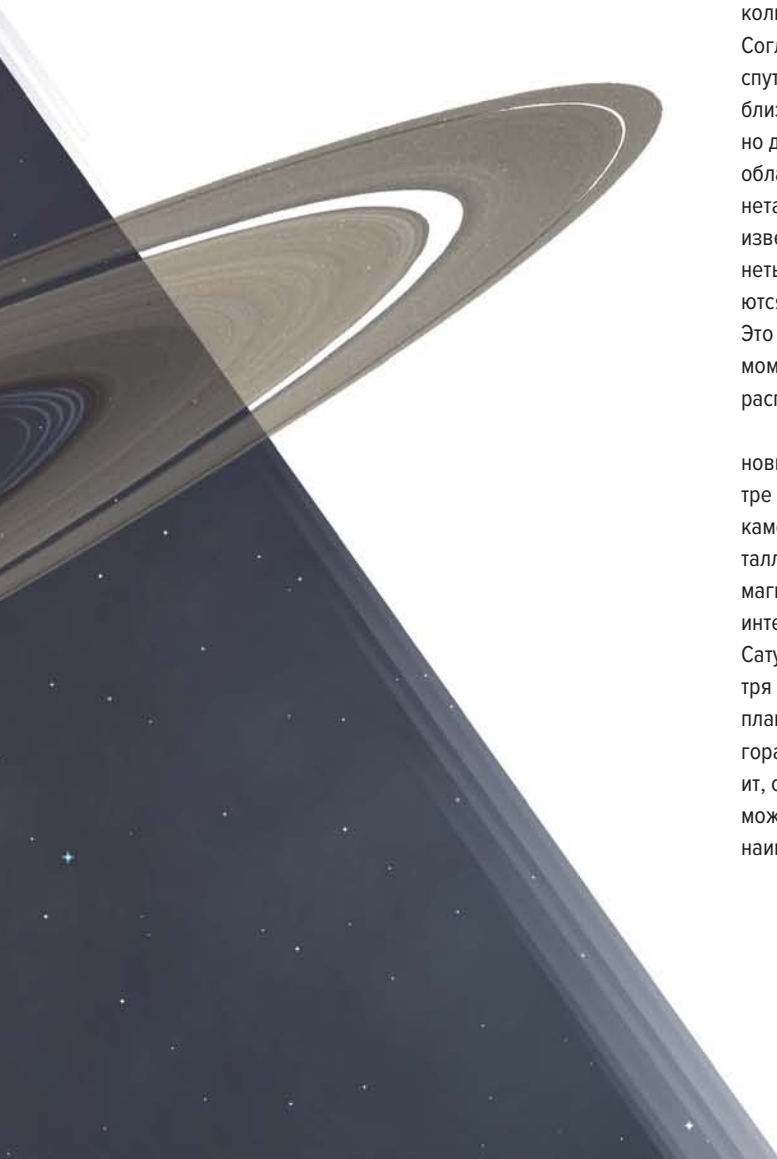
1,434 млрд км

Вторая планета-гигант, которую мы рассмотрим, — это Сатурн, настоящая жемчужина Солнечной системы. Эффектные кольца выделяют его среди других планет. Впрочем, аура величия внешним видом не исчерпывается: несмотря на то что внутри планеты может поместиться 764 земных шара, ее масса составляет всего 95 земных шаров. Малая плотность планеты, скользящей в пространстве, придает ей впечатление легкости, которое прекрасно дополняют ее изящные кольца.

Будучи самой удаленной от Земли планетой, известной людям с древности, Сатурн прокладывал свой путь по небу гораздо медленнее остальных. Предположительно, именно поэтому он был назван в честь Сатурна, римского бога времени. Сами римляне отождествляли Сатурн, свое божество, с греческим богом Кроносом, от имени которого произошли такие слова, как «хронология» и «хронометр».

Первым знаменитые кольца Сатурна заметил Галилей в 1610 году и описал их как ansae, или «ручки» (как у вазы). Он предположил, что, возможно, наблюдал тело с двумя спутниками, расположенными по обе стороны от планеты и обращающимися на очень близком расстоянии. При ограниченных возможностях его простейшего телескопа трудно было сделать какие бы то ни было дальнейшие выводы. Лишь в 1656 году голландский астроном Христиан Гюйгенс с помощью более совершенного телескопа установил, что обнаруженная Галилеем особенность является кольцом вокруг планеты. Прошло еще 20 лет, и благодаря дальнейшему совершенствованию телескопов выяснилось, что кольцо Сатурна не однородно, а состоит из множества отдельных колец. Первоначально кольца считались сплошными жесткими полосами вещества, но эта идея была опровергнута Эдуардом Рошем в 1848 году. Астрономам не удалось точно установить, как появились кольца Сатурна, но существует две основные теории. Согласно первой, кольца — это остатки разрушенного спутника Сатурна, который, возможно, подошел слишком близко и оказался разорван приливными силами. Согласно другой гипотезе, они являются остатками вещества из облака пыли и частиц, из которого сформировалась планета. Внутри колец есть несколько небольших спутников, известных как «пастухи», — они обращаются вблизи планеты. Под действием их гравитации кольца не расширяются все дальше в космос (отсюда и название «пастухи»). Это лишь небольшая часть из 82 известных на данный момент спутников Сатурна, орбиты большинства из них расположены за пределами видимой системы колец.

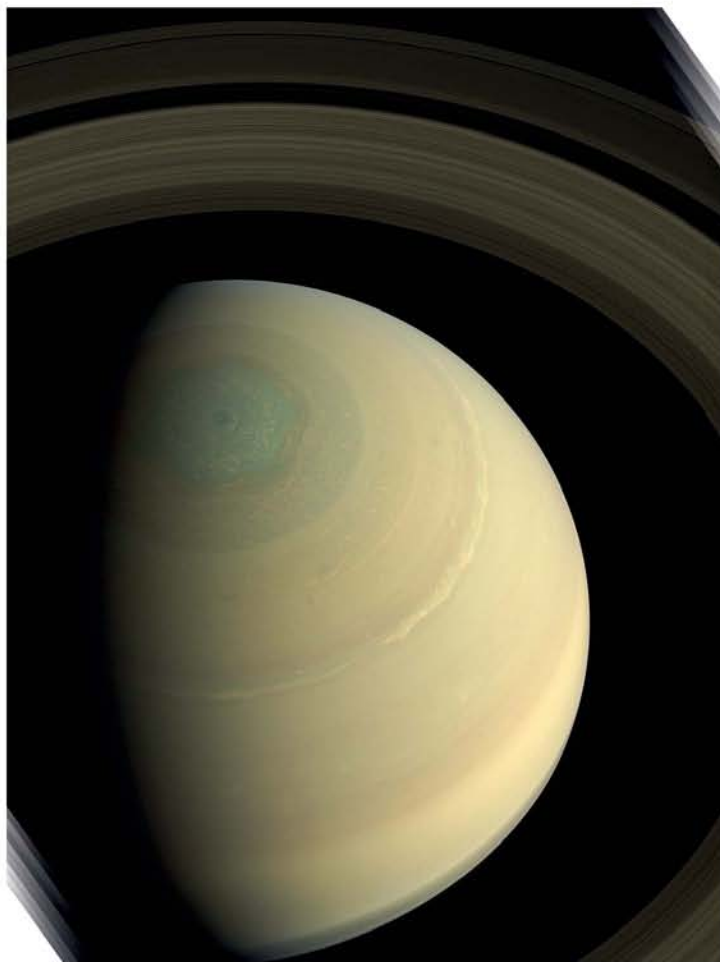
Состав Сатурна очень похож на состав Юпитера: в основном водород с небольшим количеством гелия, а в центре планеты, как предполагается, находится твердое каменное ядро. Как и у Юпитера, вокруг ядра течет металлический водород, но интенсивность создаваемого им магнитного поля составляет всего лишь одну двадцатую интенсивности поля главного газового гиганта. Плотность Сатурна существенно меньше плотности Юпитера, несмотря на в основном одинаковый состав вещества обеих планет. Из-за огромной массы Юпитера его гравитация гораздо сильнее, отчего вещество, из которого он состоит, сильно сжато. Тяготение на Сатурне слабее, и планета может немного расслабиться и расшириться. Сатурн — наименее плотная планета Солнечной системы.



НЕ ЕДИНСТВЕННЫЙ В СВОЕМ РОДЕ

Сатурн не единственная планета нашей Солнечной системы, у которой есть система колец: все четыре внешних планеты-гиганта также имеют кольца. Однако кольца Сатурна наиболее заметные, и их обнаружили еще в начале XVII века. Лишь в 1977 году были обнаружены кольца Урана, а наличие колец у Юпитера и Нептуна было подтверждено в 1979 и 1989 годах соответственно.

Кольца Сатурна очень тонкие — от десяти метров в отдельных местах до километра в самых плотных областях. Они представляют собой частицы размером от крошечных зерен до объектов метрового диаметра, состоящих из водяного льда с примесью каменных пород. По мере того как наблюдения за кольцами становились более детальными, исследователи поняли, что «кольцо» вокруг Сатурна неравномерно, местами оно более плотное, с щелями, и состоит из отдельных подколец (полос). Кольца А и В — самые плотные и наиболее заметные, в то время как остальные менее заметны.



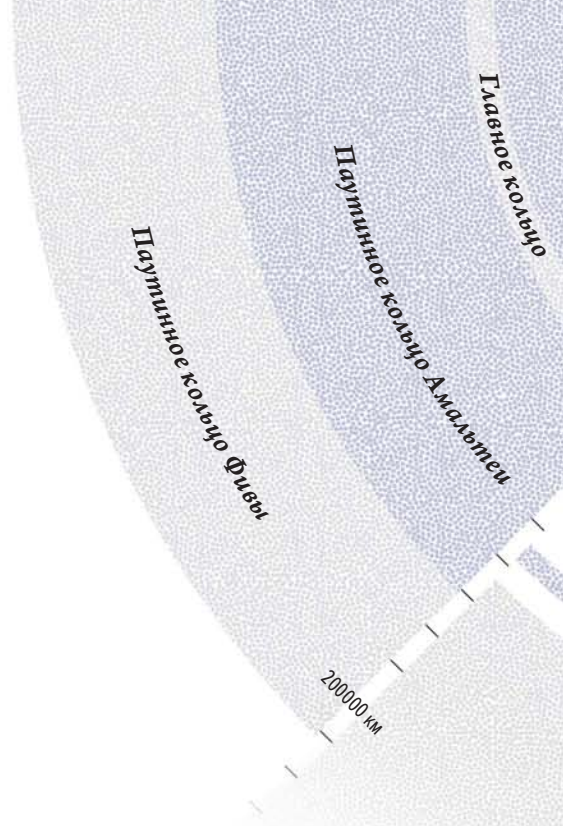
58

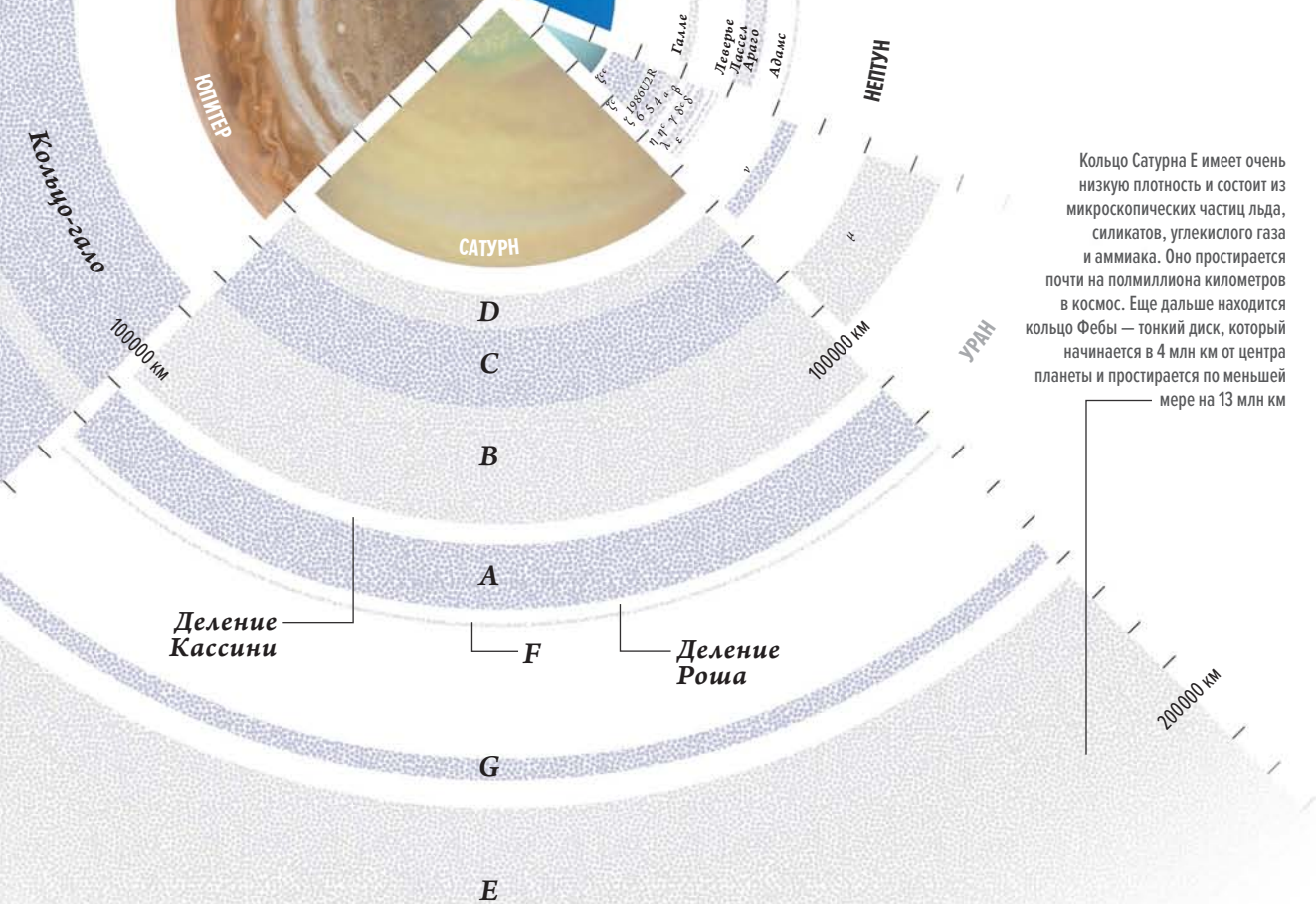
ТАИНСТВЕННЫЙ СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС

В 1981 году космические аппараты Voyager обнаружили на северном полюсе Сатурна шестиугольный узор, образованный облаками атмосферных газов. Каждая сторона шестиугольника составляет около 15000 км в длину. Это больше, чем диаметр Земли! Существует несколько теорий, объясняющих, почему этот атмосферный объект ведет себя именно так, при этом удалось воспроизвести аналогичный поток жидкости в лабораторных условиях.

Еще одна странная особенность шестиугольника, которая не получила полного объяснения, заключается в том, что он меняет цвет. В период с 2012 по 2016 год космический аппарат Cassini зафиксировал изменение его цвета с сине-зеленого на более золотистый.

Снимок, полученный Cassini 25 апреля 2016 года





Кольцо Сатурна Е имеет очень низкую плотность и состоит из микроскопических частиц льда, силикатов, углекислого газа и аммиака. Оно простирается почти на полмиллиона километров в космос. Еще дальше находится кольцо Фебы — тонкий диск, который начинается в 4 млн км от центра планеты и простирается по меньшей мере на 13 млн км

НЕ УТОНЕТ В ВОДЕ

Средняя плотность Сатурна, наименее плотного из всех планет, всего 0,69 грамма на кубический сантиметр — это единственная планета, плотность вещества которой меньше, чем плотность воды, составляющей 1 г на кубический сантиметр. Это означает, что если бы Сатурн был помещен в достаточно глубокий для этого океан, то он всплыл бы на поверхность.



Уран

По мере перехода к более темным и холодным областям Солнечной системы мы прибываем на Уран. Студеный голубой мир, без каких бы то ни было видимых деталей, может показаться на первый взгляд скучным и унылым, но на самом деле Уран таит много необычного и интересного. Главная причуда этой планеты — необычное вращение. В отличие от других основных тел Солнечной системы, которые крутятся как волчки, Уран вращается как бы лежа на боку. Воистину оригинал.

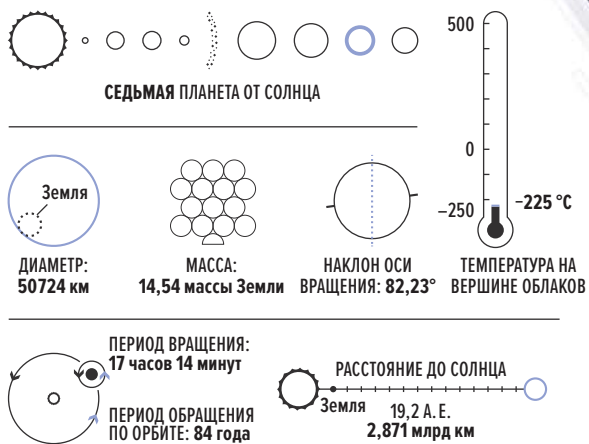
Хотя при благоприятных условиях Уран можно увидеть невооруженным глазом, планета была открыта только в 1781 году. Замеченная английским ученым-энциклопедистом сэром Уильямом Гершелем, она стала первой планетой, которую обнаружили с помощью телескопа. После недолгих споров было решено, что в соответствии с другими планетами она должна быть названа в честь античного бога. При этом Уран назвали в честь древнегреческого бога, хотя все остальные планеты названы в честь римских божеств. В результате открытия Гершеля размер известной Солнечной системы увеличился вдвое.

Человечество добралось до Урана и Нептуна лишь однажды: в конце 80-х годов межпланетный зонд Voyager 2 пролетел мимо обеих планет. Проходя возле Урана, он исследовал магнитосферу планеты, и она оказалась удивительной. Магнитное поле не исходит из центра планеты, его ось не совпадает с осью вращения планеты. Возможно, этого следовало ожидать от планеты, которая вращается как будто навеселе.

Уран, подобно Юпитеру и Сатурну, состоит в основном из водорода и гелия, но на нем также присутствует лед из воды, аммиака и метана — именно следовые количества метана в верхних слоях облаков придают планете мягкий голубой оттенок. По мере спуска вглубь холодные облака водорода и гелия становятся все гуще и гуще, пока мы не достигаем мантии планеты, состоящей из вышеупомянутых льдов. Именно их наличие привело к тому, что к планетам такого типа стали применять термин «ледяной гигант» (в том числе для того, чтобы отличать от других планетарных гигантов). Считается, что «странное» магнитное поле Урана возникает на относительно небольшой глубине в результате распада молекул воды на ионы водорода и кислорода, а образующийся в результате огромный

поток заряженных частиц является источником магнитосферы. Если гипотеза справедлива, то она объясняет неравномерный характер магнитного поля, поскольку у других планет магнитное поле генерируется ближе к ядру. А в самом сердце Урана находится небольшое каменное ядро, масса которого меньше планеты Земля.

Несмотря на то что Уран — не самая удаленная от Солнца планета, он самый холодный; не совсем понятно, почему внутреннее тепло планеты столь невелико по сравнению с другими. Уран получает только 0,25% объема солнечного тепла, получаемого Землей, что примерно равно количеству, которое Уран излучает обратно в космос, поэтому на данном этапе планета не охлаждается и не нагревается. Существует теория, что, когда планета была молодой, в нее врезался другой объект планетарного размера, это объясняет, почему ось вращения перекошена. Тот мощнейший удар мог также выбросить в космос большую часть теплосодержащего вещества молодой планеты, и именно поэтому сегодня на Уране так холодно.



Размеры планет и спутников — в масштабе, расстояния между ними — без соблюдения масштаба

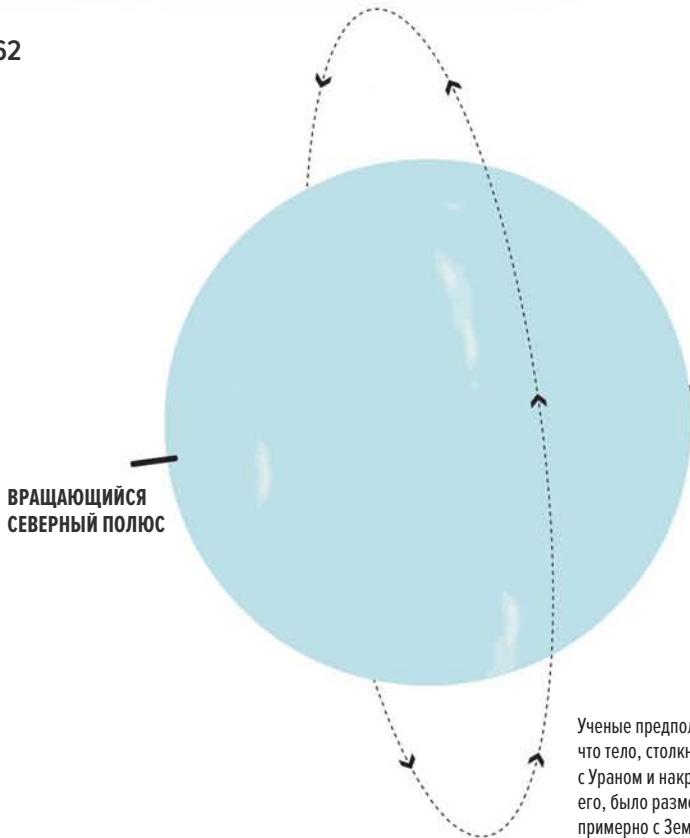


Спутники Урана названы главным образом в честь персонажей из произведений Уильяма Шекспира и Александра Поупа



СПУТНИКИ

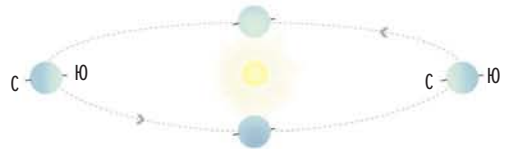
Первые наблюдения за спутниками Урана показали, что они располагаются сверху и снизу от планеты, а не справа и слева от нее, как у других планет. Так, почти сразу выяснились особенности наклона оси вращения планеты. На сегодняшний момент известны 27 спутников Урана, и ожидается, что будут открыты еще и другие. По сравнению с остальными планетами-гигантами Уран отличается наименьшей суммарной массой естественных спутников. Они состоят в равной степени из каменных пород и льда и делятся на три группы. Первая, ближайшая



Ученые предполагают, что тело, столкнувшееся с Ураном и накренившее его, было размером примерно с Землю

ОСЬ ВРАЩЕНИЯ

Ось, вокруг которой вращается Уран, расположена почти под прямым углом по отношению к осям большинства других планет. Поэтому северный и южный полюсы лежат в плоскости, близкой к плоскостям экваторов большинства планет. Из-за необычного наклона дни на полюсах длинные; каждый полюс обращен к Солнцу в течение 42 лет подряд, а затем погружается во тьму на следующие 42 года.

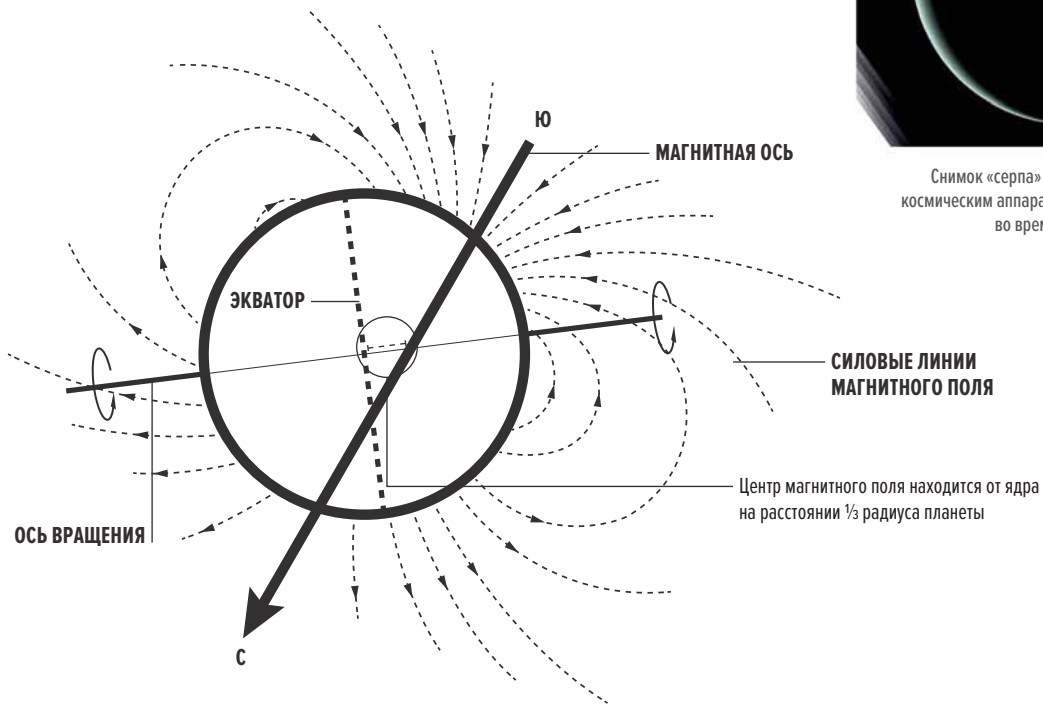




к планете, состоит из 13 небольших спутников, которые обращаются вокруг планеты с периодами менее суток. Следующие пять намного крупнее, и это единственные спутники Урана достаточно большого размера, чтобы иметь шарообразную форму. За ними следует последняя группа из девяти небольших спутников неправильной формы, орбиты которых простираются на миллионы километров в космос.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

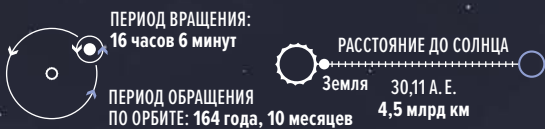
На рисунке внизу видно, как магнитное поле планеты смещено относительно ее оси вращения и что центральная линия магнитного поля не проходит через центр планеты.



Снимок «серпа» Урана, полученный космическим аппаратом НАСА Voyager 2 во время полета к Нептуну

Нептун

64



Нептун не является конечным пунктом нашего путешествия, но это последняя планета, которую мы встретим в Солнечной системе. Нептун — ледяной гигант, как и Уран, поэтому во многом на него похож: обе планеты состоят из схожих веществ, имеют почти одинаковый размер и обитают во мраке внешней части Солнечной системы. Поскольку Нептун самая удаленная от Солнца планета, то можно предположить, что это также самая спокойная из планет. Но, как подтвердили данные космического аппарата *Voyager 2*, Нептун — на удивление бурное место.

Далекий Нептун — единственная планета Солнечной системы, которая была открыта не путем прямого наблюдения, а с помощью дедукции. Вскоре после открытия Урана Гершелем астрономам стало ясно, что планета отклоняется от предсказанной орбиты. Отсюда был сделан вывод, что Нептун должен испытывать влияние притяжения другого тела, такого же громадного, как и он сам, и многие астрономы приступили к его поиску. Местоположение

загадочной планеты было правильно предсказано благодаря расчетам французского астронома Урбена Леверье в 1846 году. Уверенный в своих расчетах и в том, что он стал первым, кто открыл новую планету, Леверье тут же отправил письмо с полученным им результатом в Берлинскую обсерваторию для подтверждения. Благодаря точности его предсказаний астрономы обсерватории обнаружили планету в тот же день, когда получили его письмо. К вящему сожалению Леверье, скромно пожелавшего, чтобы планета носила его имя, астрономы все же решили назвать ее Нептуном в честь бога морей.

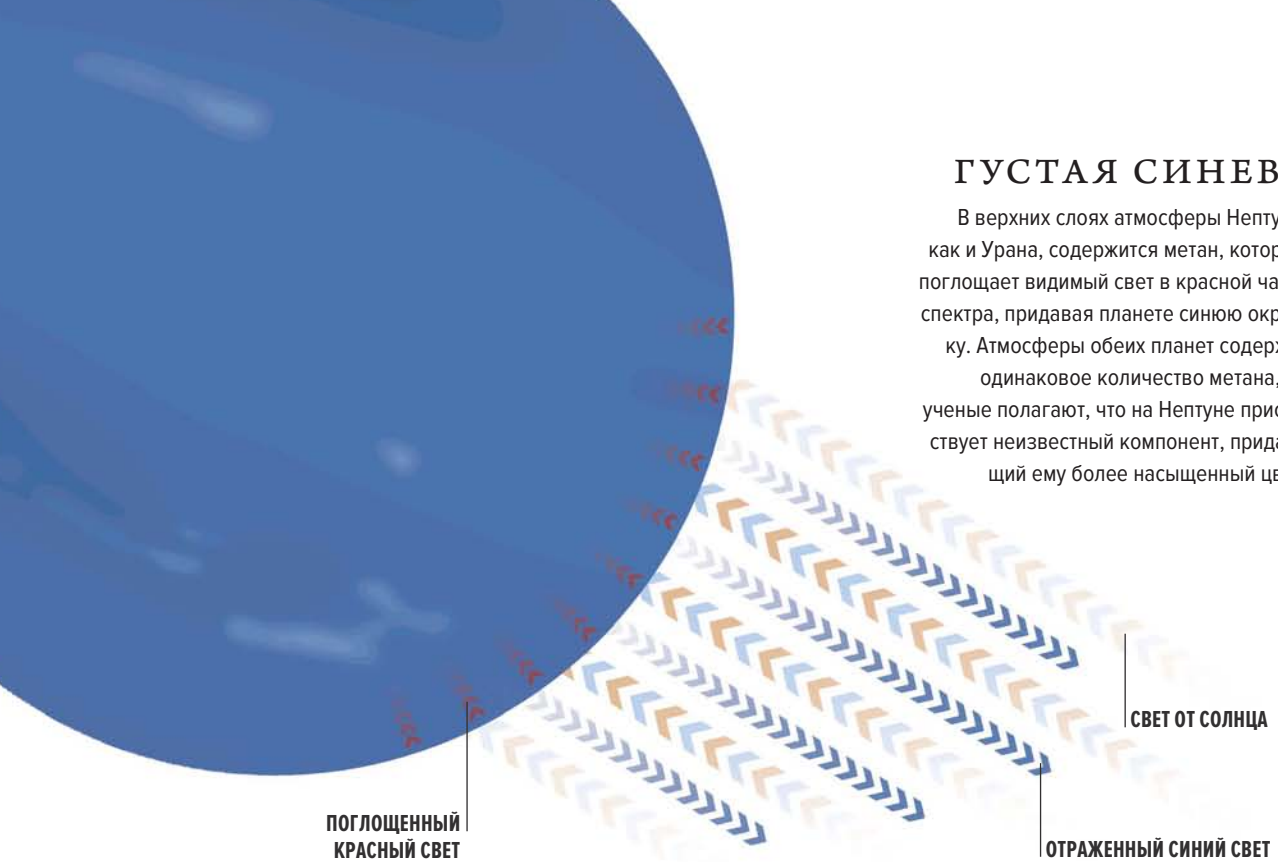
До конца XX века о Нептуне почти ничего не знали. Как и в случае с Ураном, пролет *Voyager 2*, а также последние достижения в технике наблюдения расширили наши представления. Теперь известно, что ветры Нептуна — самые быстрые в Солнечной системе. Самые высокие скорости наблюдаются в экваториальных областях, и иногда на поверхности появляются, а затем исчезают мощнейшие ураганные структуры. Нептун находится так далеко от Солнца, что получает (в расчете на единицу площади) лишь тысячную долю того тепла, которое мы получаем на Земле, а этого явно недостаточно для поддержания наблюдаемой там бурной погоды. Движущей силой непунианских ветров является внутреннее тепло планеты, которое гораздо более сильное, чем у Урана.

Нептун по размеру меньше из двух ледяных гигантов, хотя и более массивный. Странно, ведь они состоят из одного и того же материала. Причина заключается в том, что из-за более сильного притяжения на Нептуне газ в его атмосфере сильнее сжат, из-за чего общий размер планеты меньше. Ориентация магнитосфер обеих планет не совпадает с ориентацией оси вращения, из-за чего ученые полагают, что эта особенность может быть присуща всем ледяным гигантам.

Мы знаем о существовании Нептуна уже более 175 лет, что намного превышает срок человеческой жизни. Однако, поскольку Уран находится более чем в 30 раз дальше от Солнца, чем мы, ему требуется почти 165 лет для прохождения одной орбиты. Таким образом, за все то время, что мы знаем о Нептуне, у него был всего один день рождения.

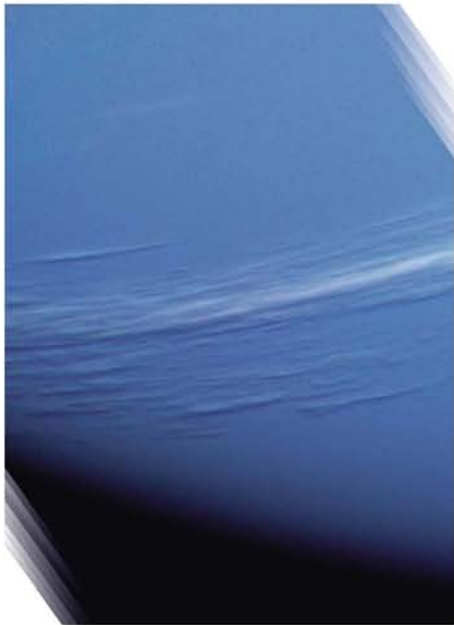
ГУСТАЯ СИНЕВА

В верхних слоях атмосферы Нептуна, как и Урана, содержится метан, который поглощает видимый свет в красной части спектра, придавая планете синюю окраску. Атмосферы обеих планет содержат одинаковое количество метана, но ученые полагают, что на Нептуне присутствует неизвестный компонент, придающий ему более насыщенный цвет.



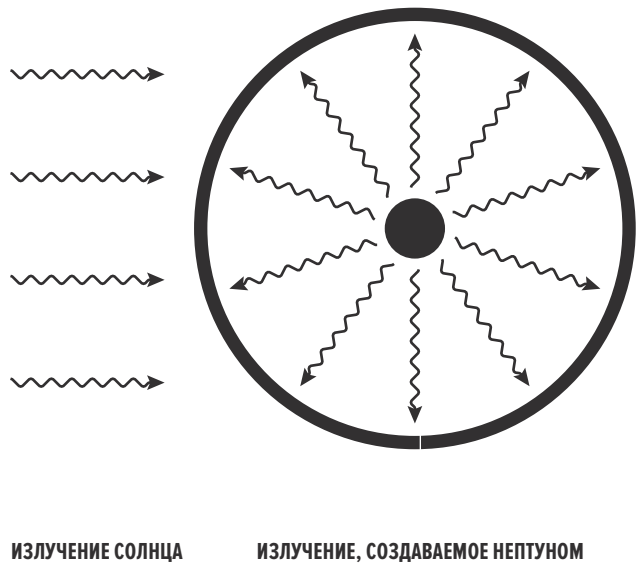
66

На этом снимке, сделанном космическим аппаратом НАСА Voyager 2, показаны полосы высотных облаков, отбрасывающие тени на облачный слой, расположенный под ними



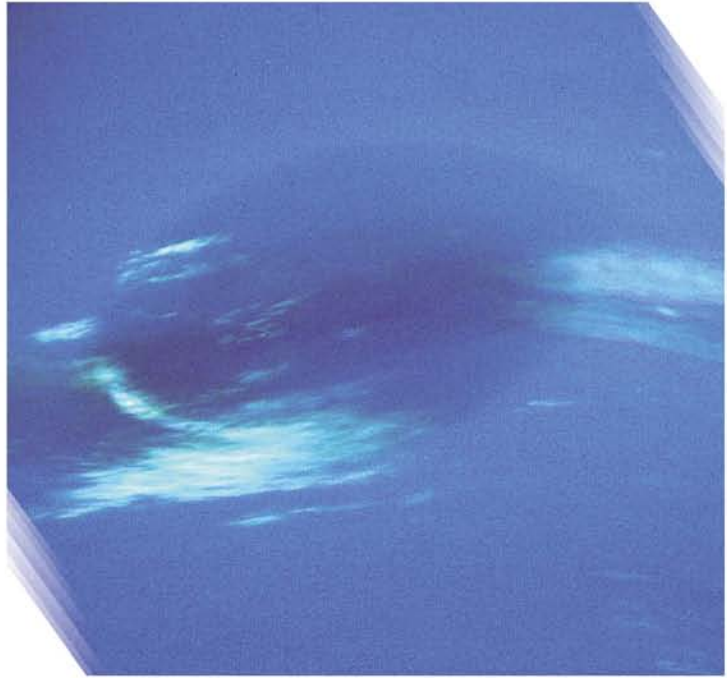
ВНУТРЕННЕЕ ТЕПЛО

Нептун излучает примерно в 2,6 раза больше энергии, чем получает от Солнца, поэтому, несмотря на то что находится значительно дальше Урана, фактически он значительно теплее него.



БУРИ

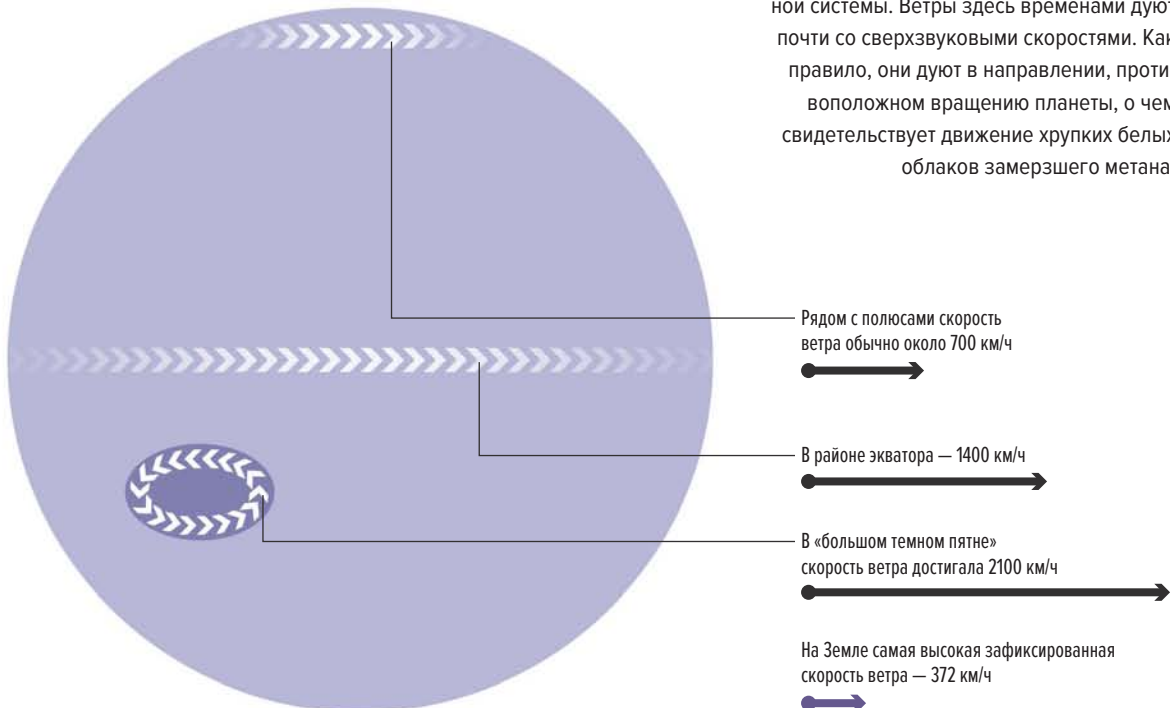
Когда Voyager 2 пролетал мимо Нептуна в 1989 году, он засвидетельствовал гигантскую бурю, занимавшую область размером 13000 на 6600 км, похожую на Большое красное пятно Юпитера. Всего пять лет спустя космический телескоп Hubble попытался эту бурю запечатлеть, но обнаружить ее не смог. «Большое темное пятно Нептуна» исчезло, в то время как бури на Юпитере могут продолжаться сотни лет.



ВЕТЕР

67

Нептун — самая ветреная планета Солнечной системы. Ветры здесь временами дуют почти со сверхзвуковыми скоростями. Как правило, они дуют в направлении, противоположном вращению планеты, о чем свидетельствует движение хрупких белых облаков замерзшего метана.



Пояс Койпера и облако Оорта

Далее область за последней планетой Солнечной системы населяет бесчисленное множество мелких тел, орбиты которых находятся под влиянием Солнца. Триллионы объектов, наполняющих эти далекие области, являются остатками формирования Солнечной системы. Самые разные тела — от ледяных обломков до карликовых планет — здесь носят точное, хотя и не очень образное название «Транснептуновые объекты» (ТНО).

Первая область обнаруженных астрономами ТНО получила название «пояс Койпера». Он простирается от орбиты Нептуна (30 а.е.) до 7,5 млрд км (50 а.е.) от центра Солнечной системы. В 1930 году первым был открыт маленький каменный, ледяной Плутон, первоначально признанный девятой планетой. Однако в 90-х годах XX века это было поставлено под сомнение: были обнаружены другие сопоставимые по размеру тела, обращающиеся на аналогичных расстояниях от Солнца. Поскольку Плутон явно не был единственным влиятельным телом в окрестностях, представители астрономических кругов были вынуждены дать новое определение, что такое планета. При этом Плутон понизили в звании до нового класса «карликовых планет». Будучи достаточно крупными, поскольку под действием гравитации обрели шарообразную форму, и не будучи спутниками другой планеты, карликовые планеты не могут быть полноценными планетами, поскольку им не удалось очистить свою орбиту от других тел. В настоящее время в поясе Койпера официально признаны три карликовые планеты, хотя вполне вероятно, что вскоре будут утверждены и другие. В данной области наблюдается и множество мелких обломков. В отличие от пояса астероидов, состоящего в основном из каменных и металлических тел, в поясе Койпера преобладают находящиеся в твердом агрегатном состоянии метан, аммиак и вода.

ТНО, составляющие пояс Койпера, обычно движутся по устойчивым круговым орбитам. Однако существует и другая группа орбитальных тел, проходящих через ту же область, орбиты которых менее стабильны. Известные как объекты рассеянного диска, эти тела обычно обращаются вокруг Солнца по очень наклоненным, сильно вытянутым

эллиптическим орбитам — двигаясь по своим траекториям, они могут удаляться от Солнца более чем в два раза дальше других объектов пояса Койпера. Считается, что объекты рассеянного диска возникли ближе к центру Солнечной системы, но затем были выброшены наружу под действием гравитации внешних планет. Крупнейший из известных объектов рассеянного диска, Эрида, по размерам схожа с Плутоном и является единственной карликовой планетой, которая была занесена в каталог рассеянного диска. Иногда эллиптические траектории объектов рассеянного диска подводят их достаточно близко к Нептуну, и они оказываются в зоне действия его притяжения. Гравитационное поле Нептуна может отклонить траекторию подобного тела, направив его к Солнцу и превратив в комету.

Солнечная система, несомненно, велика, но можно с уверенностью сказать, что масштабы облака Оорта намного превосходят все, что мы видели до сих пор. Ледяные тела на внешних границах облака, на расстоянии более светового года от Солнца, гравитационно очень слабо связаны с Солнцем. Поэтому объекты в данной области могут быть легко «сбиты» со своих орбит притяжением близлежащих звезд или самого Млечного Пути. Хотя мы не можем наблюдать облако Оорта напрямую, траектории комет, проходящих через внутреннюю часть Солнечной системы, служат убедительным доказательством его существования.



ДИАМЕТР ПОЯСА КОЙПЕРА:
100 А. Е.,
14960 млрд км

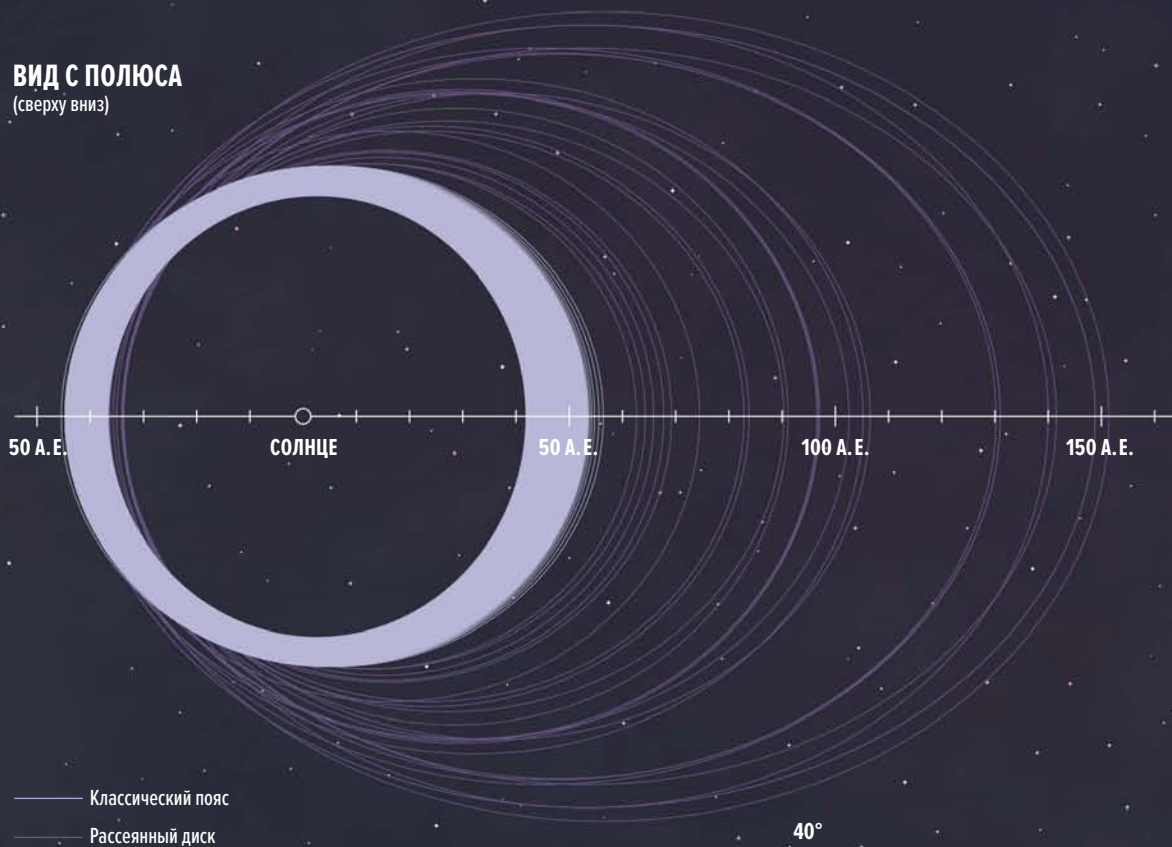
ДИАМЕТР ОБЛАКА ООРТА:
200 000 А. Е.,
3,16 светового года

ПОЯС КОЙПЕРА И РАССЕЯННЫЙ ДИСК

Объекты, находящиеся на устойчивых орбитах в поясе Койпера, относятся к классическому поясу — их орбиты почти круговые. Тела, принадлежащие к рассеянному диску, имеют в большей степени эллиптические орбиты, часто сильно наклоненные.

ВИД С ПОЛЮСА

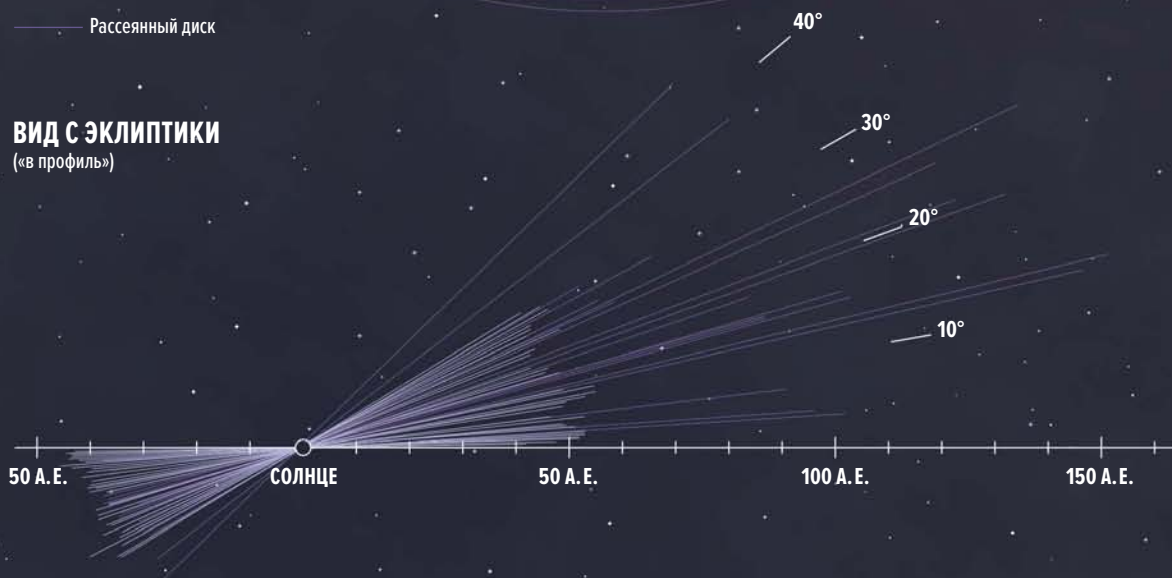
(сверху вниз)



70

ВИД С ЭКЛИПТИКИ

(«в профиль»)

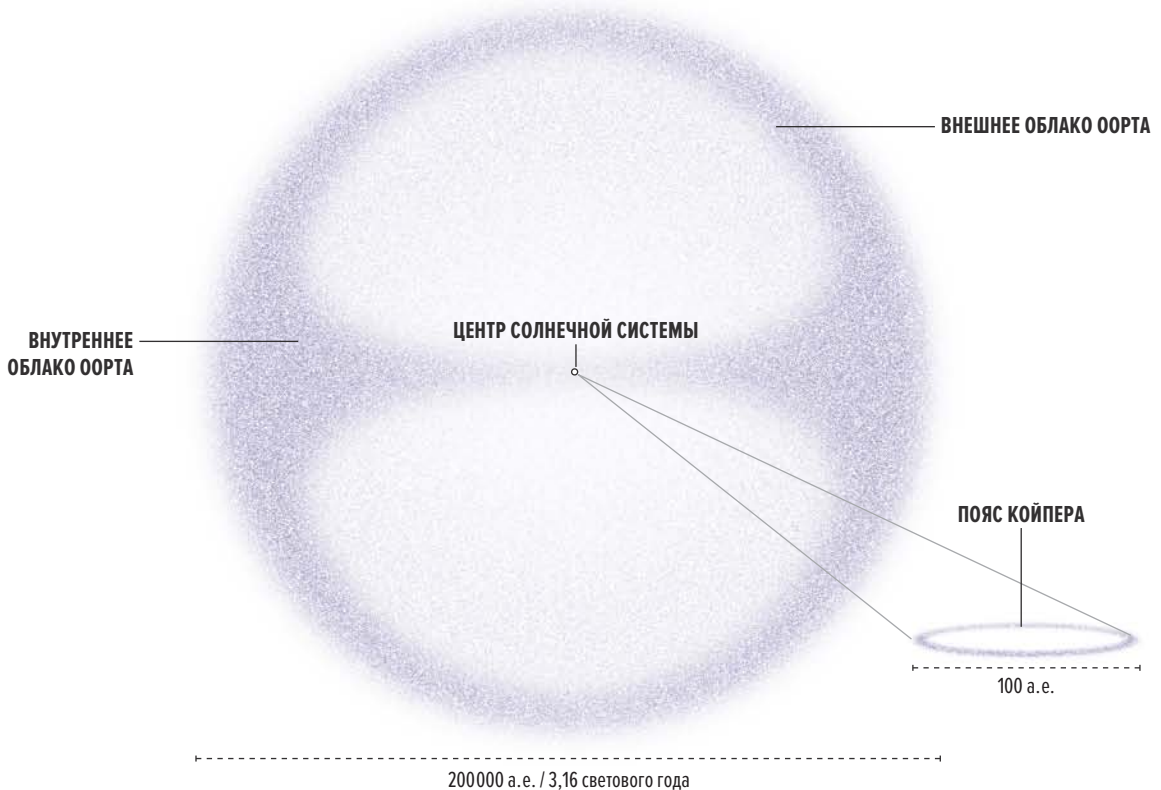


КРУПНЕЙШИЕ ТЕЛА КЛАССИЧЕСКОГО ПОЯСА КОЙПЕРА



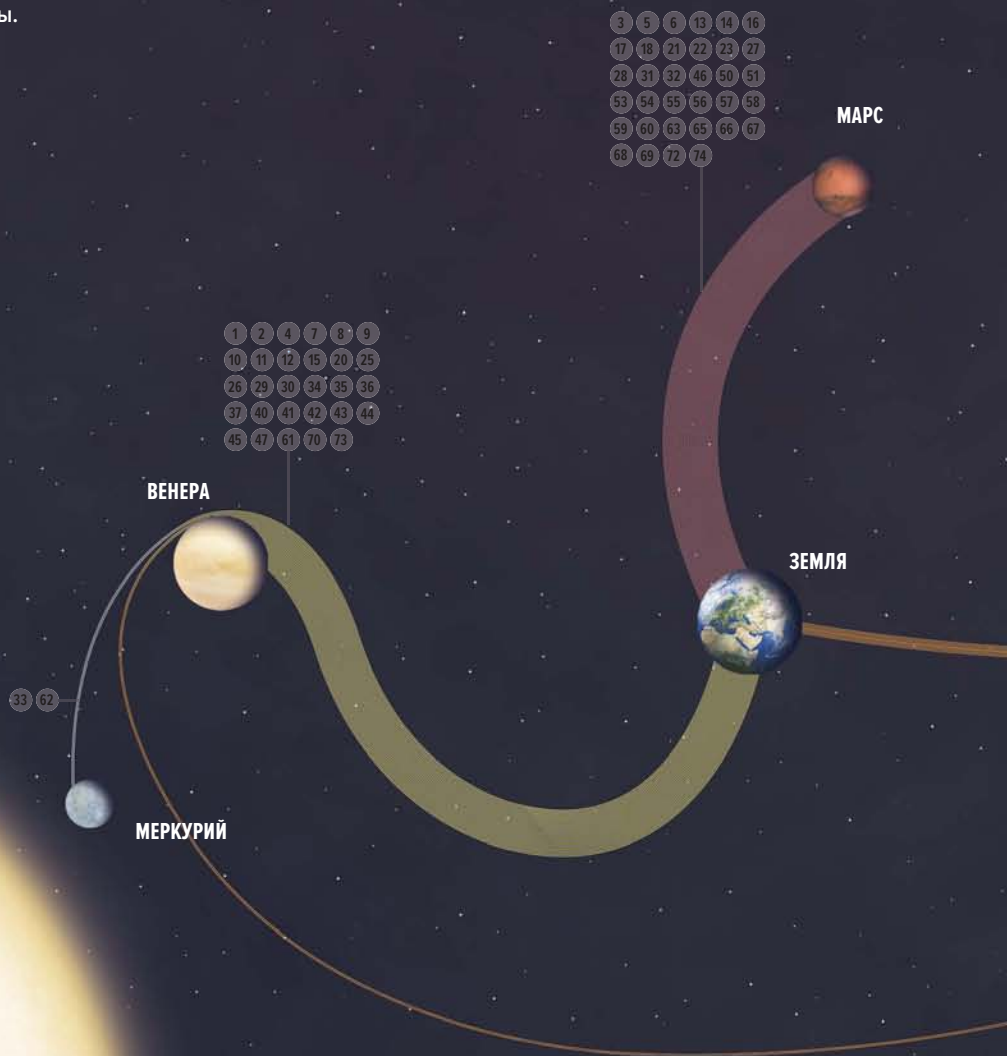
ОБЛАКО ООРТА

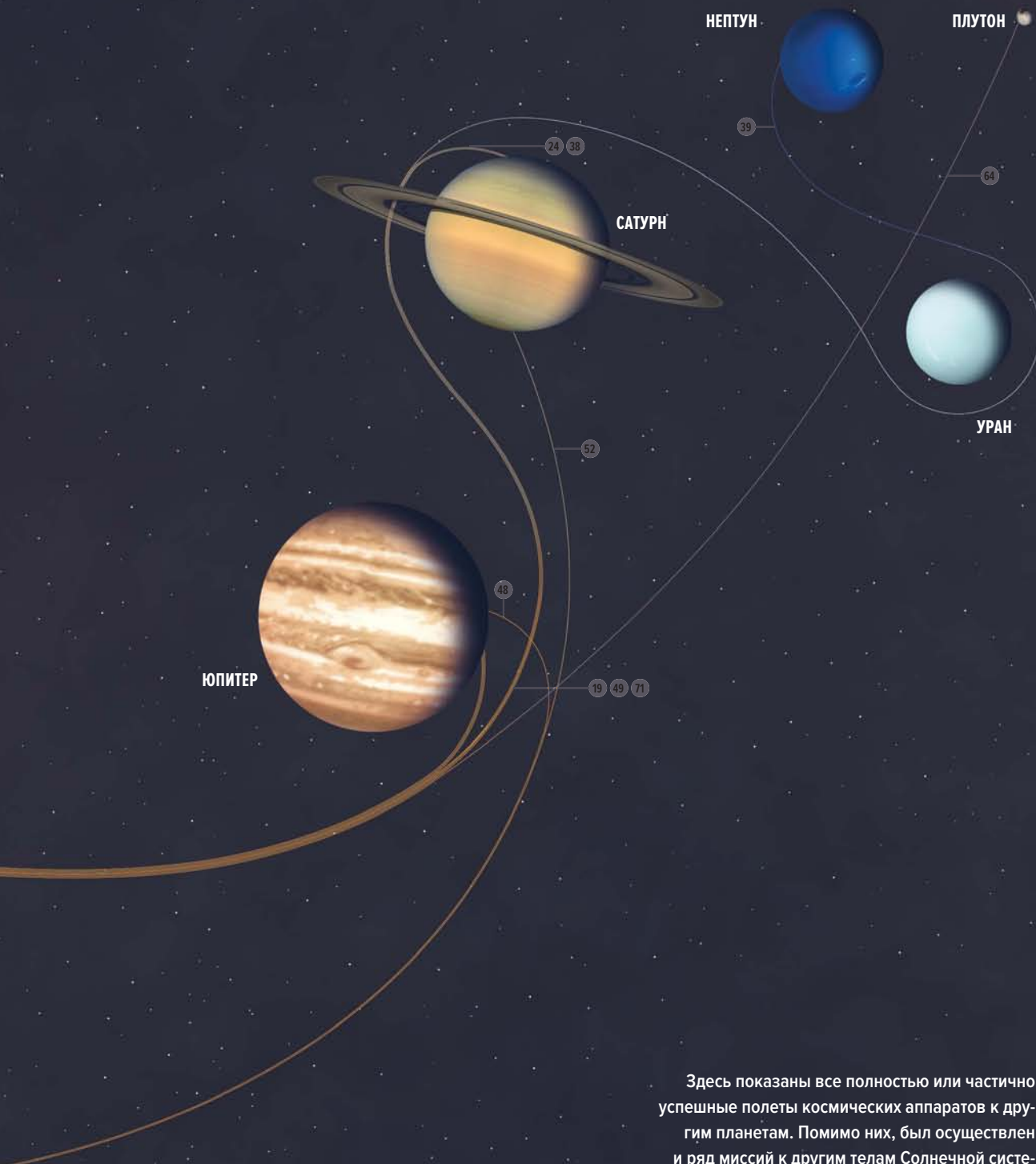
Внешние границы облака Оорта очерчивают край нашей Солнечной системы, за которым Солнце больше не является господствующей гравитационной силой. Внутреннее облако Оорта, также известное как облако Хиллса, имеет форму диска, края которого расширяются там, где оно пересекается со сферическим внешним облаком Оорта. Под действием гравитационных возмущений ледяные тела в облаке Оорта могут направиться к центру Солнечной системы и стать долгопериодическими кометами, проходящими мимо Солнца с периодами обращения от 200 до 1000 лет.



ПОЛЕТЫ МЕЖПЛАНЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Первым рукотворным объектом, достигшим другой планеты, был построенный в России аппарат «Венера-1», который в 1961 году пролетел на близком расстоянии от нашей соседки Венеры. В XX веке подавляющее большинство межпланетных полетов осуществлялось в рамках российской и американской космических программ, но в последнее время такие программы стали активно осуществлять и другие страны.





Здесь показаны все полностью или частично успешные полеты космических аппаратов к другим планетам. Помимо них, был осуществлен и ряд миссий к другим телам Солнечной системы, таким как астероиды, кометы и спутники.

НА СЛЕДУЮЩЕЙ СТРАНИЦЕ ДАН СПИСОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ	ДАТА	НАЗНАЧЕНИЕ	ПО ПРИБЫТИИ	КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ	ДАТА	НАЗНАЧЕНИЕ	ПО ПРИБЫТИИ
1 ВЕНЕРА 1	19.05.1961	ВЕНЕРА	F	39 VOYAGER 2	24.01.1986	УРАН	F
2 MARINER 2	14.12.1962	ВЕНЕРА	F	39 VOYAGER 2	25.08.1989	НЕПТУН	F
3 MARS 1	19.06.1963	МАРС	F	40 ВЕНЕРА 13	01.03.1982	ВЕНЕРА	AL
4 ZOND 1	14.07.1964	ВЕНЕРА	F	41 ВЕНЕРА 14	05.03.1982	ВЕНЕРА	AL
5 MARINER 4	15.07.1965	МАРС	F	42 ВЕНЕРА 15	10.10.1983	ВЕНЕРА	AO
6 ZOND 2	06.08.1965	МАРС	F	43 ВЕНЕРА 16	14.10.1983	ВЕНЕРА	AO
7 ВЕНЕРА 2	27.02.1966	ВЕНЕРА	F	44 VEGA 1	11.06.1985	ВЕНЕРА	AL
8 ВЕНЕРА 3	01.03.1966	ВЕНЕРА	AI	45 VEGA 2	15.06.1985	ВЕНЕРА	AL
9 ВЕНЕРА 4	18.10.1967	ВЕНЕРА	AA	46 PHOBOS 2	29.01.1989	МАРС	AO
10 MARINER 5	19.10.1967	ВЕНЕРА	F	47 MAGELLAN	10.08.1990	ВЕНЕРА	AO
11 ВЕНЕРА 5	16.05.1969	ВЕНЕРА	AA	48 GALILEO	10.02.1990	ВЕНЕРА	F
12 ВЕНЕРА 6	17.05.1969	ВЕНЕРА	AA	48 GALILEO	07.12.1995	ЮПИТЕР	AO
13 MARINER 6	31.07.1969	МАРС	F	49 ULYSSES	08.02.1992	ЮПИТЕР	F
14 MARINER 7	05.08.1969	МАРС	F	50 MARS PATHFINDER	04.07.1997	МАРС	AL
15 ВЕНЕРА 7	17.08.1970	ВЕНЕРА	AL	51 MARS GLOBAL SURVEYOR	11.09.1997	МАРС	AO
16 MARS 2	27.11.1971	МАРС	AI	52 CASSINI	26.04.1998	ВЕНЕРА	F
17 MARINER 9	14.11.1971	МАРС	AO	52 CASSINI	30.12.2000	ЮПИТЕР	F
18 MARS 3	02.12.1971	МАРС	AL	52 CASSINI	01.07.2004	САТУРН	AO
19 PIONEER 10	03.03.1972	ЮПИТЕР	F	53 MARS CLIMATE ORBITER	23.09.1999	МАРС	AA
20 ВЕНЕРА 8	27.03.1972	ВЕНЕРА	AL	54 MARS POLAR LANDER	23.12.1999	МАРС	AA
21 MARS 5	25.07.1973	МАРС	AO	55 MARS ODYSSEY	24.20.2001	МАРС	AO
22 MARS 6	05.08.1973	МАРС	AI	56 NOZOMI	14.12.2003	МАРС	F
23 MARS 4	10.02.1974	МАРС	F	57 MARS EXPRESS	25.12.2003	МАРС	AO
24 PIONEER 11	04.12.1974	ЮПИТЕР	F	58 MER-A SPIRIT	04.01.2004	МАРС	AL
24 PIONER 11	01.09.1979	САТУРН	F	59 MER-B OPPORTUNITY	25.01.2004	МАРС	AL
25 ВЕНЕРА 9	22.10.1975	ВЕНЕРА	AL	60 MARS RECON. ORBITER	10.03.2006	МАРС	AO
26 ВЕНЕРА 10	25.10.1975	ВЕНЕРА	AL	61 VENUS EXPRESS	11.04.2006	ВЕНЕРА	AO
27 VIKING 1	20.07.1976	МАРС	AL	62 MESSENGER	24.10.2006	ВЕНЕРА	F
28 VIKING 2	03.09.1976	МАРС	AL	62 MESSENGER	17.03.2011	МЕРКУРИЙ	AO
29 ВЕНЕРА 12	19.12.1978	ВЕНЕРА	F	63 ROSETTA	25.02.2007	МАРС	F
30 ВЕНЕРА 11	25.12.1978	ВЕНЕРА	F	64 NEW HORIZONS	28.02.2007	ЮПИТЕР	F
31 MARS 7	09.03.1974	МАРС	F	64 NEW HORIZONS	14.07.2015	ПЛУТОН	F
32 MARS 6	12.03.1974	МАРС	F	65 PHOENIX	25.05.2008	МАРС	AL
33 MARINER 10	05.02.1974	ВЕНЕРА	F	66 DAWN	17.02.2009	МАРС	F
33 MARINER 10	29.03.1974	МЕРКУРИЙ	F	67 MARS SCIENCE LABORATORY	06.08.2012	МАРС	AL
34 PIONEER ВЕНЕРА ORBITER	04.12.1978	ВЕНЕРА	AQ	68 MAVEN	22.09.2014	МАРС	AO
35 PIONEER VENUS MULTIPROBE	09.12.1978	ВЕНЕРА	AA	69 MARS ORBITER MISSION	24.09.2014	МАРС	AO
36 ВЕНЕРА 12	21.12.1978	ВЕНЕРА	AL	70 AKATSUKI	07.12.2015	ВЕНЕРА	AO
37 ВЕНЕРА 11	25.12.1978	ВЕНЕРА	AL	71 JUNO	04.07.2016	ЮПИТЕР	AO
38 VOYAGER 1	05.03.1979	ЮПИТЕР	F	72 EXOMARS TRACE GAS ORBITER	16.10.2016	МАРС	AI
38 VOYAGER 1	12.11.1980	САТУРН	F	73 PARKER SOLAR PROBE	03.10.2018	ВЕНЕРА	F
39 VOYAGER 2	09.07.1979	ЮПИТЕР	F	74 INSIGHT	26.11.2018	МАРС	AL
39 VOYAGER 2	05.08.1981	САТУРН	F				

В последнем столбце «По прибытии» указано, какой маневр совершил космический аппарат у планеты.

F (Flyby) — пролет в непосредственной близости; A L (Arrival, Landing) — прибытие и приземление;

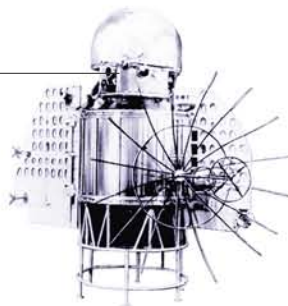
A I (Arrival, Impact) — прибытие и падение/столкновение; A O (Arrival, Entered Orbit) — прибытие и заход на орбиту;

A A (Arrival, Entered Atmosphere) — прибытие и вход в атмосферу.

Указанные даты — это даты, когда космические аппараты либо прибыли на планету, либо, в случае пролета, совершили сближение.

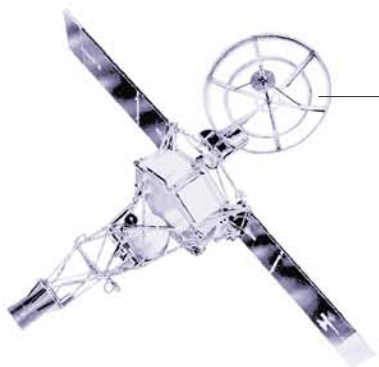
«ВЕНЕРА-1»

Первый космический аппарат, приблизившийся к другой планете. 5 мая 1961 года он пролетел примерно в 100000 км от Венеры, но, поскольку радиосвязь была потеряна, никаких данных о планете получено не было. Однако до потери связи была собрана информация о солнечных ветрах и космических лучах.



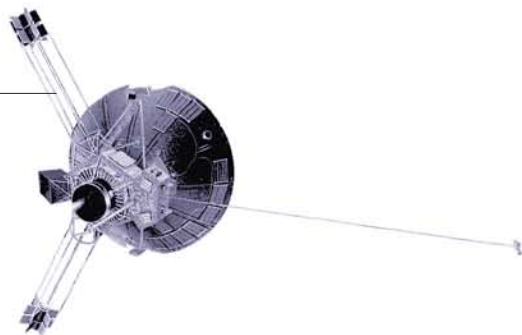
MARINER 2

14 декабря 1962 года Mariner 2 прошел на расстоянии примерно 35000 км от Венеры, при этом его системы связи и большинство приборов оставались в рабочем состоянии. В результате он стал первым космическим аппаратом, который достиг другой планеты и передал собранные данные. Его задачами являлись регистрация температуры венерианской атмосферы и поверхности, а также измерение межпланетных магнитных полей и параметров заряженных частиц. Аппарат показал, что под облаками Венеры температура чрезвычайно высока.



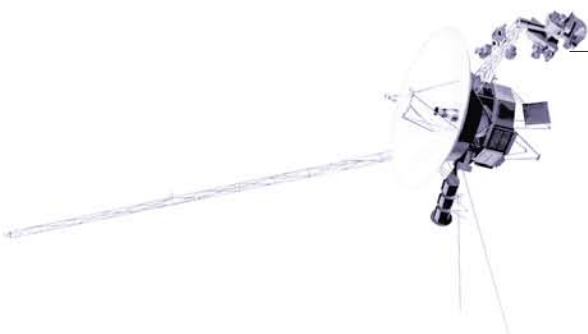
PIONEER 11

В 1979 году Pioneer 11 стал первым рукотворным объектом, который встретился с Сатурном, пройдя примерно в 21000 км от планеты. Помимо многочисленных задач по исследованию межпланетного пространства, атмосферы Сатурна и его магнитного поля, Pioneer 11 также пересек плоскость колец Сатурна. Разработчики программы изначально не были уверены, смогут ли мелкие частицы колец повредить аппарат, однако благодаря успешному прохождению этой зоны она была признана безопасной для будущих полетов.



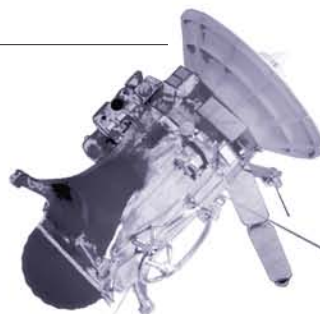
VOYAGER 2

Voyager 2 пролетел вблизи Юпитера и Сатурна и к настоящему моменту является единственным космическим аппаратом, побывавшим возле ледяных гигантов Урана и Нептуна. Во время своего путешествия аппарат открыл несколько спутников, сделал подробные снимки внешних планет и многих их спутников, а также обнаружил ранее неизвестные кольца вокруг Урана и Нептуна.



CASSINI

Программа Cassini — Huygens, обычно называемая просто Cassini, увенчалась успехом, впервые выведя космический аппарат на орбиту вокруг Сатурна. Аппарат состоял из двух модулей: зонда Cassini и посадочного модуля Huygens. Последний приземлился на самом большом из спутников Сатурна — Титане. Это была первая посадка во внешней части Солнечной системы и первая посадка на спутнике другой планеты. Cassini провел 13 лет на орбите Сатурна, затем выполнил ряд рискованных маневров между планетой и ее кольцами и, наконец, вошел в атмосферу планеты-гиганта.



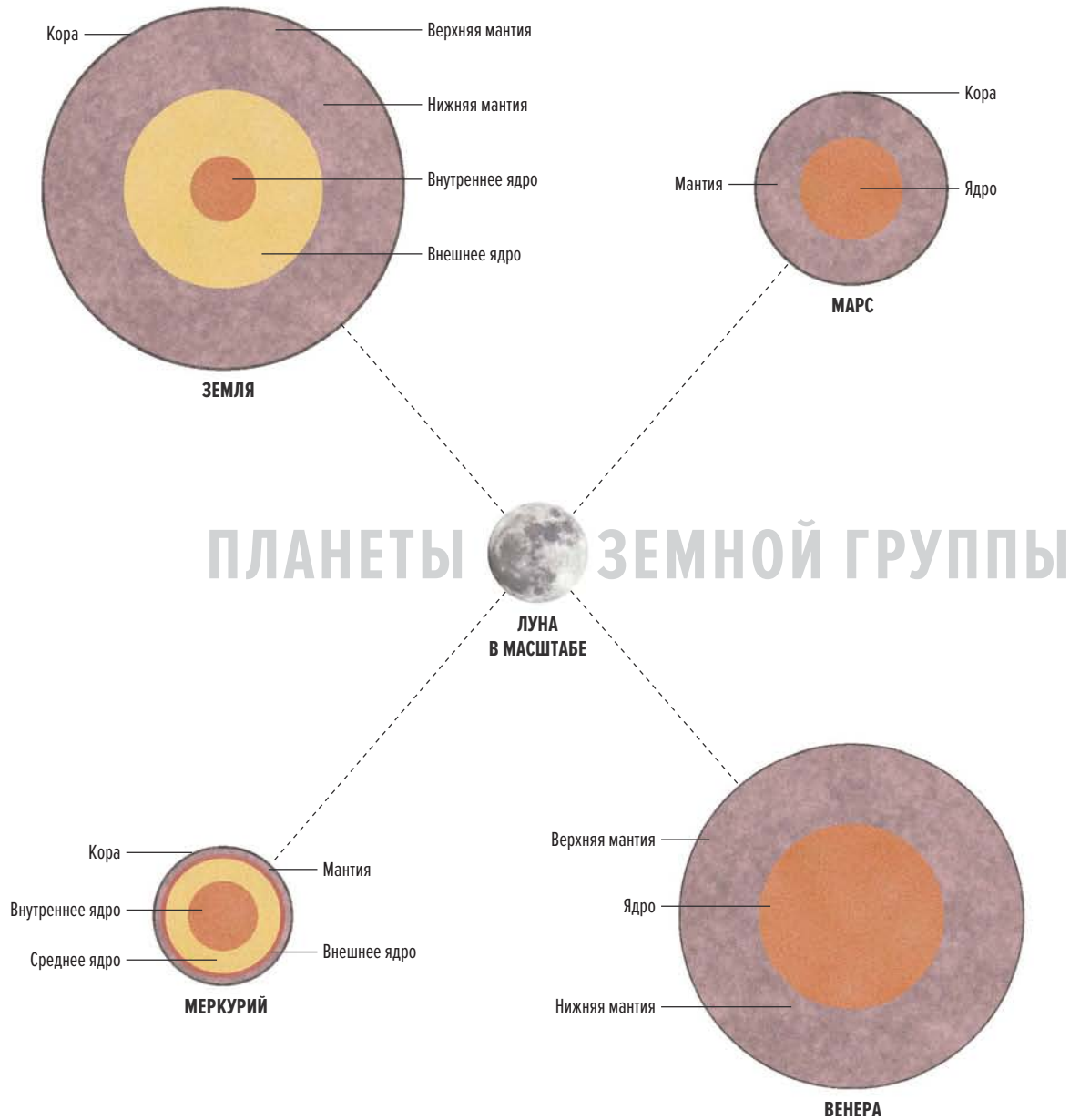
NEW HORIZONS («НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ»)

Основной целью аппарата «Новые горизонты» был пролет мимо карликовой планеты Плутона. По пути через пояс астероидов космический аппарат получил изображение астероида 132524 AP1 и пролетел мимо Юпитера для дополнительного разгона посредством гравитационного маневра в целях дальнейшего движения к Плутону. Достигнув Плутона и пролетев всего в 12500 км над его поверхностью, «Новые горизонты» стал первым аппаратом, посетившим это небесное тело. Затем аппарат отправился в пояс Койпера, где получил снимок еще одного ТНО тела диаметром около 36 км, известного как 486958 Аррокот.



СТРОЕНИЕ ПЛАНЕТ

76



ТВЕРДАЯ ПОРОДА

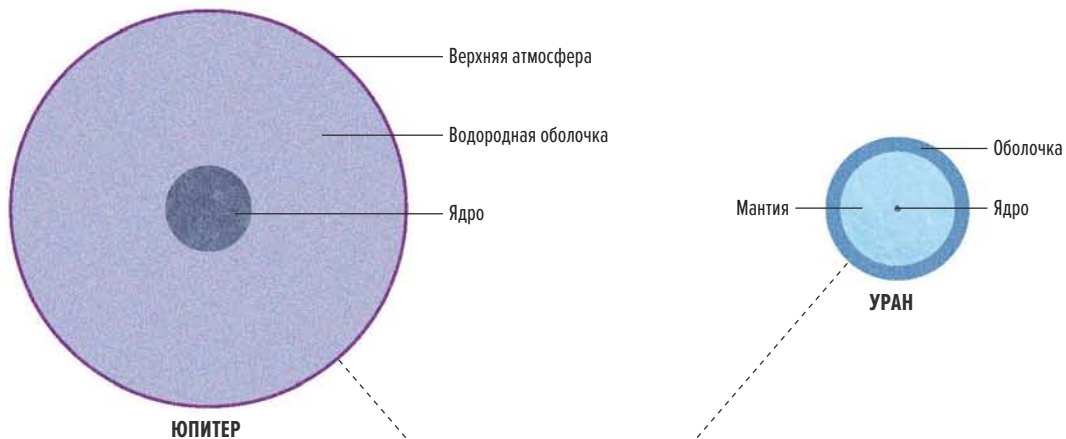
РАСПЛАВЛЕННАЯ ПОРОДА

РАСПЛАВЛЕННОЕ ЖЕЛЕЗО

ТВЕРДОЕ ЖЕЛЕЗО

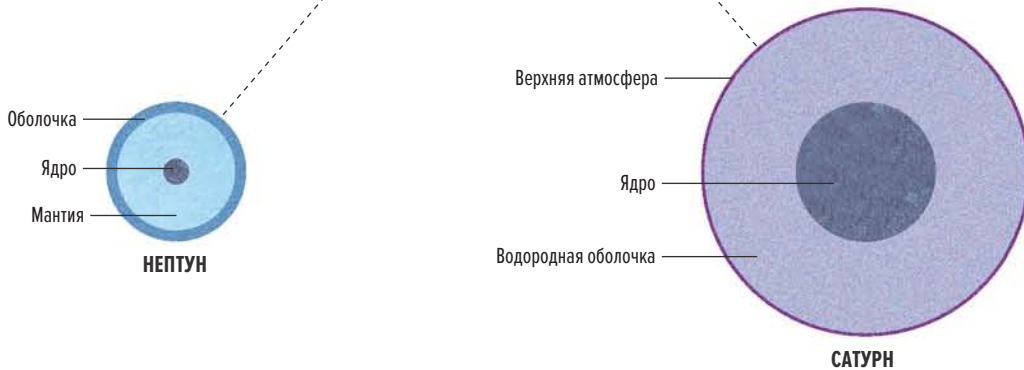
ТВЕРДОЕ ЖЕЛЕЗО

(с высокой долей примеси сернистого железа)



ВНЕШНИЕ ПЛАНЕТЫ

ЗЕМЛЯ
 В МАСШТАБЕ



АТМОСФЕРА



МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ
 ВОДОРОД



МЕТАН



ЛЕД

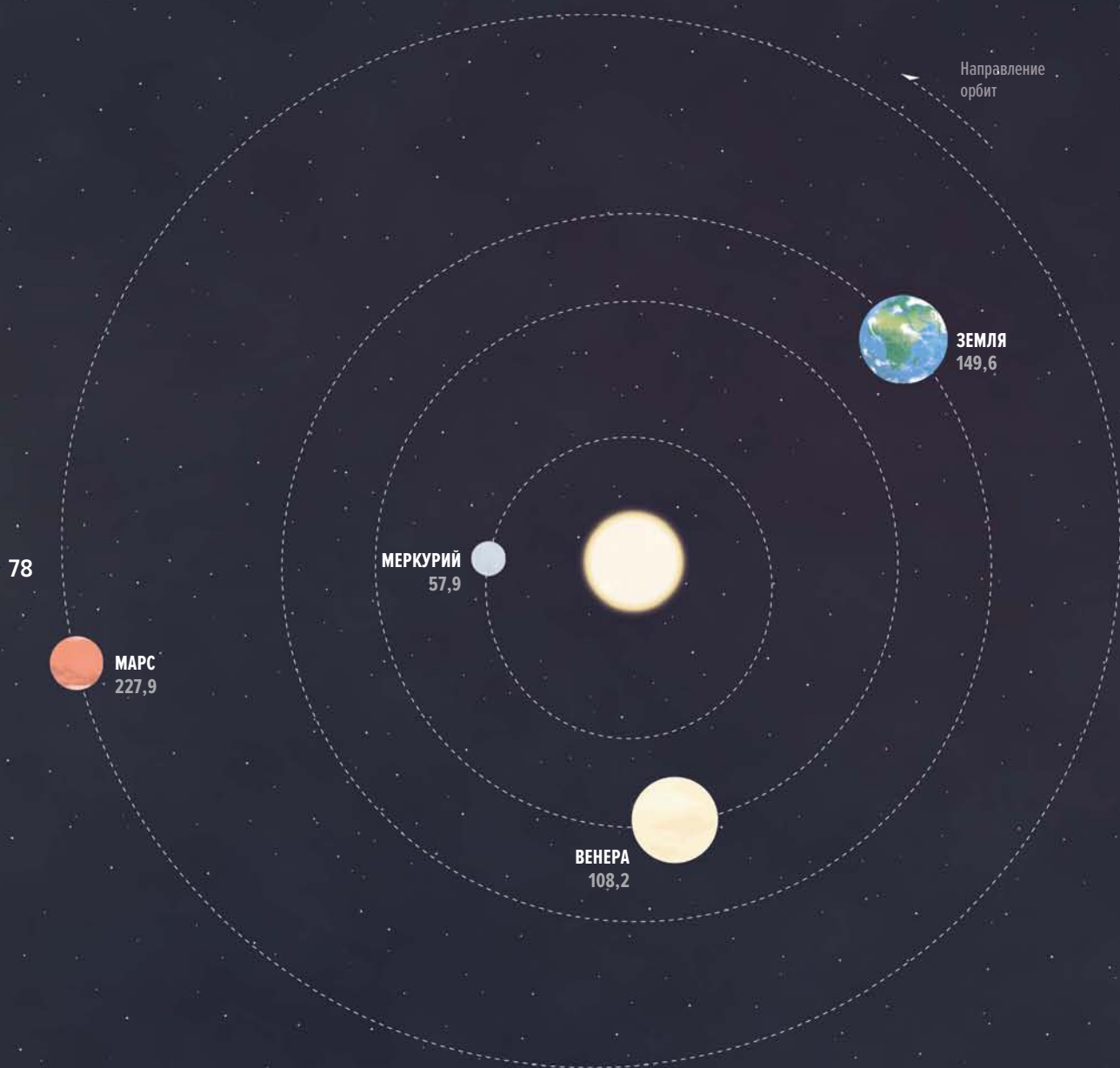


КАМЕННЫЕ
 ПОРОДЫ И ЛЕД



ОРБИТЫ ПЛАНЕТ В МАСШТАБЕ

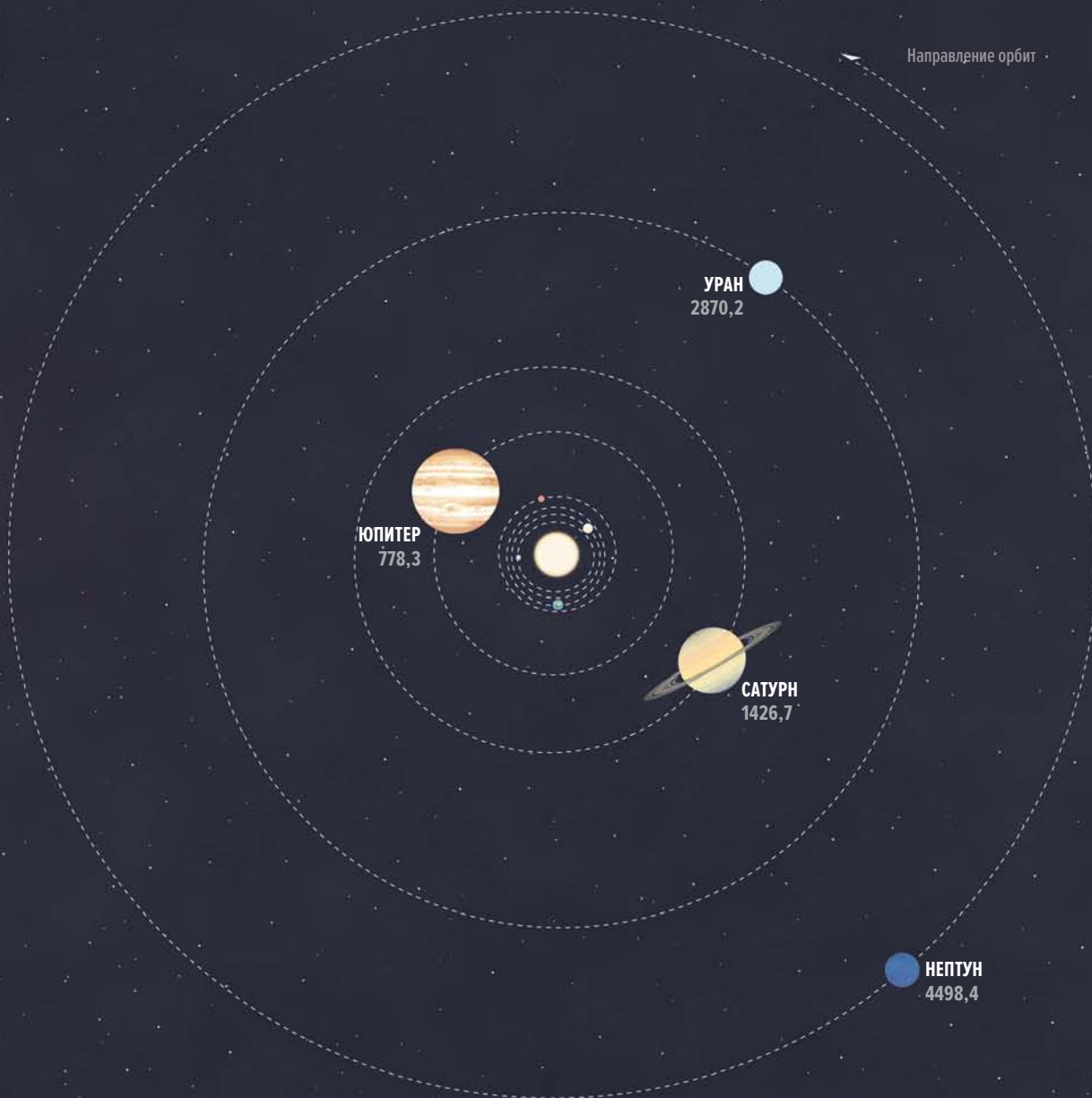
ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ



Огромные расстояния между Солнцем и планетами трудно себе представить, и поэтому, может быть, проще сравнить их с предметами повседневного обихода. Если вообразить Солнце размером с баскетбольный мяч, то ближайшая планета, Меркурий, будет размером с крупинку сахара и на расстоянии 11 м от него. В этом же масштабе Венера и Земля окажутся чуть меньше горошины. Находиться они будут на расстоянии 20 и 29 м от Солнца соответственно, а на расстоянии около 43 м будет расположен Марс — размером с булавочную головку.

ВНЕШНИЕ ПЛАНЕТЫ

Размеры орбит планет указаны в масштабе, размеры планет без соблюдения масштаба. Приведены значения среднего расстояния планет от Солнца в миллионах километров.

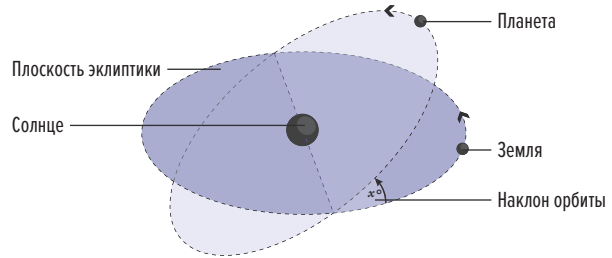


79

Если использовать тот же масштаб, что и выше, то Юпитер находится на расстоянии 149 м от Солнца (баскетбольного мяча), а Сатурн — на расстоянии 271 м. Уран и Нептун, размером с небольшую виноградину, находятся на расстоянии 550 и 850 м соответственно. За Нептуном пояс Койпера отстоит от Солнца на 1,3 км, а Плутон при этом — всего лишь песчинка.

НАКЛОНЫ ОРБИТ

Для планет нашей Солнечной системы величина угла наклона орбиты обычно отсчитывается относительно плоскости земной орбиты. Плоскость, в которой Земля обращается вокруг Солнца, называется плоскостью эклиптики.



80

МЕРКУРИЙ
7,01°

ВЕНЕРА
3,39°

МАРС
1,85°

ЮПИТЕР
1,31°

ЗЕМЛЯ
0°



8°

7°

6°

5°

4°

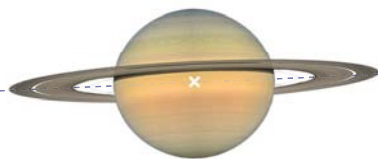
3°

2°

1°

0°

81



САТУРН
2,49°



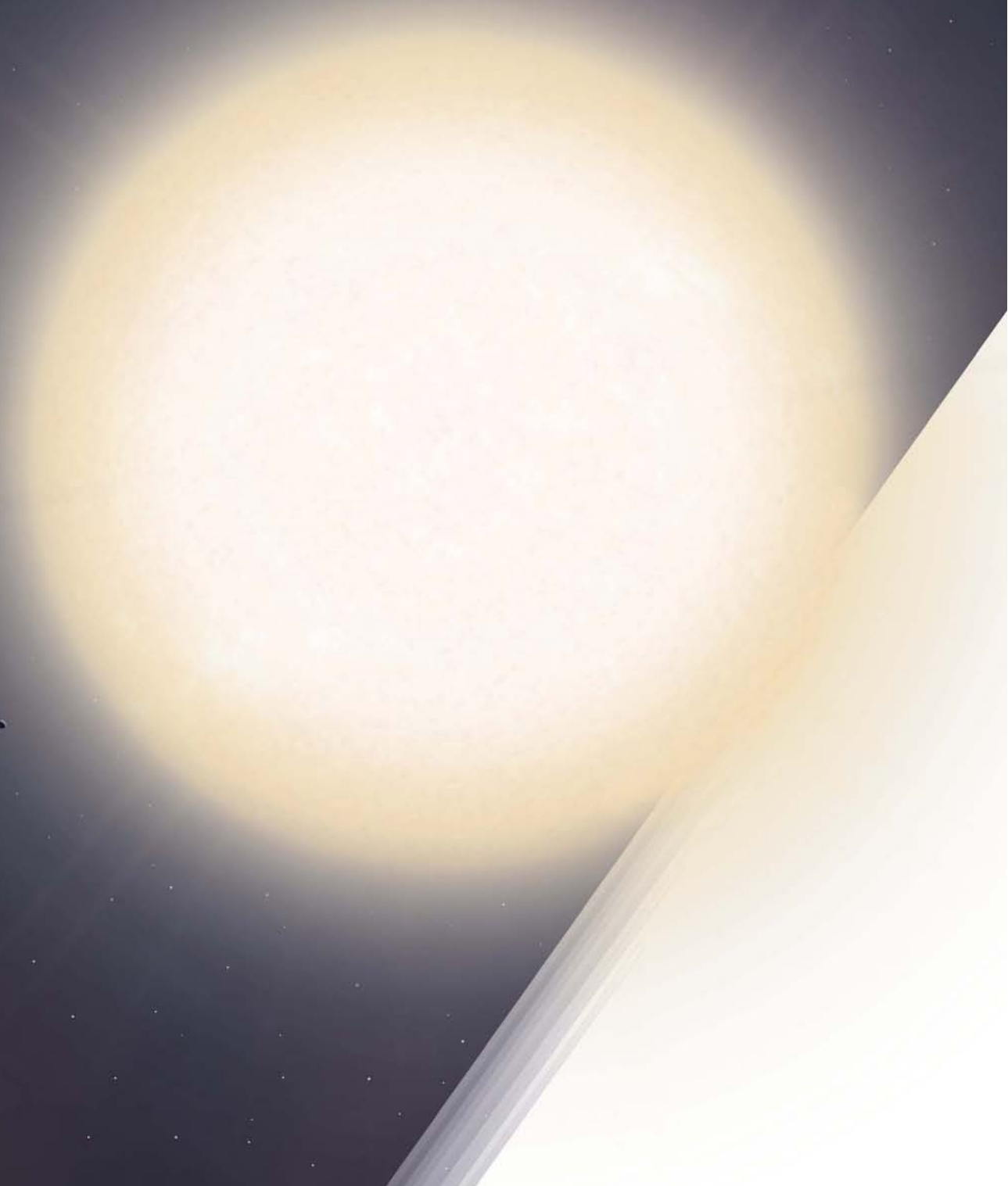
НЕПТУН
1,77°

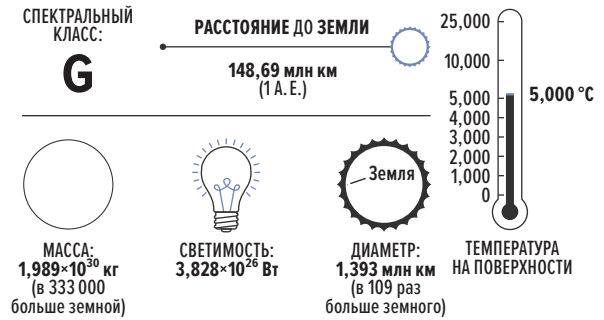


УРАН
0,77°

Солнце

82





В центре всего, что мы видели до сих пор, находится Солнце — повелитель Солнечной системы, одаривающий нас светом и теплом. От каменных планет, обращающихся по тесным орбитам, до громоздких планет-гигантов и далеких ледяных пятнышек в поясе Койпера — все скреплено мощью Солнца.

Хотя Солнце достаточно крупное, чтобы определять орбиты всех тел в нашей Солнечной системе, его размер в сравнении с другими звездами достаточно скромный. Конечно, есть звезды в тысячи раз больше нашей, но есть и такие, которые всего лишь в несколько раз меньше. Тем не менее по сравнению с окружающими его планетами Солнце просто гигант, внутри него могли бы поместиться 1,3 миллиона шаров размером с Землю! Что касается массы, то она в 750 раз превышает массу всех планет Солнечной системы, вместе взятых, и масса эта играет решающую роль в двух аспектах. Во-первых, без нее не было бы силы притяжения, удерживающей планеты на орбитах, а во-вторых, масса Солнца создает в его ядре давление, достаточное для термоядерного синтеза. Именно благодаря процессу термоядерного синтеза Солнце светит, а также испускает потоки заряженных частиц, пронизывающих всю Солнечную систему.

Сила Солнца была осознана еще в доисторические времена: многие древние культуры во всем мире поклонялись ему как богу. Даже без какого-либо научного обоснования было ясно, что Солнце жизненно важно для нашего существования; светящийся диск, когда он на небе, дает нам тепло и дневной свет, в его отсутствие мы мерзнем и погружаемся в темноту. По этой причине люди воздвигали памятники, пирамиды и курганы, которые не только славил Солнце, но и отмечали события солнечного

календаря, такие как солнцестояние. Остатки этих святынь и по сей день разбросаны по поверхности континентов, напоминая о том, что Солнце — одно из самых значимых явлений в нашей жизни как тогда, так и сейчас.

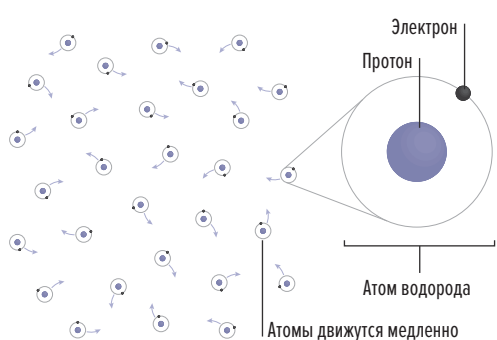
С точки зрения классификации звезд Солнце — желтый карлик, что на самом деле является несколько некорректным термином; в действительности большинство желтых карликов излучают белый свет, и только наименее крупные излучают желтый свет. Нам на Земле Солнце кажется разного цвета — от белого и желтого до оранжевого и красного, но это связано с наличием земной атмосферы и зависит от высоты Солнца в небе. При наблюдении из космоса, без фильтра атмосферы, оно кажется почти белым.

Желтые карлики составляют около 10% всех звезд, поэтому в нашей Галактике — а в ней около 200 миллиардов звезд — должно быть примерно 20 миллиардов звезд, подобных Солнцу. Продолжительность жизни звезд такого типа оценивается примерно в 10 миллиардов лет — с момента, когда в их ядре начинаются реакции термоядерного синтеза из водорода, и до момента, когда там заканчивается термоядерное топливо. Наше Солнце образовалось почти 4,6 миллиарда лет назад из коллапсирующего (сжимающегося) молекулярного облака поистине космического масштаба, и сейчас светило находится ближе к середине жизненного пути желтого карлика. По истечении этого срока оно пройдет этап быстрого расширения и станет красным гигантом. Диаметр Солнца увеличится по меньшей мере в 200 раз по сравнению с нынешним, и оно поглотит Меркурий и Венеру. Земля, может быть, и избежит этой участи, однако к тому времени планета уже будет непригодна для жизни из-за усиления светимости и тепла Солнца.

КАК СОЛНЦЕ СВЕТИТ

Солнце излучает тепло и свет, являющиеся результатом выделения энергии при термоядерном синтезе в ядре звезды. Более подробно эти реакции будут рассмотрены ниже, а пока отметим, что термоядерный синтез — это процесс, в результате которого два атомных ядра объединяются в одно новое атомное ядро с выделением энергии. Сначала рассмотрим, как ведет себя вещество при температурах, слишком высоких для образования атомов, таких как в ядре Солнца.

ВОДОРОД — НИЗКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



Ядро атома водорода, центральная его часть, содержащая основную долю массы, состоит из одного протона. При «нормальной» температуре протон связывается с электроном, образуя атом водорода с нулевым суммарным электрическим зарядом. Такие атомы могут находиться в любом из трех привычных нам состояний: твердом, жидком или газообразном — в зависимости от температуры и давления

ВОДОРОД — ПРЕДЕЛЬНО ВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ



В условиях чрезвычайно высоких температур частицы очень часто сталкиваются друг с другом. Водород больше не может существовать в виде атомов, так как электроны отрываются от ядер. Такое состояние вещества называется плазмой — море заряженных частиц, состоящее из положительно заряженных атомных ядер (ионов) и несвязанных с ними отрицательно заряженных электронов

84

По массе Солнце почти на три четверти состоит из водорода (H), который служит топливом для термоядерных реакций. Эти реакции происходят в условиях высокой температуры и давления, поэтому протекают только в ядре. Здесь сталкивающиеся ядра водорода (H) иногда так точно попадают друг в друга, что сливаются, а в результате последующих столкновений образуется ядро элемента гелия (He). Побочным продуктом данных реакций является огромное количество выделяемой энергии, которую мы воспринимаем как тепло или свет. Эта энергия возникает в результате процесса синтеза, в котором небольшая часть элементарных частиц массы преобразуется в энергию, причем огромную!



Тепло отводится из ядра Солнца путем излучения. Это означает, что продукт солнечного синтеза, гелий (He), остается в месте его образования, поскольку отсутствуют конвективные потоки, которые могли бы поднять его к поверхности. В результате продолжающихся реакций в центре солнечного ядра образуется внутреннее гелиевое ядро, которое постепенно, но неуклонно растет. Тепло ядра излучается наружу, пока не достигнет областей, где давление и плотность достаточно низки и делают возможным образование конвективных потоков, становящихся основным средством переноса тепла к поверхности в вышележащих слоях. Непосредственным источником света и тепла для Солнечной системы служат лишь ионы, достигшие поверхности Солнца, — они излучают в космическое пространство фотоны (носители света).

СТРОЕНИЕ СОЛНЦА

ЯДРО

Давление здесь более чем в 100 миллиардов раз превышает атмосферное давление на поверхности Земли. Каждую секунду примерно 550 миллионов тонн водорода превращается в гелий, при этом около 3,5 миллиона тонн вещества преобразуется в энергию.

ЗОНА ЛУЧИСТОГО ПЕРЕНОСА

Хотя вещество здесь не такое плотное, как в ядре, оно упаковано слишком плотно для образования конвекционных потоков. Тепло проникает сюда только посредством излучения.

КОНВЕКТИВНАЯ ЗОНА

Ячейки горячей плазмы расширяются и поднимаются к поверхности в конвекционных потоках. Энергия передается через эту область гораздо быстрее, чем в зоне лучистого переноса.

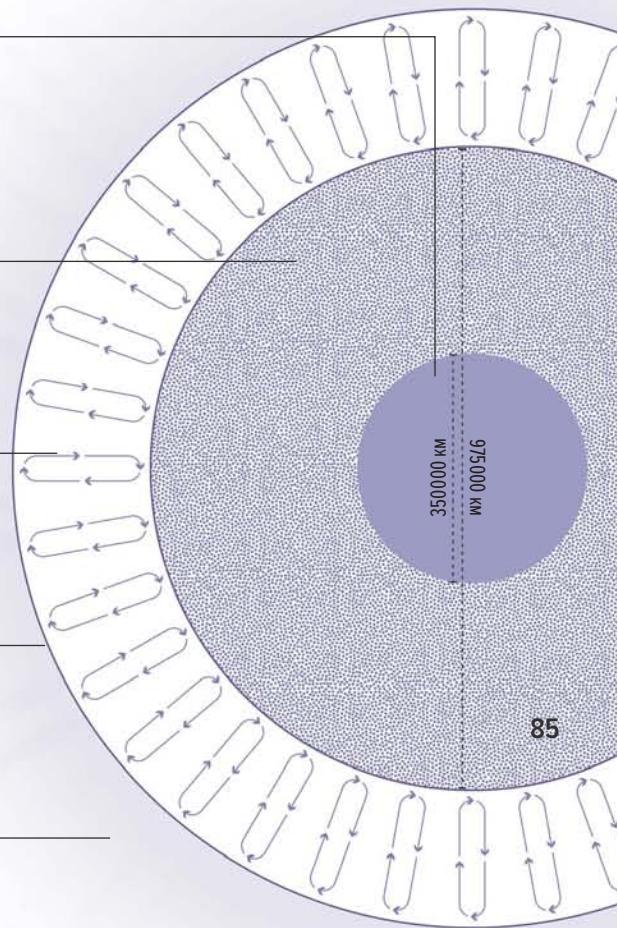
ФОТОСФЕРА

Видимая «поверхность» Солнца, хотя, будучи газообразным телом, оно не имеет твердой границы. Свет, который мы видим, исходит из этого слоя, глубина которого составляет около 100 км.

АТМОСФЕРА

Обычно атмосфера Солнца незаметна из-за яркости самого светила. Но во время затмений видно, что газ и заряженные частицы простираются в «ореоле» (также называемом солнечным «гало») далеко за пределы фотосферы. Атмосфера делится на четыре части: хромосферу, переходную область, корону и гелиосферу. Хромосфера расположена на высоте всего 2000 км над фотосферой — в данной области температура растет с увеличением высоты. Над этим слоем находится переходная область толщиной всего 200 км, в которой температура быстро растет примерно от 20 000 °С в верхней части хромосферы до температуры, близкой к миллиону градусов Цельсия. Далее переходим к короне, которая простирается на 8 млн км в космическое пространство. Хотя средняя температура здесь составляет около 1–2 млн °С, в самых горячих областях она приближается к 20 млн °С. Пока не совсем понятно, почему эти первые три области атмосферы горячее, чем фотосфера под ними, но похоже, что ответственно за повышение тепловой энергии, по крайней мере отчасти, мощное магнитное поле Солнца. Последний слой атмосферы, гелиосфера, простирается более чем на 50 а.е. в космическое пространство. Это область, пронизанная исходящим от Солнца потоком заряженных частиц.

В течение непродолжительного времени, когда при солнечном затмении Луна оказывается точно перед Солнцем, корону можно наблюдать невооруженным глазом

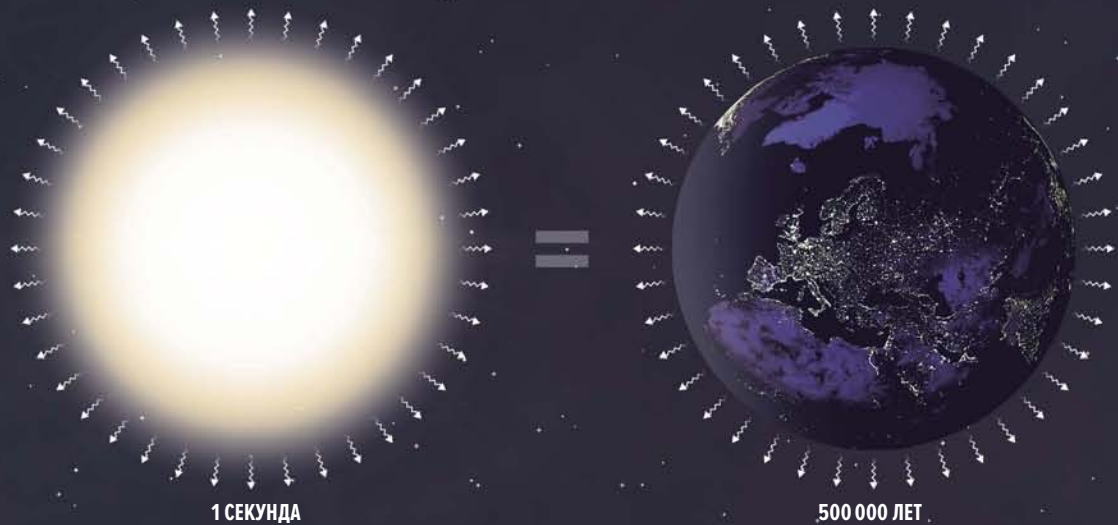


Диаметр фотосферы 1393 000 км

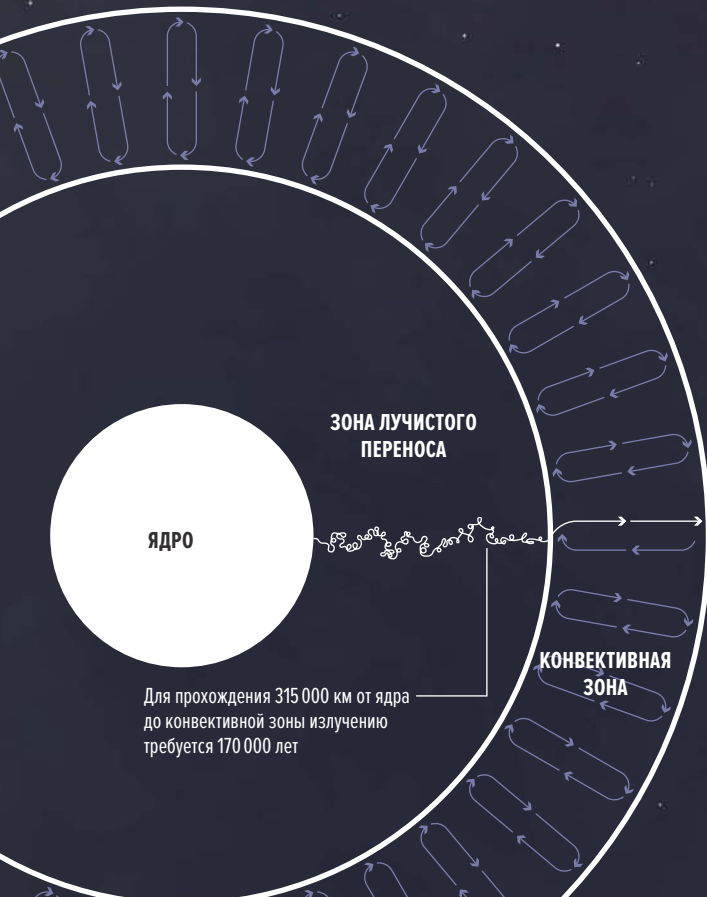


МОЩНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ

Солнце каждую секунду вырабатывает энергию, в 500 000 раз превышающую ту, которую человечество производит и использует за год.



86



ПУТЕШЕСТВИЕ НА ЗЕМЛЮ

Выделяемой в ядре энергии требуется около 170 000 лет, чтобы пройти через зону лучистого переноса. Дело тут в плотности вещества вблизи солнечного ядра: выделяемые в ядре фотоны не могут уйти далеко из-за взаимодействия с другими частицами. Эти фотоны поглощаются и переизлучаются в случайном направлении снова и снова, пока не попадут в конвективную зону.

МЕЖЗВЕЗДНАЯ СРЕДА

Излучение и вещество
в межзвездном пространстве

ГЕЛИОСФЕРА

Область пространства, в которой господствует
плазма солнечного ветра

Солнце и планеты

ГРАНИЦА УДАРНОЙ ВОЛНЫ

За этой границей под воздействием
внешнего давления межзвездного
пространства солнечный ветер резко
замедляется. Граница расположена
примерно в 75–90 а. е. от Солнца

ГЕЛИОПАУЗА


Граница гелиосферы, на которой
направленное от Солнца давление
солнечного ветра уравновешивается
звездными ветрами из
межзвездного пространства

ХВОСТ ГЕЛИОСФЕРЫ

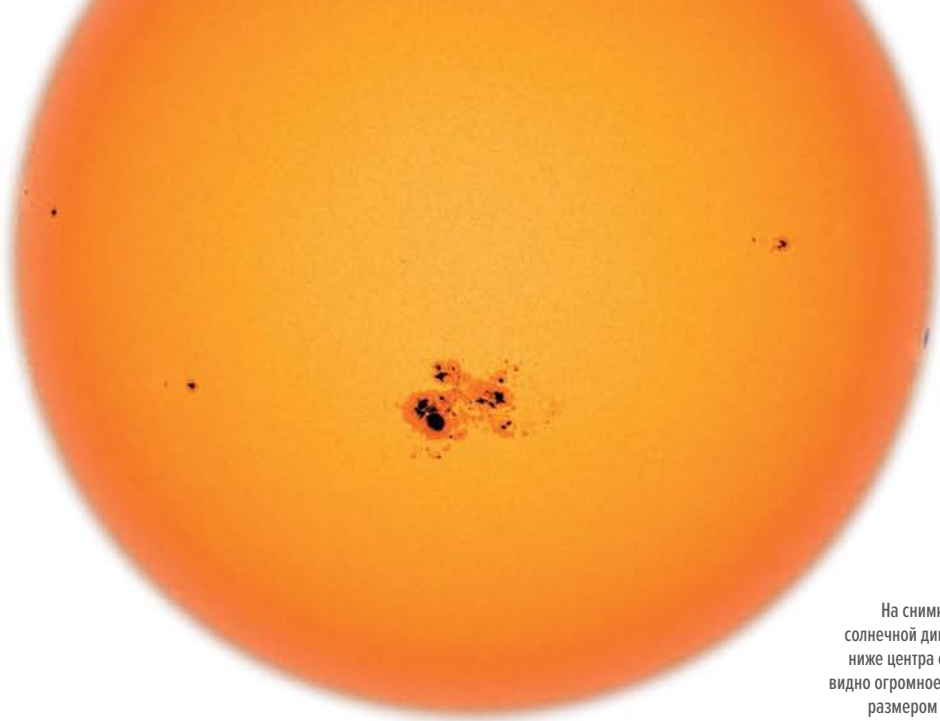
Гелиосфера почти сферическая
с одной стороны, но,
подобно комете, имеет хвост,
простирающийся в межзвездное
пространство

ВЛИЯНИЕ СОЛНЦА

Область, в которой заканчивается Солнечная система и начинается межзвездное пространство, точно не определена, поскольку Солнце влияет на пространство вокруг себя двумя способами: через излучение и через гравитацию. Гелиосфера — это «пузырь» вокруг Солнца, в который оно выбрасывает солнечный ветер. Она оканчивается там, где расположена гелиопауза: здесь солнечный ветер встречается с межзвездным пространством. Область пространства, в которой господствует притяжение астрономического тела, известна как сфера Хилла. Расположенные за ее пределами тела не могут быть захвачены на орбиту. Сфера Хилла у Солнца простирается в 1000 раз дальше гелиосферы и включает облако Оорта.



Фотон беспрепятственно покидает солнечную фотосферу, и ему требуется в среднем всего 8 минут и 19 секунд, чтобы достичь Земли, которая находится на расстоянии 152 млн км



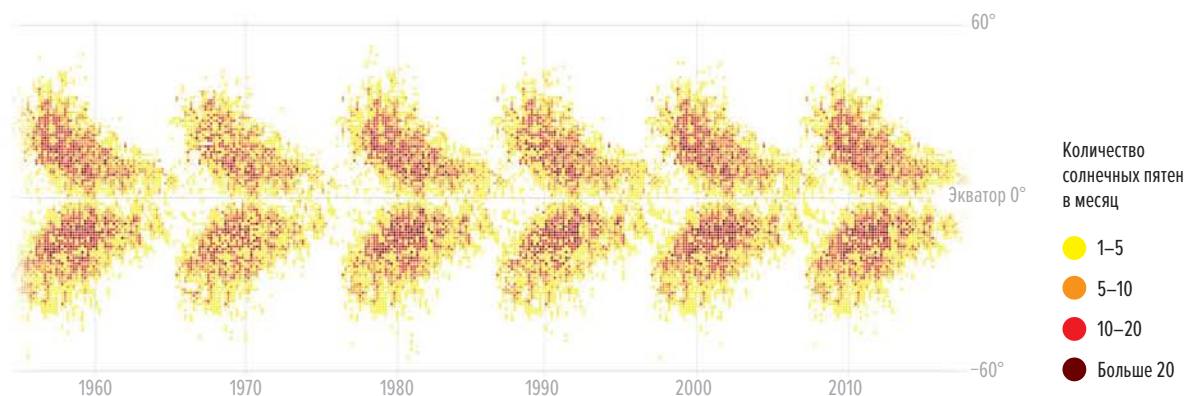
На снимках Обсерватории солнечной динамики НАСА чуть ниже центра солнечного диска видно огромное солнечное пятно размером почти 130 000 км

ПЯТНА НА СОЛНЦЕ

На поверхности Солнца часто наблюдаются темные пятна разного размера. Первоначально предполагалось, что эти солнечные пятна — бури в атмосфере, но теперь известно, что это более холодные участки внешней поверхности Солнца.

Поскольку из-за колоссальной температуры и давления внутри Солнца его атомы лишились электронов, H и He ведут себя не как обычные газы, а как плазма — газ из заряженных частиц: положительно заряженных атомных ядер и отрицательно заряженных электронов. Из-за постоянно меняющихся токов плазмы внутри Солнца создаваемые ими магнитные поля всегда находятся в движении, то усиливаясь, то ослабляясь, взаимодействуя друг с другом. Это временами приводит к появлению областей с магнитными полями, достаточно сильными, чтобы воспрепятствовать конвективным потокам внутри Солнца. Если горячая плазма не может подняться вверх, то на поверхности образуются участки, более холодные, чем окружающие области, и выглядят как пятна на Солнце. Такого рода пятна могут существовать от нескольких дней до нескольких месяцев и обычно появляются парами или большими группами.

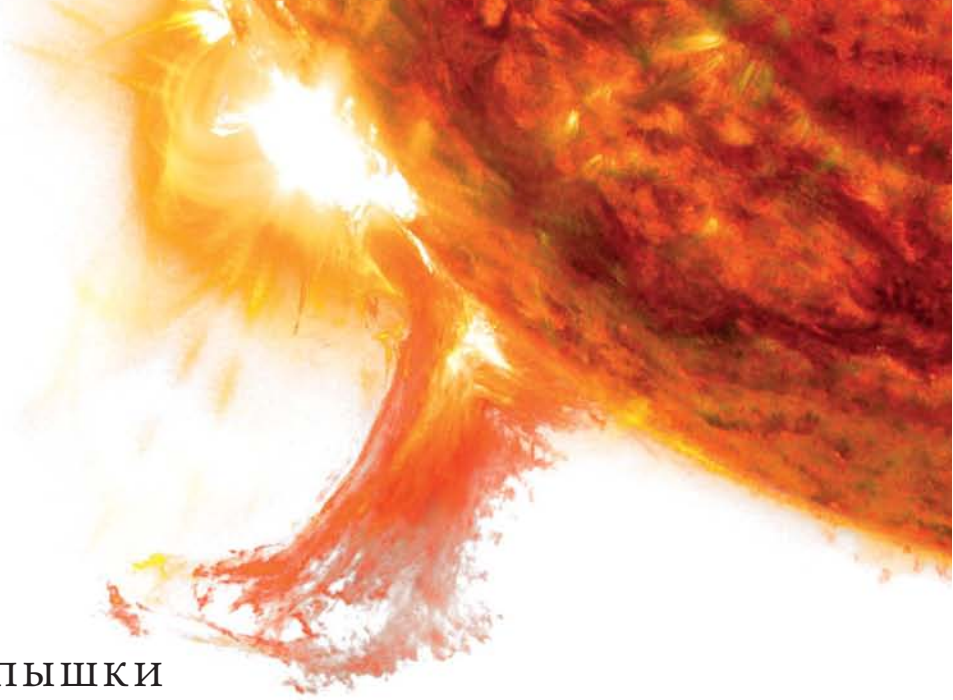
88



СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

Солнечная активность меняется с течением времени: периоды высокой активности регулярно сменяются периодами низкой активности. На графике зависимости широты солнечных пятен от года их появления (см. выше) видно, что активность повторяется с интервалом 11 лет. Из-за формы фигуры, образуемой точками на графике, ее часто называют «бабочкой Маундера».

Солнечная вспышка также была запечатлена Обсерваторией солнечной динамики НАСА — яркая вспышка света, следом за которой происходит выброс вещества в космическое пространство

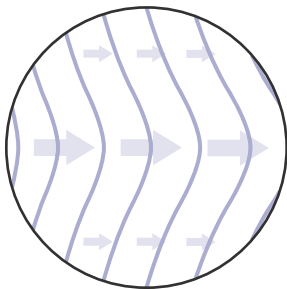


СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ

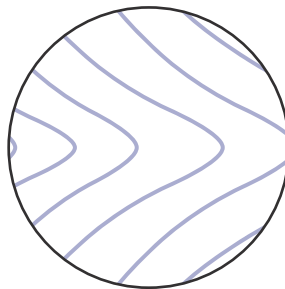
Над поверхностью Солнца происходят внезапные мощные взрывы, сопровождаемые энергичными потоками излучения. Процессы эти настолько бурные, что порождаемое ими рентгеновское и ультрафиолетовое излучение может создавать помехи для радаров и радиосвязи на Земле. Подобные всплески энергии часто происходят вблизи солнечных пятен в периоды высокой солнечной активности и, как и солнечные пятна, также связаны с магнитными полями Солнца.

Солнечные вспышки возникают при переключении и обрыве перекрученных силовых линий магнитного поля вблизи поверхности Солнца, этот процесс сопровождается существенным всплеском излучения во всех направлениях. Во время этого выброса накопленной энергии разорванные линии магнитного поля вновь соединяются более равномерным образом: они готовы к тому, чтобы вновь перекрутиться и повторить процесс еще раз. Самые мощные вспышки часто, но не всегда сопровождаются корональными выбросами вещества: Солнце исторгает огромное количество перегретой плазмы из своей короны в виде гигантского пузыря. Такие выбросы содержат примерно 10 миллиардов тонн солнечного вещества, и в отличие от солнечных вспышек они не распространяются во всех направлениях, а движутся только в одном.

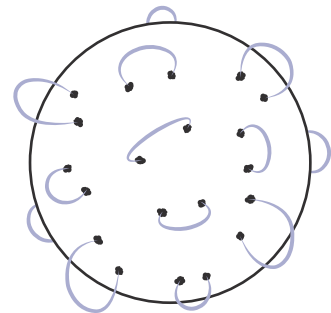
89



Вращение Солнца происходит быстрее вблизи экватора



Со временем силовые линии магнитного поля все более перекручиваются



Когда силовые линии магнитного поля уже больше не могут перекручиваться, они вырываются над поверхностью, образуя солнечные пятна в конце каждой петли

СИЛОВЫЕ ЛИНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В отличие от твердых планет не все области Солнца вращаются с одинаковой скоростью: экватор вращается на 20% быстрее, чем области вблизи полюсов. Это приводит к вытягиванию и запутыванию силовых линий магнитного поля, которые при этом накапливают энергию подобно резинке для волос. В конце концов магнитная энергия резко высвобождается, и силовые линии поля возвращаются в исходное состояние.

ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ В МАСШТАБЕ



МЕРКУРИЙ
4879 км



ВЕНЕРА
12 104 км



ЗЕМЛЯ
12 742 км



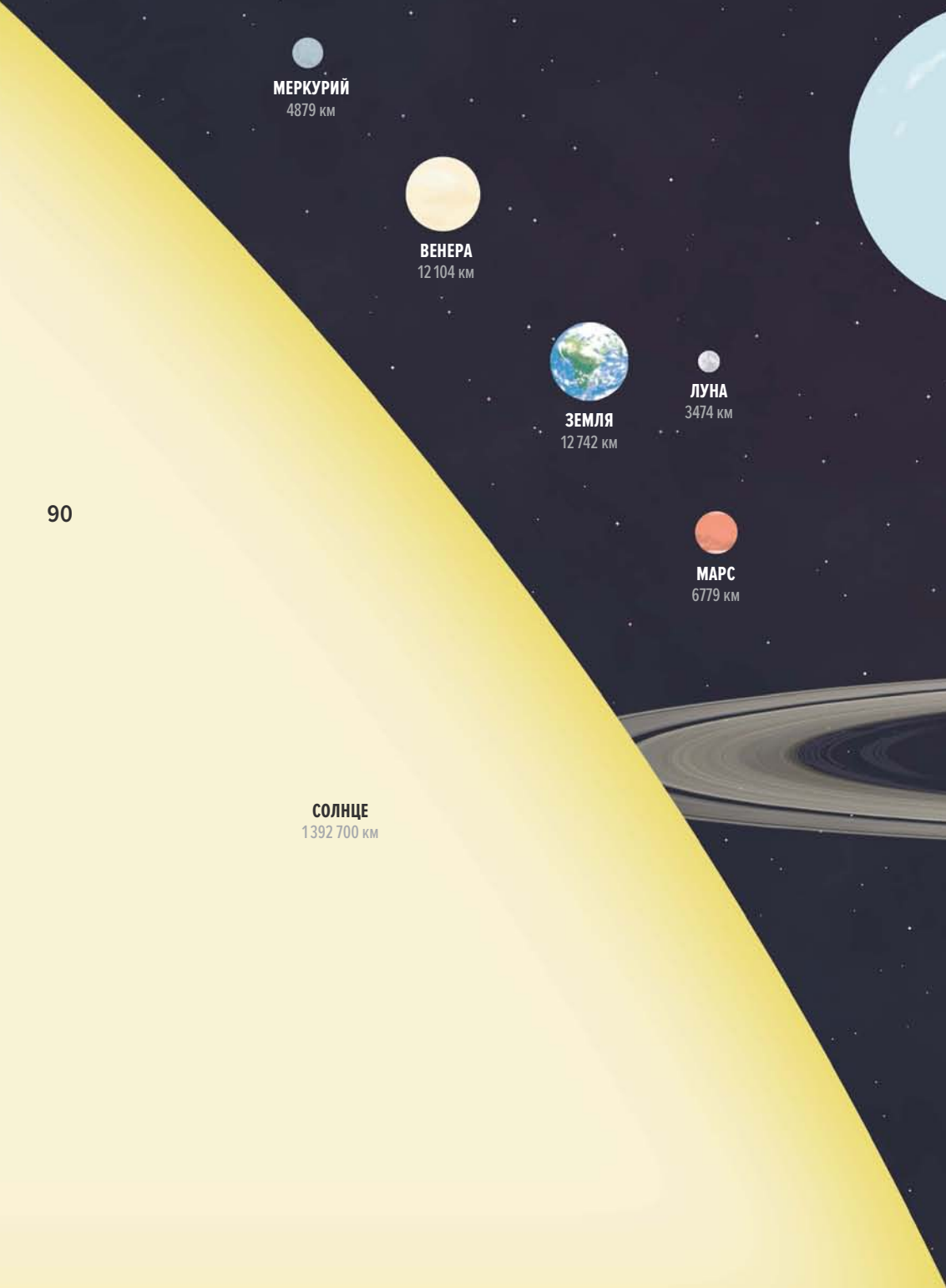
ЛУНА
3 474 км



МАРС
6 779 км



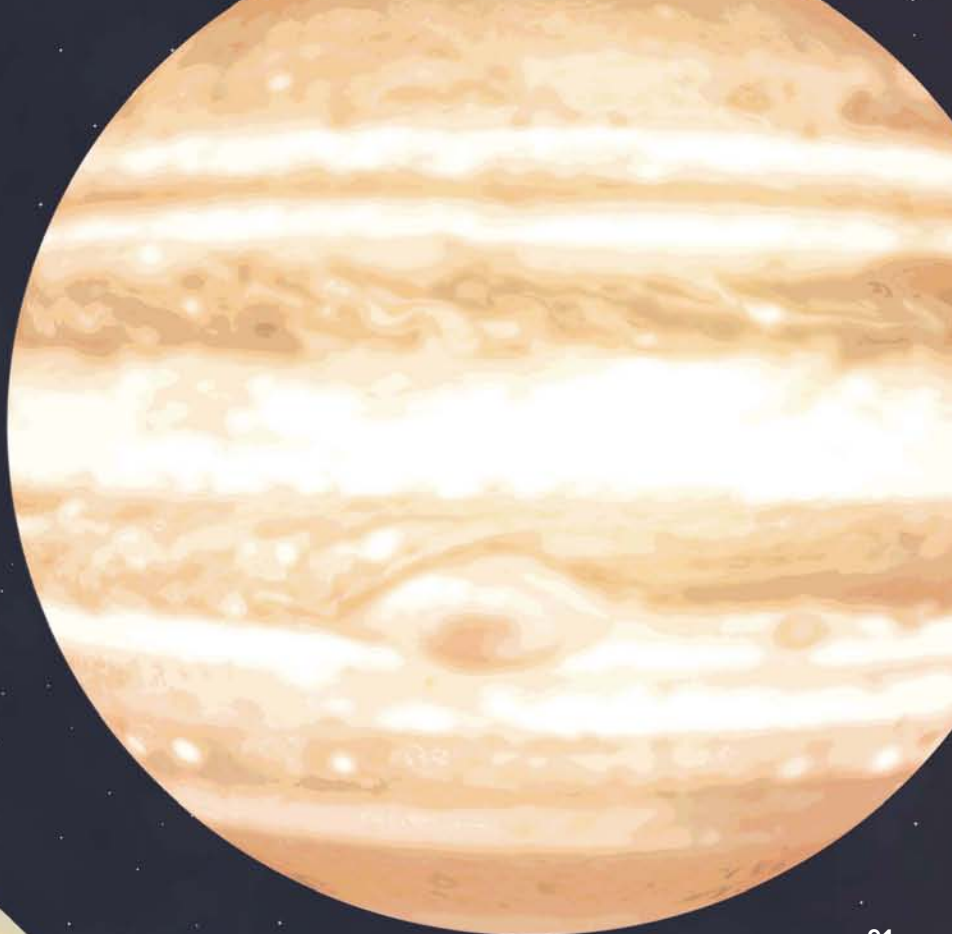
УРАН
50 724 км



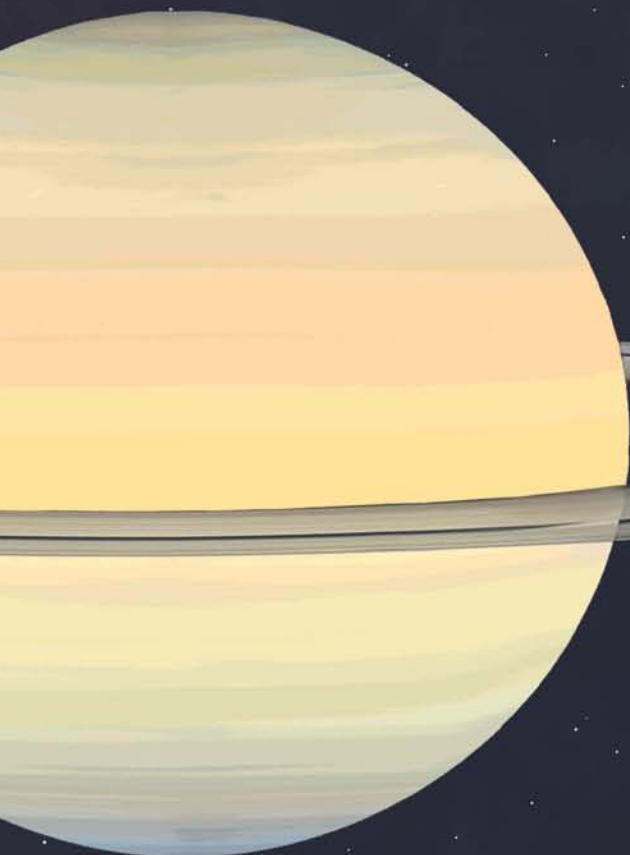
СОЛНЦЕ
1 392 700 км



ПЛУТОН
2376 км



ЮПИТЕР
139 820 км



САТУРН
116 460 км



НЕПТУН
49 244 км

Цифрами обозначен диаметр планет

ПОКИДАЕМ СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ

92

В настоящее время несколько космических аппаратов покидают пределы Солнечной системы, направляясь в глубокий космос. Хотя они, возможно, еще не полностью вышли из сферы гравитационного влияния Солнца, их скорость и направление движения позволяют с уверенностью сказать, что они не будут удерживаться на околосолнечной орбите. На бессрочную работу эти маленькие зонды не рассчитаны, но они смогут блуждать в межзвездном пространстве миллионы, если не миллиарды лет после отключения.

Центр Солнечной системы

Сатурн

Уран

Нептун

PIONEER 10

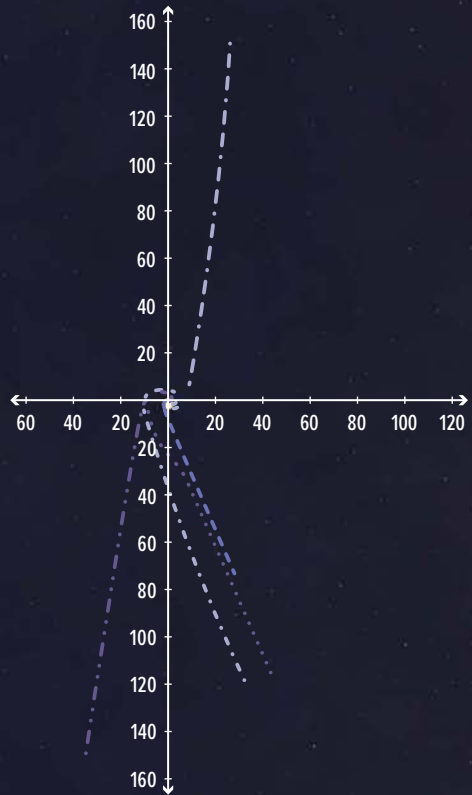
Первый искусственный объект, достигший «скорости отрыва», необходимой для того, чтобы покинуть Солнечную систему. Радиосвязь с зондом была потеряна в 2003 году, когда он находился на расстоянии 80 а. е.

PIONEER 11

Первый аппарат, достигший Сатурна. Перестал выходить на связь в 1995 году из-за того, что его антенна потеряла ориентацию на Землю.



ТРАЕКТОРИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ВИД С ПОЛЮСА
(в а.е.)



VOYAGER 1

Пролетел вблизи Юпитера, Сатурна и спутника Сатурна Титана. Первый космический аппарат, пересекший гелиопаузу и отправившийся в межзвездное пространство.

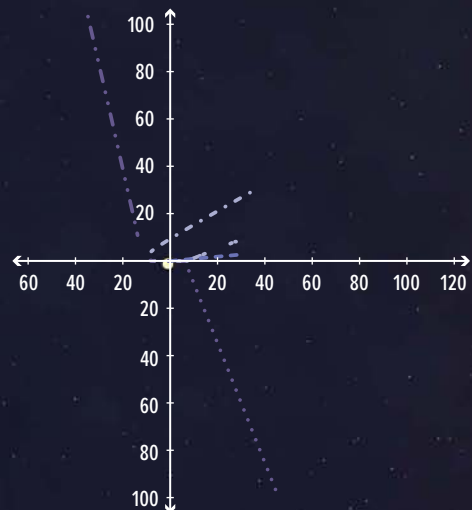
VOYAGER 2

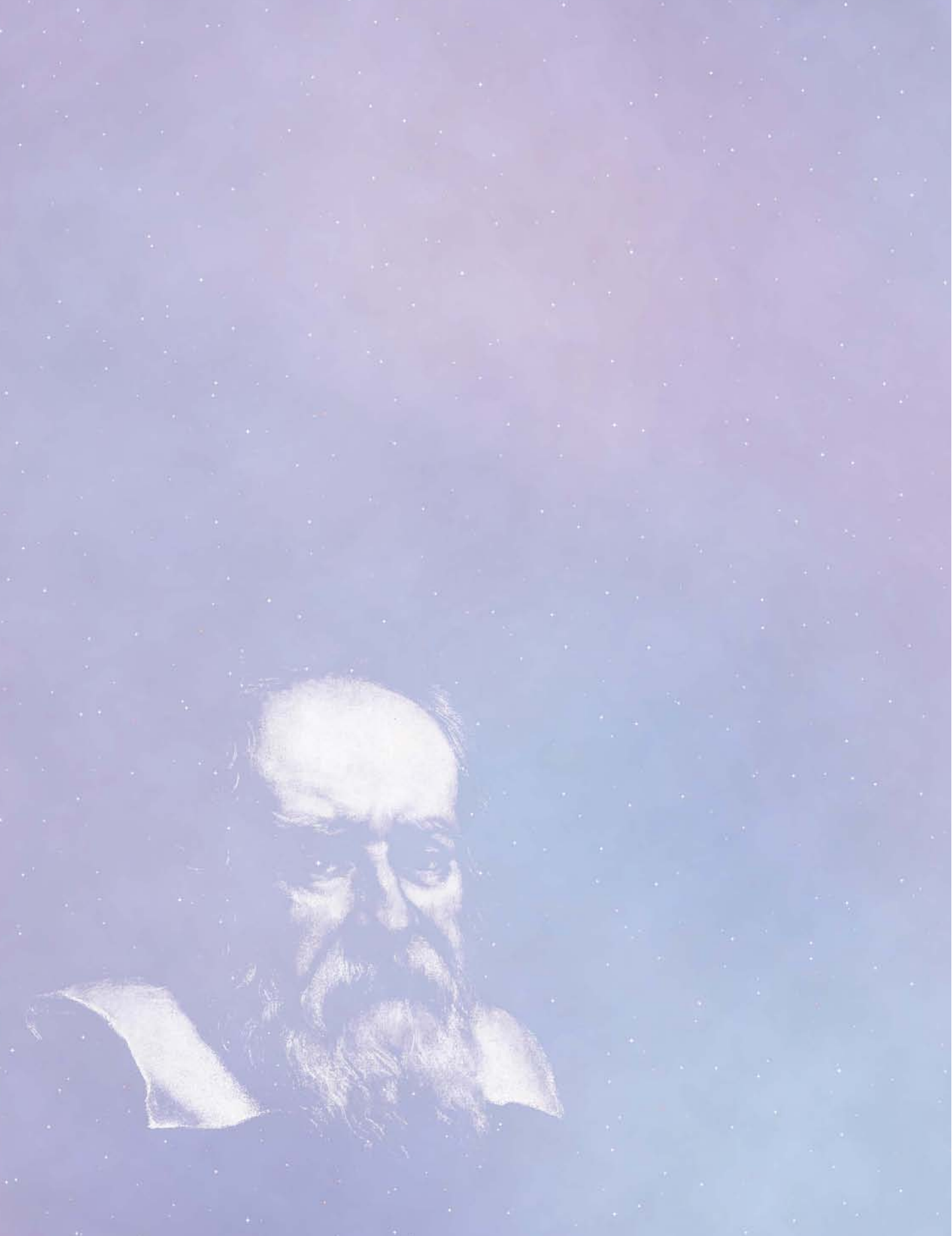
Пролетел вблизи Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Единственный аппарат, добравшийся до Урана или Нептуна.

NEW HORIZONS

Приблизился к астероиду, пролетел вблизи Юпитера на пути к Плутону. Стал первым космическим аппаратом, достигшим карликовой планеты.

ТРАЕКТОРИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ВИД С ЭКВАТОРА
(в а.е.)





“

*Следует
измерять то,
что измеримо,
и делать
измеримым то,
что таковым
не является*

”

Галилео Галилей (1564–1642)

ЗВЕЗДЫ

96

ИНЫЕ «СОЛНЦА»

Изучив все, что находится в пределах Солнечной системы — саму нашу звезду, планеты, спутники и прочие тела, — пришло время отправиться на поиски иных солнц.

Унизывающие ночную тьму искорки света как будто безмятежно и кротко мерцают на фоне черного бархатного неба. Однако, как и наше Солнце, каждая из них представляет собой шар бушующего, раскаленного вещества, содержащий плотное ядро, где в процессе термоядерного синтеза выделяется невообразимое количество энергии. Звезды совсем не безмятежны! Именно благодаря термоядерному синтезу они способны превращать водород в более тяжелые элементы, без которых не было

бы ни астероидов, ни каменных планет, ни, конечно же, жизни. То вещество, из которого мы созданы, когда-то было выплавлено внутри звезды. Мы созданы из звездной пыли.

Звезды бывают самые разные: от маленьких холодных, которые могут спокойно гореть триллионы лет, чтобы потом медленно угаснуть, до горячих звездных гигантов, неистово расходующих свое топливо. Самые крупные из них заканчивают свою жизнь мощнейшим взрывом, рассыпая по космосу порожденные ими элементы и оставляя после себя причудливейшие объекты, диковины Вселенной: нейтронные звезды и черные дыры.

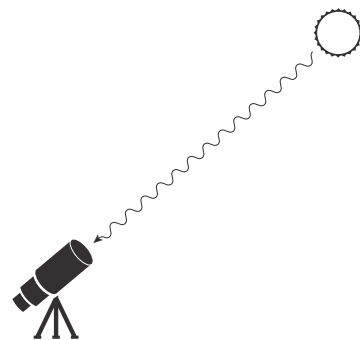
Прежде чем подробно разбираться в странных и удивительных свойствах звезд и их жизненных циклах, поясним, как удалось узнать о них так много. Ведь ближайшая к нам после Солнца звезда находится на расстоянии более 4 световых лет. Может показаться до некоторой степени нелепой сама мысль, что люди вообще в состоянии многое узнать о телах столь отдаленных. Однако сложные научные методы в сочетании с наблюдениями открыли перед нами новые возможности для понимания поведения звезд и их внутреннего устройства.

Изучая свет

98



До научной революции наблюдения за небесами ограничивались возможностями, имеющимися у человеческого невооруженного глаза. Наши предки лишь наблюдали за положением звезд на небе и пытались предсказывать их движения, но мало знали об истинной природе звезд. С наступлением эпохи науки был изобретен телескоп, позволивший астрономам видеть дальше и четче, чем раньше. Наряду с крупными открытиями в пределах Солнечной системы, такими как новые спутники планет, кольца Сатурна и две самые далекие планеты,



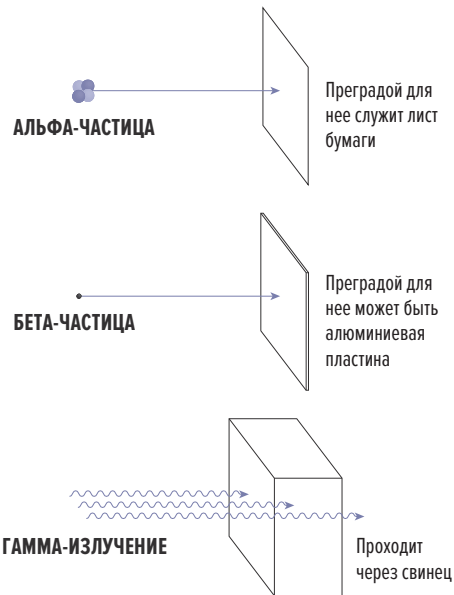
благодаря телескопу удалось увидеть множество звезд. Вскоре тысячи из них были внесены в каталоги ведущими астрономами того времени. К середине XIX века немецкий астроном Фридрих Бессель совершил огромный шаг вперед, став первым человеком, определившим расстояние до звезды путем измерения ее параллакса. Используя только телескоп, точные измерения и математику, Бессель смог получить представление о реальных масштабах окружающего нас пространства и населяющих его звезд.

Только в 1859 году произошел научный прорыв, перевернувший наше представление о природе звезд. Немецкий физик Густав Кирхгоф стал первопроходцем в использовании спектроскопии, применяемой для определения химического состава солнечного вещества. Он обнаружил, что при разделении светового луча на составные части (например, с помощью призмы, как на рисунке на противоположной странице) в спектре света становятся видны особенности, по которым можно определить химические элементы, встретившиеся на пути луча. Этот метод позволил не только узнать, из чего на самом деле состоят звезды, но и определить содержание различных элементов в них. Благодаря спектроскопии можно точно измерить температуру звезды, по которой определяется ее масса, а также установить, движется ли звезда от нас или к нам и с какой скоростью. Исследование света дает больше информации, чем мы когда-либо могли надеяться получить, просто глядя в великое неведомое — даже с помощью лучших телескопов.

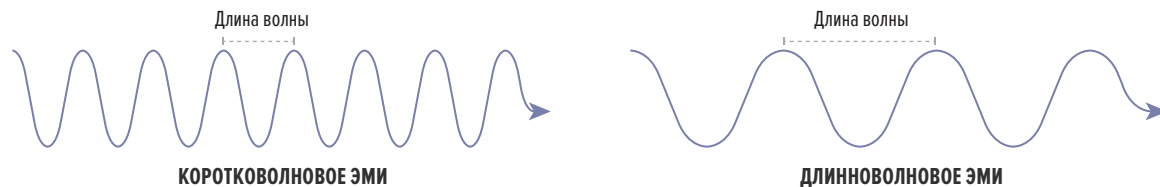
СВЕТ И ИЗЛУЧЕНИЕ

Прежде чем изучать способы использования света для анализа свойств звезд, будет целесообразно ознакомиться с некоторыми свойствами самого света.

Когда речь идет об энергии, излучаемой звездами, мы будем использовать термин «излучение», а не «свет». Свет — это только то, что можно воспринять человеческим глазом, тогда как излучение охватывает все, что нельзя видеть непосредственно. Итак, что же такое излучение? Существуют различные виды излучения, но все они предполагают передачу энергии в виде волн или частиц. Альфа- и бета-излучение — виды излучения, состоящего из быстродвижущихся частиц, но поскольку эти частицы обладают массой, другое вещество является преградой для них. Электромагнитное излучение (ЭМИ) состоит из фотонов, которые не имеют массы и движутся со скоростью света. Эти фотоны при движении колеблются, как волны, причем длина волн определяет характер излучения. Например, при определенной длине волн наши глаза воспринимают фотоны как различные цвета видимого света, но при немного большей или меньшей длине волн они становятся для нас невидимыми. Самые коротковолновые виды ЭМИ известны как гамма-лучи: они способны проходить через плотное вещество, такое как свинец.

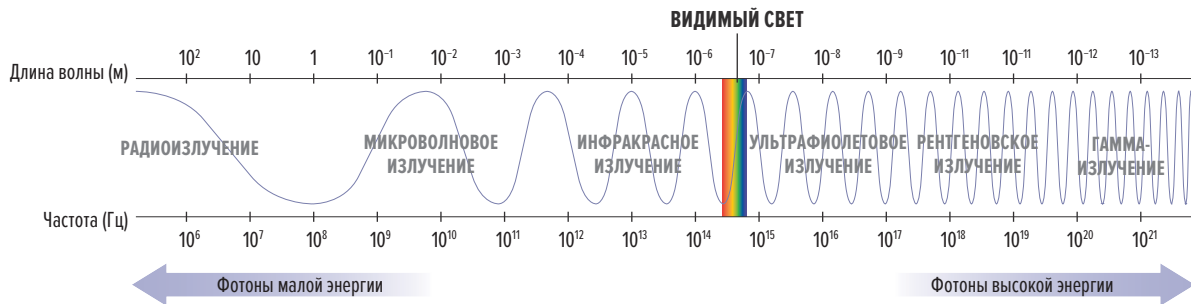


100



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СПЕКТР

Весь диапазон ЭМИ называют электромагнитным спектром. Хорошо видно, насколько малая часть электромагнитного спектра доступна человеческому глазу: несмотря на разнообразие ярких цветов, украшающих нашу повседневную жизнь, мы видим лишь малую часть того, что происходит на самом деле.



Как уже говорилось выше, ЭМИ характеризуется длиной волны, но также используются такие характеристики, как частота и энергия фотонов. Речь идет об энергии единичного фотона, причем фотоны с высокой энергией соответствуют коротковолновым ЭМИ. Частота — это количество волн, проходящих за одну секунду. Поскольку все ЭМИ распространяются со скоростью света, то, чем больше длина волны, тем меньше волн проходит за секунду.

СПЕКТРОСКОПИЯ

Перед нами стеклянная призма, на которую падает луч белого света: проходя через призму, свет разделяется на отдельные цветные полосы. Это происходит из-за преломления — процесса, в результате которого волны, переходящие из одной среды в другую, меняют направление своего движения. В зависимости от длины волны фотоны изменяют направление движения различным образом, что приводит к тому, что лучи разных цветов отклоняются на разные углы. В итоге видно, что белый свет состоит из всех цветов радуги.



НЕПРЕРЫВНЫЙ СПЕКТР



Чистый белый свет без линий поглощения

ЛИНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ — КОНЦЕНТРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

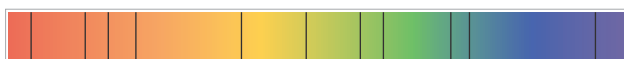


При меньшем содержании какого-либо элемента создаваемые им линии поглощения выглядят светлее



При большем содержании элемента создаваемые им линии поглощения выглядят темнее

ЛИНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ — ТЕМПЕРАТУРА АТМОСФЕРЫ



При более низких температурах линии поглощения уже

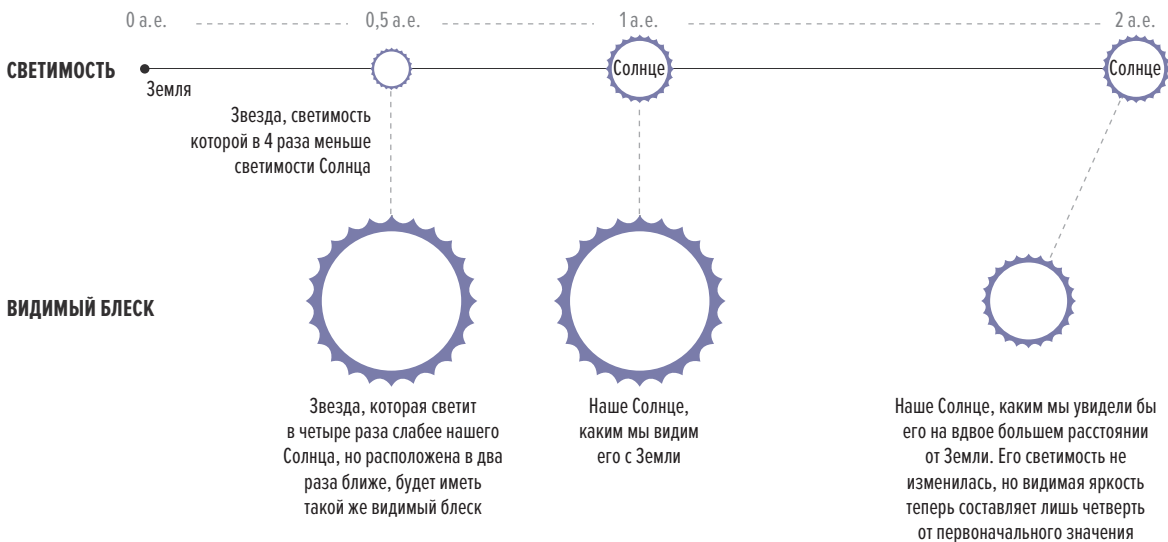


При более высоких температурах линии шире

Описанные выше соображения позволяют астрономам точно так же анализировать излучение звезды — разделив его на составные части. При этом вместо просто непрерывного спектра они обнаруживают среди цветовой гаммы вертикальные черные линии. Это линии поглощения, свидетельствующие о том, что фотоны определенной длины волны задерживаются в атмосфере звезды, а расположение линий указывает, какие именно химические элементы это поглощение обеспечивают. Линии не просто сообщают, какие элементы присутствуют, но и в каком количестве они содержатся. На основе полученной таким образом информации ученые также определяют температуру фотосферы звезды — оценивают ее по толщине линий: более широкие линии свидетельствуют о более горячей атмосфере. Спектроскопический метод используется не только для классификации звезд, но также он сыграл решающую роль в формировании нынешнего понимания, из чего состоит Вселенная в целом.

СВЕТИМОСТЬ

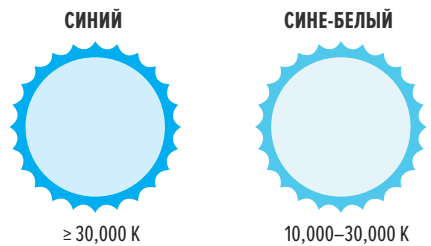
Светимость звезды характеризует количество излучаемой ею энергии, а не видимый ее блеск, наблюдаемый с Земли. Звезда может выглядеть очень яркой, но на деле может оказаться во много раз менее светимой, чем гораздо более удаленная. В повседневной жизни мы измеряем яркость лампочек в ваттах, но в астрономии светимость измеряется в единицах солнечной светимости. Светимость звезды можно рассчитать по видимому блеску звезды, если определить расстояние.



102

ЦВЕТ ЗВЕЗД

Звезды светят разными цветами: от красного сияния Альдебарана до нашего желтого Солнца и сине-белой Веги. По цвету можно судить о температуре фотосферы звезды. Чем краснее звезда, тем она холоднее, а также в большинстве случаев (для звезд так называемой главной последовательности) тем ниже ее светимость. Например, если есть две звезды одинакового размера, но одна из них красная, а другая — голубая, то голубая звезда ярче. Исключительно горячие звезды испускают большую часть своего излучения в ультрафиолетовом диапазоне. Хотя такое излучение и невидимо для глаза, оно вносит свой вклад в светимость звезды.

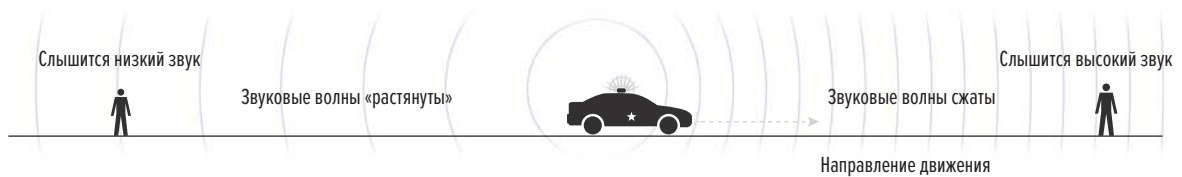


КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ / ФИОЛЕТОВОЕ СМЕЩЕНИЕ

Из-за волновой природы света и излучения движение объекта, излучающего свет, влияет на воспринимаемый цвет.

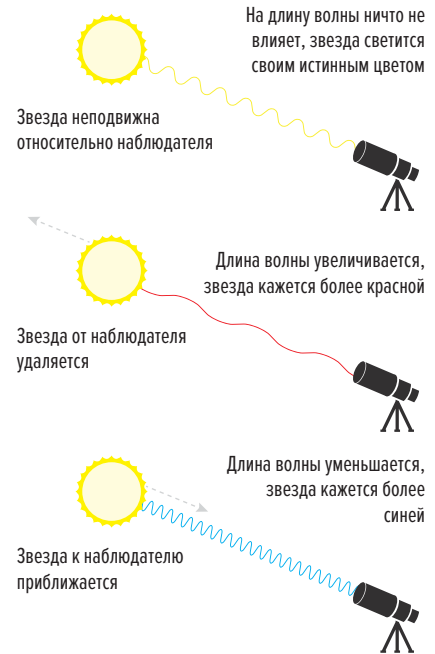
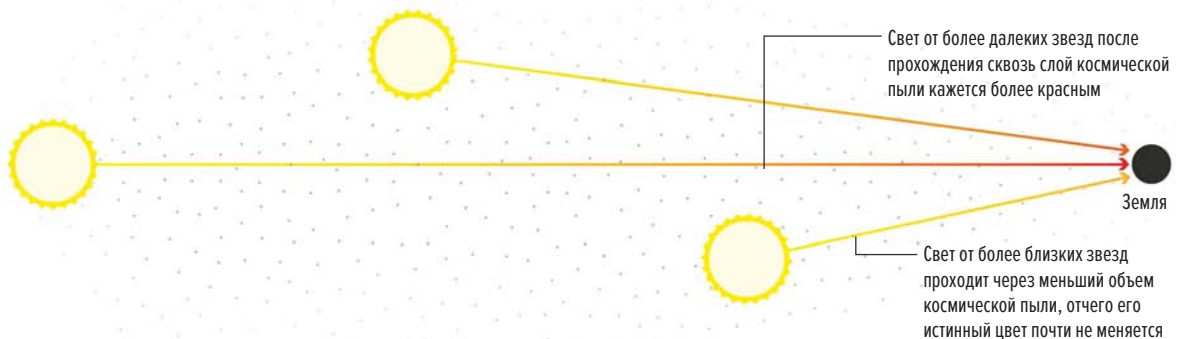
Волны от движущегося к нам объекта выглядят сжатыми и более короткими. В случае видимого света более короткие длины волн соответствуют цветам в синей части спектра, поэтому чем короче длины волн, тем более синим кажется объект. Данное явление известно как фиолетовое смещение. Красное же смещение — это прямо противоположное явление: объект удаляется от вас, длина волн увеличивается, и удаляющийся объект кажется краснее. Это явление также известно как эффект Доплера.

Здесь, на Земле, вы вряд ли заметите изменение цвета приближающихся или удаляющихся объектов. Эффект становится заметным только при скоростях свыше 5200 км/с, что примерно в 75 раз больше скорости самого быстрого космического аппарата. Но вы наверняка сталкивались с подобным явлением в случае со звуком, а не со светом (в обоих случаях мы имеем дело с волнами). Пример — звук сирены быстро движущейся полицейской машины воспринимается как более высокий, когда она мчит по направлению к вам (длина звуковой волны меньше), и более низким, когда она удаляется (длина звуковой волны больше).



КОСМИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ

Космическое пространство — не идеальный вакуум: по всей Вселенной разбросаны частицы тончайшей пыли. Можно задать следующим вопросом: если пространство усеяно всеми этими крошечными частицами, то как же можно проникнуть взором столь же далеко во Вселенную, как проникает свет? Это происходит потому, что частицы невероятно малы — поперечником в одну миллионную долю метра, совсем как частички сигаретного дыма. При таком размере они не блокируют свет, но поглощают его и немного рассеивают, и это означает, что космическое пространство не совсем прозрачно. Космическая пыль, как правило, в большей степени поглощает свет в синей части спектра, то есть чем дальше находится небесный объект, тем более красным он будет казаться. Поэтому в следующий раз, когда кто-то скажет «черное, как ночь, небо», знайте: на деле оно имеет слегка красный оттенок.



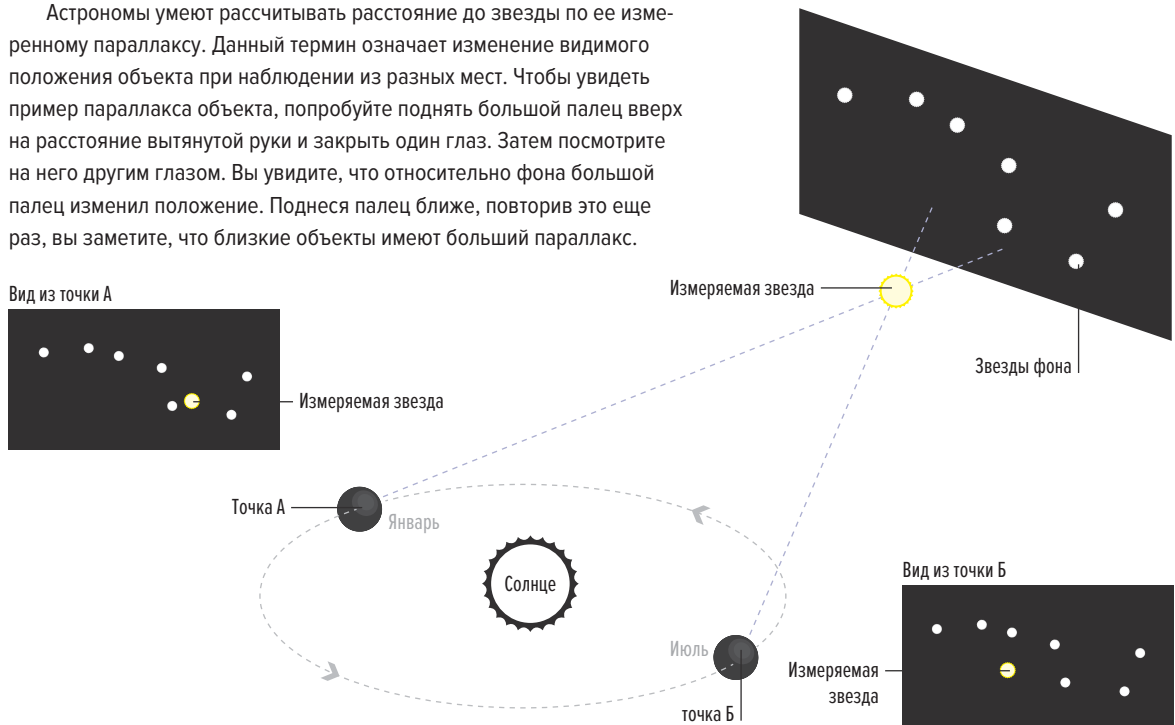
ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗВЕЗД И РАССТОЯНИЙ ДО НИХ

РАССТОЯНИЕ ДО ЗВЕЗД

Обычному наблюдателю на Земле звезды кажутся лишь светлыми точками на фоне черного покрывала ночи. Как далеко они находятся, можно только гадать... один световой год? Десять световых лет? Или в 100 раз больше? Определение расстояний до звезд позволяет понять наше место во Вселенной и построить трехмерную модель космоса.

Астрономы умеют рассчитывать расстояние до звезды по ее измеренному параллаксу. Данный термин означает изменение видимого положения объекта при наблюдении из разных мест. Чтобы увидеть пример параллакса объекта, попробуйте поднять большой палец вверх на расстояние вытянутой руки и закрыть один глаз. Затем посмотрите на него другим глазом. Вы увидите, что относительно фона большой палец изменил положение. Поднеся палец ближе, повторив это еще раз, вы заметите, что близкие объекты имеют больший параллакс.

104

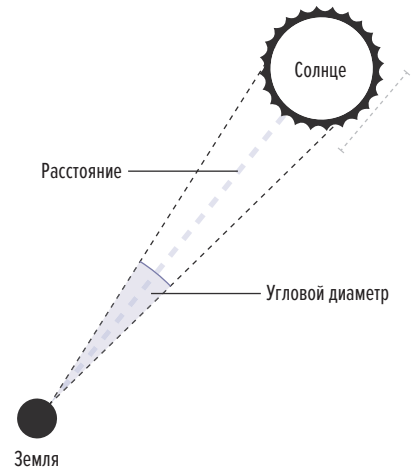


При измерении звездных параллаксов желательно, чтобы две точки наблюдения находились как можно дальше друг от друга. Для этого астрономы проводят наблюдения выбранной звезды, а затем ждут полгода, чтобы Земля прошла половину пути по своей орбите, как можно дальше от первоначальной точки наблюдения. Отсюда они снова наблюдают звезду, чтобы определить, насколько сместилось ее видимое положение. На основе этих данных и тригонометрических расчетов можно рассчитать расстояние до звезды. Звезды находятся так далеко, что расстояния удобнее измерять не в километрах (так как цифры будут огромными), а по величине времени, которое требуется свету, чтобы пройти данное расстояние. Свету требуется 8,3 минуты, чтобы добраться от Солнца до Земли, поэтому мы говорим, что Солнце находится на расстоянии 8,3 световой минуты. Ближайшая после Солнца звезда находится от нас на расстоянии 4,2 светового года.

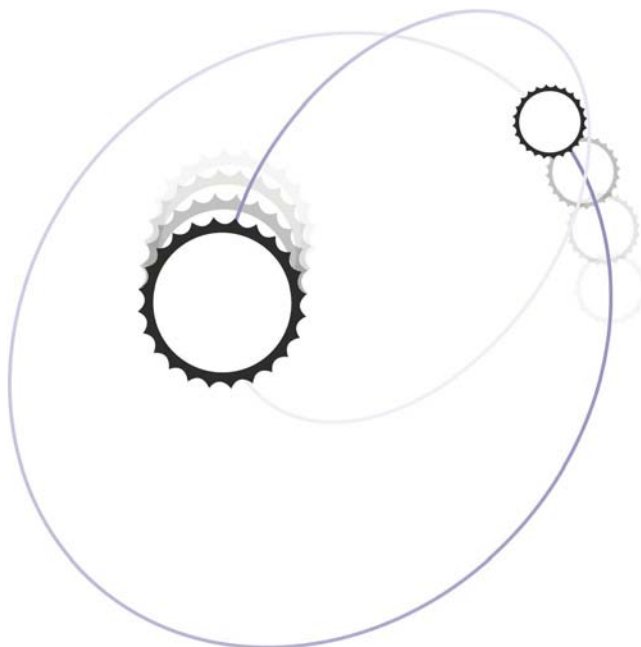
Для измерения параллакса звезды требуются очень точные данные, и наземные телескопы не всегда для этого подходят. Из-за создаваемых атмосферой помех такие наблюдения имеют более низкое разрешение и годятся только для измерения параллаксов звезд, находящихся на расстоянии менее 65 световых лет. Наблюдения посредством космических телескопов отличаются гораздо более высокой точностью, и с их помощью можно определить положение звезд, удаленных на тысячи световых лет.

РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД

Чтобы узнать размер Солнца, можно просто измерить его угловой диаметр (его видимый размер на небе) и, зная расстояние до него, с помощью тригонометрических вычислений определить реальный диаметр светила. Это возможно, потому что Солнце находится относительно близко и мы можем достаточно точно измерить его видимый размер. Другие звезды так далеки, что даже при наблюдении в самые мощные наземные телескопы они выглядят точками, к тому же несколько размытыми. Для проведения измерений астрономы используют интерферометрический метод, в ходе применения которого как минимум два телескопа наводятся на одно и то же место в небе. На основе анализа нескольких изображений по данным наблюдений с разных точек можно получить гораздо более точное обработанное изображение — достаточно четкое, чтобы провести необходимые измерения и вычислить реальный диаметр наблюдаемого объекта.



105



МАССА ЗВЕЗД

Массу звезды можно определить по движению обращающихся вокруг нее других тел. Например, массу Солнца можно определить по времени, которое Земля затрачивает на один оборот вокруг него, и расстоянию нашей планеты от Солнца. Но массы других звезд обычно определяют по их взаимодействию с другими звездами. Многие звезды образуют пары, обращающиеся друг вокруг друга, и массы их можно определить, измеряя относительные расстояния и скорости компонентов таких пар.

После того как этим методом были оценены массы многих звезд, стало понятно, что масса звезд напрямую связана со светимостью, причем незначительное увеличение массы приводит к сильному увеличению светимости. По этой причине знание светимости также позволяет в определении массы звезд.

Туманности

Вселенная поистине огромна, и большая ее часть кажется пустым пространством. Изредка в пустоте мы видим организованные скопления вещества, такие как звезды и планетные системы, но вещество также существует в виде гигантских, разреженных, бесструктурных облаков — так называемых туманностей. Размеры этих великолепных облаков могут достигать 1000 световых лет, и, хотя плотность там лишь немного выше, чем в окружающем пространстве, туманности представляют собой первый шаг на пути к формированию более осязаемых небесных тел.

Туманности бывают разных видов и образуются по-разному: одни возникают в результате постепенного объединения населяющих космическое пространство частиц, другие представляют собой остатки умирающих звезд. В первом случае туманности возникают из межзвездной среды: ионов, молекул и излучения, заполняющих* пространство между звездами. Обычно межзвездная среда настолько разрежена, что составляющие ее частицы практически не притягиваются друг к другу, но при некоторых возмущениях некоторые ее фрагменты становятся плотнее других, и образуется туманность. Поэтому такие туманности состоят из элементов, присутствующих в межзвездной среде: примерно на три четверти из водорода, остальное — гелий с незначительной примесью других элементов. При коллапсе (сжати) отдельных областей туманности под действием собственного тяготения и повышении плотности вещества до степени, когда благодаря возрастанию температуры и давления становятся возможными реакции термоядерного синтеза, формируются области звездообразования.

Другие виды туманностей образуются в результате взрывов сверхновых — это одни из самых мощных явлений во Вселенной. Взрыв сверхновой происходит в конце жизни очень массивной звезды и сопровождается выбросом в космическое пространство составляющего ее вещества. Поскольку в результате ядерных реакций в недрах массивных звезд образуются более тяжелые элементы, возникающие после взрывов сверхновых, туманности отличаются более разнообразным набором химических

элементов по сравнению с туманностями, сформировавшимися из межзвездной среды. Такие туманности способны порождать не просто новое поколение звезд, но и содержат вещество для образования каменных планет. Менее массивные звезды, такие как Солнце, в конце своей жизни также образуют туманности. Как правило, туманности, порожденные звездами с массами, равными от одной до восьми солнечных, имеют почти сферическую форму, из-за чего получили название планетарных. С астрономической точки зрения планетарные туманности относительно недолговечны: продолжительность их существования составляет десятки тысяч лет.

Некоторые туманности имеют вид темных участков на небе: содержащиеся в них газ и пыль полностью заслоняют свет звезд. В иных случаях они освещаются другими источниками света, а при определенных обстоятельствах светятся сами. Это происходит из-за рождения в звездных «инкубаторах» новых звезд или из-за присутствия вблизи туманности массивных горячих звезд — в обоих случаях излучаемые звездами фотоны высокой энергии взаимодействуют с газом туманности, в результате чего он переизлучает полученную энергию на длинах волн, зависящих от температуры и состава. Хотя многие туманности светятся и в видимом диапазоне, изрядная их часть обнаруживается с помощью светофильтров длительных экспозиций. Специальные методы позволяют получать снимки туманностей, демонстрирующие эти объекты во всей красе.

* Слово «заполняющих» следует воспринимать как некоторое преувеличение — средняя плотность межзвездной среды составляет около одного атома на кубический сантиметр, но при этом она пронизывает всю Галактику. Чтобы получить представление о ничтожности плотности межзвездной среды, напомним, что в одном кубическом сантиметре воздуха на уровне моря насчитывается 25×10^{21} — т.е. 25 000 000 000 000 000 000 000 молекул.



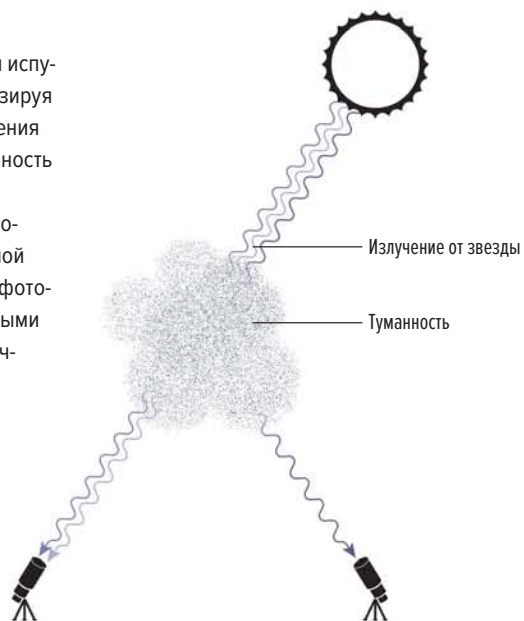
МЕЖЗВЕЗДНОЕ ОБЛАКО

ИЗУЧЕНИЕ ТУМАННОСТЕЙ

Аналогично тому, как о составе звездных атмосфер судят, исследуя испускаемый звездами свет, можно узнать многое о туманностях, анализируя спектр проходящего через них света. По тому, какие линии поглощения присутствуют, можно определить, из каких элементов состоит туманность и какова ее температура.

В случае туманностей, которые излучают сами, а не просто поглощают проходящее через них излучение, используется несколько иной подход. Вещество в туманностях, подвергающихся бомбардировке фотонами высокой энергии, излучаемых расположенными в них «звездными инкубаторами» или иным мощным расположенным поблизости источником, ионизируется. При этом элементы, из которых состоят такие туманности, излучают фотоны определенных длин волн, которые затем можно исследовать. Спектр такого типа туманностей в основном «пустой», с отдельными яркими полосами, называемыми «эмиссионными линиями», которые служат признаками наличия тех или иных элементов.

Для облегчения понимания спектры здесь изображены очень четкими и простыми, тогда как в действительности их расшифровка — гораздо более трудная задача. Эмиссионные спектры каждого элемента имеют множество линий, которые иногда накладываются друг на друга.



Спектр излучения, прошедшего через туманность, содержит линии поглощения. Как и в случае звездных атмосфер, эти линии возникают вследствие поглощения атомами различных элементов фотонов с определенными значениями длины волны



Это случай туманности, нагретой излучением близлежащей звезды или вследствие происходящего в ней процесса звездообразования. Газ, из которого состоит туманность, переизлучает фотоны на определенных длинах волн, в результате чего в спектре появляются эмиссионные линии

108

НИЗКАЯ ПЛОТНОСТЬ

Несмотря на огромные размеры, туманности имеют поразительно малую массу. Облако туманного вещества размером с Землю имело бы общую массу всего в несколько килограммов. Только благодаря невообразимым масштабам туманностей в них достаточно вещества для создания звезд и планет.

ТУМАННОСТЬ РАЗМЕРОМ С ЗЕМЛЮ

Масса: 3 кг

ЗЕМЛЯ

Масса: 5 972 000 000 000 000 000 000 кг

ТУМАННОСТЬ ТАРАНТУЛ

Туманность NGC 2070, расположенная от нас на расстоянии 160 000 световых лет, обладает высокой яркостью благодаря быстрому темпу звездообразования. Это самая активная область в Местной группе галактик. Наиболее яркой ее частью является молодое звездное скопление возрастом всего несколько миллионов лет, известное как NGC 2070, в котором находятся самые массивные звезды из когда-либо обнаруженных. В данном районе наблюдаются десятки молодых звезд, масса каждой из которых превышает массу Солнца в 100 раз, а температура их в десять раз выше солнечной, — а также тут встречаются сотни тысяч менее крупных звезд. Поперечник туманности составляет около 1600 световых лет.

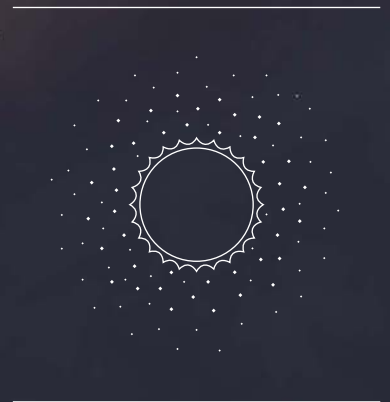
109

ТУМАННОСТЬ СИЯЮЩИЙ ГЛАЗ

Туманность NGC 6751 — планетарная туманность на расстоянии 6500 световых лет от Земли. Она образовалась несколько тысяч лет назад, когда звезда сколлапсировала (сжалась), сбросив в космическое пространство внешние газовые оболочки. Звезда (видна в центре туманности) сейчас очень яркая, с невероятно горячей поверхностью с температурой около 140 000 °С. Именно за счет чрезвычайно интенсивного излучения окружающий ее газ светится. Диаметр туманности составляет 0,8 светового года, что примерно в 600 раз больше диаметра нашей Солнечной системы.

Протозвезды

110



Первая фаза жизни звезды начинается с ее рождения из сжимающегося газового облака внутри туманности. Молодые звезды светятся еще очень слабо до тех пор, пока не наберут из окружающей туманности достаточную массу для начала реакций термоядерного синтеза в ядре.

Рождение протозвезды происходит, когда она наберет массу, необходимую для формирования достаточно плотного ядра. По мере поглощения близлежащего вещества зарождающимися звездами падающие на них частицы нагреваются в результате взаимных столкновений и в ходе этого процесса испускают инфракрасное излучение. Для астрономов подобные точечные инфракрасные источники служат маркерами будущих маломассивных звезд, которые иначе трудно обнаружить. Захватывая окружающий их газ, протозвезды набирают массу, и процесс этот продолжается до исчерпания запасов газа.

Хотя давление и температура внутри протозвезды могут быть недостаточны для запуска термоядерного синтеза из атомов водорода, предполагается, что в ядре некоторые подобные реакции все же протекают. Возможно, в недрах протозвезд происходит слияние ядер дейтерия (изотопа водорода), но из-за значительно меньшей распространенности дейтерия по сравнению с обычным водородом количество проходящих реакций намного меньше. Считается, что все излученные в ходе синтеза фотоны полностью поглощаются и переизлучаются накопленной протозвездой пылью.

Протозвезда перестает быть таковой, как только в ее ядре начинаются реакции термоядерного синтеза из водорода. Как скоро это происходит? Считается, что, например, наше Солнце просуществовало в виде протозвезды миллион лет, что составляет лишь малую часть его прогнозируемой продолжительности жизни в 10 миллиардов лет. У других звезд все может быть иначе: чем они более массивны, тем быстрее произойдет их коллапс и начнется термоядерный синтез из водорода, тем меньше времени они проведут на стадии протозвезды.

Коричневые карлики

Не все протозвезды становятся звездами. Многие из них так и не успевают набрать достаточное количество вещества, чтобы достичь температуры и давления, необходимых для термоядерного синтеза из водорода. Если набранная масса не превышает 13 Юпитеров, то тело становится планетой-гигантом, подобной тем, что мы видим в нашей Солнечной системе. Тела с массой от 13 до 80 Юпитеров известны как коричневые карлики, их относят к субзвездным объектам, поскольку в них не запускаются реакции термоядерного синтеза из водорода.

Как можно заключить из названия, коричневые карлики отличаются низкой светимостью, но при этом они на самом деле не коричневые, а самых различных цветов — от пурпурного до оранжевого и красного. Как и в протозвездах, в недрах коричневых карликов происходит термоядерное горение дейтерия, но сами эти небесные тела остаются тусклыми и холодными. Температура поверхности самых холодных коричневых карликов часто ниже нашей комнатной. Со временем они израсходуют имеющиеся в них запасы дейтерия и потеряют остатки тепла, излучив его в космос.



Диаграмма Герцшпрунга — Рассела

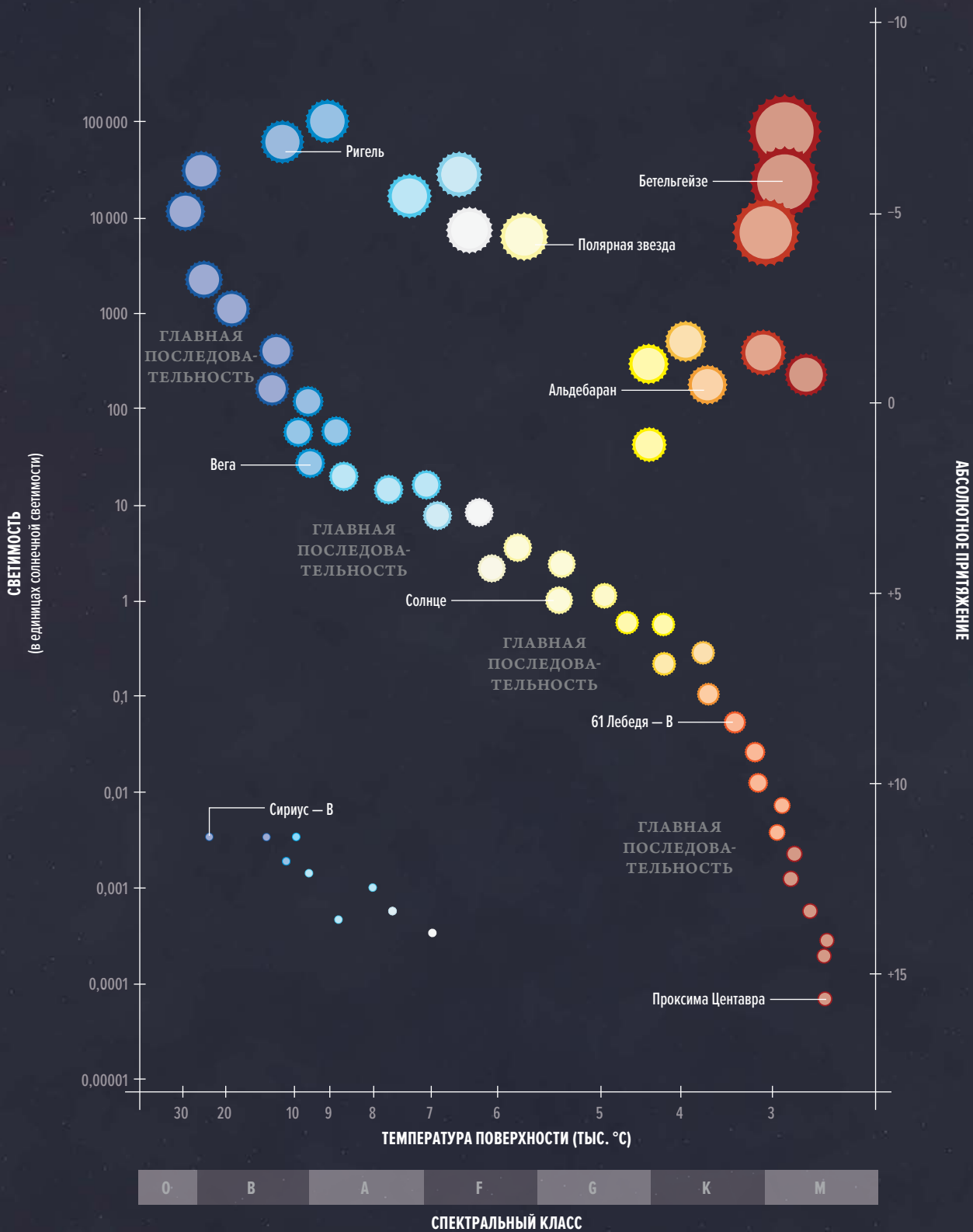
112

Когда протозвезда достигает критической массы и температура внутри нее становится достаточно высокой, в ее ядре запускается термоядерный синтез, в результате чего звезда начинает светиться. Так протозвезда становится полноценной звездой. После того как звезда засияет, астрономы могут использовать различные методы для определения ее основных параметров: светимость можно определить по видимой яркости и расстоянию до звезды, а температуру — по ее цвету и с помощью спектроскопии. К концу XIX столетия таким образом изучили десятки тысяч звезд, в результате чего был получен обширный научный материал. Поэтому, как то принято у ученых, чтобы разобраться в данных и понять, есть ли какие-либо закономерности, полученные результаты нанесли на графики. Знаменитая диаграмма Герцшпрунга — Рассела была придумана в 1910 году независимо друг от друга американским астрономом Генри Расселом и датским астрономом Эйнаром Герцшпрунгом. Она стала одним из важнейших инструментов, используемых в астрофизике для изучения жизни звезд.

Диаграмма Герцшпрунга — Рассела представляет собой график зависимости светимости (откладывается по вертикальной оси, так что самые яркие звезды находятся сверху) от температуры поверхности (откладывается по горизонтальной оси, при этом температура уменьшается вправо, поэтому самые холодные звезды расположены с правой стороны). Из диаграммы видно, что связь между температурой и светимостью неслучайна, звезды делятся на отдельные группы. Большинство звезд располагаются в основной последовательности — в полосе, проходящей от левого верхнего до правого нижнего края диаграммы. Новорожденная звезда встраивается в последовательность, когда в ее недрах запускаются реакции термоядерного синтеза водорода. Место звезды на главной последовательности зависит от того, какую

массу ей удалось накопить. Звезды, накопившие большую массу, горят ярко и жарко и находятся в левом верхнем углу главной последовательности, звезды с малой массой горят слабо и тускло и находятся в правом нижнем углу. Попав в главную последовательность, звезда проводит большую часть своей жизни в устойчивом состоянии с почти неизменной температурой и светимостью до тех пор, пока не закончится топливо.

Первоначально на графиках такого рода отображали лишь сведения о температуре и светимости, но иногда изображают зависимости для относительных размеров звезд. Примером может служить приведенная здесь диаграмма, на которой очевидно вырисовывается иная картина. В правом верхнем углу, где находятся звезды высокой светимости, но притом холодные, размеры звезд чрезвычайно велики, а в левом нижнем углу находятся самые маленькие звезды.



Звезды

главной

последовательности

Звезд главной последовательности во Вселенной больше всего. К ним относится и наше Солнце. Звезды главной последовательности находятся на самой стабильной, сбалансированной и длительной стадии своего существования: со времени запуска термоядерного синтеза водорода и до гибели, вызванной расходом топлива.

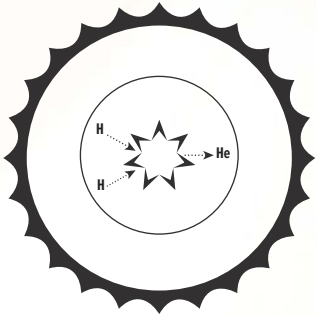
Рост протозвезды за счет захвата вещества из окружающей туманности сопровождается гравитационным сжатием — процессом, в ходе которого выделяется энергия. При достижении протозвездой массы, равной 0,08 солнечной, в ядре становятся возможными реакции термоядерного синтеза из водорода. Этот процесс также сопровождается выделением энергии. Звезда официально признается звездой главной последовательности, когда термоядерный синтез становится основным источником выделяемой энергии и звезда теряет всю энергию, полученную в результате гравитационного сжатия.

До излучения первого света и расходования энергии, полученной в результате гравитационного сжатия, звезда называется звездой до главной последовательности. На диаграмме Герцшпрунга — Рассела такого рода звезды располагаются чуть выше группы звезд главной последовательности. По мере потери энергии гравитационного сжатия звезда до главной последовательности движется к полосе звезд главной последовательности; после потери всей энергии звезда «оседает» на главной последовательности. Иногда эволюция звезд полностью минует стадию до главной последовательности: самые массивные звезды коллапсируют так быстро (по астрономическим меркам), что термоядерный синтез начинается почти сразу.

Достигнув главной последовательности, звезда оказывается в состоянии равновесия; направленная наружу сила, возникающая в результате ядерных реакций в ядре, уравнивается сокрушительной силой гравитации. В таком состоянии светимость и температура звезды со

временем растут очень постепенно, поэтому звезды не уходят далеко от своего первоначального положения на диаграмме. Звезда покидает главную последовательность, когда израсходует значительную часть запасов водорода, при этом светимость ее возрастает, а сама она становится звездой другого типа — такие объекты будут рассмотрены ниже. Более массивные звезды проводят на главной последовательности меньше времени, поскольку гораздо быстрее исчерпывают запасы водорода. Например, наше Солнце проведет на главной последовательности около 10 миллиардов лет, а звезда в пять раз большей массы израсходует свой водород всего за 70 миллионов лет.

Звезды главной последовательности составляют около 90% всех звезд во Вселенной. Так почему же их так много? Просто потому, что именно на этой стадии звезды проводят большую часть своей жизни, и поэтому мы, как правило, застаем их на этом этапе существования. Это астрономический эквивалент выборки всех людей в возрасте от 8 месяцев до 80 лет, когда исключаются только младенцы и старики.



**ВОДОРОД ПРЕОБРАЗУЕТСЯ В ГЕЛИЙ
ПОСРЕДСТВОМ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА**

Термоядерный синтез в недрах звезд

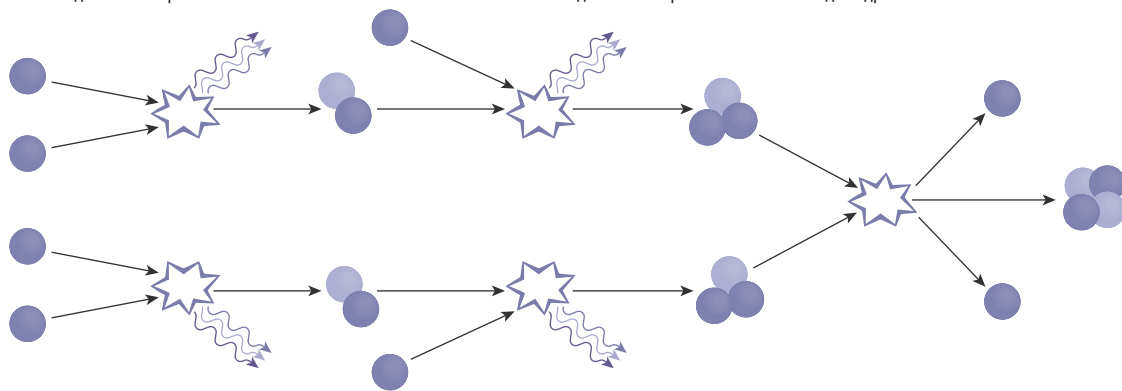
ЦЕПНАЯ РЕАКЦИЯ

Звезды начинают свою жизнь на главной последовательности с термоядерного синтеза из водорода. Мы уже вкратце описывали, как это происходит в нашем Солнце и как в результате столкновений между атомными ядрами водород может превращаться в гелий. Существует несколько различных вариантов столкновений, которые могут привести к образованию гелия. На приведенной ниже схеме показан самый простой из них.

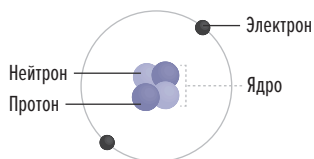
1. Два ядра водорода сталкиваются и сливаются, образуя ядро дейтерия, при этом выделяется энергия

2. Ядро дейтерия сталкивается с ядром водорода, в результате образуется ядро изотопа гелий-3 и выделяется энергия

3. Два ядра гелия-3 сталкиваются, образуются два ядра водорода и одно ядро гелия



116



АТОМ

Атом — мельчайшая частица химического вещества. Количество протонов в ядре атома определяет, к какому элементу он относится; при этом у каждого элемента бывают разновидности, называемые изотопами, различающиеся количеством нейтронов в ядре

АТОМ ВОДОРОДА
Самый распространенный изотоп водорода

ЯДРО ВОДОРОДА
Один протон

АТОМ ДЕЙТЕРИЯ
Изотоп водорода с одним нейтроном

ЯДРО ДЕЙТЕРИЯ
Протон и нейтрон

АТОМ ГЕЛИЯ
Самый распространенный изотоп гелия

ЯДРО ГЕЛИЯ
Два протона и два нейтрона

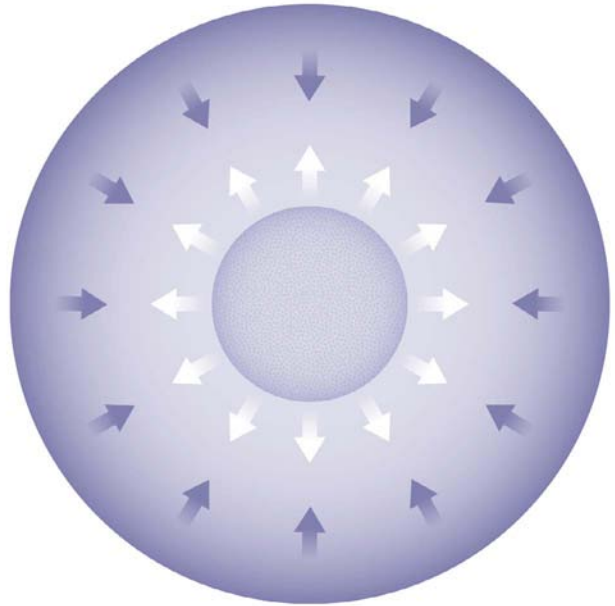
АТОМ ГЕЛИЯ-3
Изотоп гелия с одним нейтроном

ЯДРО ГЕЛИЯ-3
Два протона и один нейтрон

Хотя целиком вся последовательность реакций может происходить только при температуре около 10 миллионов °С, второй этап — слияние ядер дейтерия и водорода — может протекать и при более низких температурах. Именно по этой причине коричневые карлики излучают столь слабо: они недостаточно горячи для термоядерного синтеза из атомов водорода, но температура внутри них достаточно высокая, чтобы они могли не спеша расходовать естественные запасы дейтерия. Дейтерий составляет лишь 0,002% водорода во Вселенной, и столкновения между ядрами этого изотопа в недрах звезд происходят очень редко, что объясняет низкую светимость коричневых карликов.

РАВНОВЕСИЕ

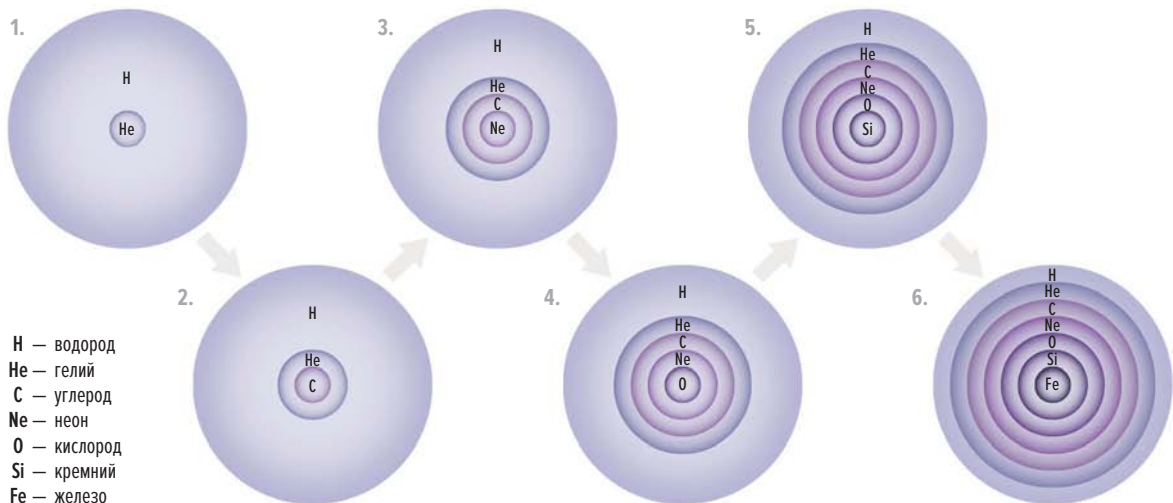
Выделяемая в результате ядерных реакций энергия обеспечивает направленное наружу давление, уравновешивая силу тяготения, направленную внутрь звезды к ее ядру. В отсутствие ядерных реакций звезда коллапсирует сама на себе. И такая судьба уготована всем звездам, когда у них закончится топливо. Как они пройдут этот процесс, во многом зависит от их массы. Наименее массивные звезды медленно сжигают свой водород, и, когда он заканчивается, термоядерный синтез прекращается, а звезда коллапсирует. Температура и давление в недрах более массивных звезд оказываются достаточно высокими, чтобы обеспечить возможность протекания реакций термоядерного синтеза из других элементов. Но для звезды в фазе главной последовательности направленная наружу сила, порождаемая термоядерными реакциями, уравновешивается направленной к центру силой притяжения, поэтому звезда остается в равновесном состоянии — не расширяется и не сжимается.



ЗВЕЗДНЫЕ ОБОЛОЧКИ

На приведенном ниже рисунке звезда № 1 относится к главной последовательности; она состоит в основном из водорода, но при горении часть водорода превращается в гелий. Гелий образуется в центре ядра, где с течением времени накапливается. По мере нарастания центрального гелиевого ядра водород продолжает гореть в окружающей его оболочке, также превращаясь в гелий, количество которого в звезде, таким образом, еще увеличивается. У наиболее массивных звезд описанный процесс на этом не заканчивается: под воздействием высоких давлений и температур в их ядрах возможны реакции синтеза из более тяжелых элементов. Так, в центре гелиевого ядра в результате термоядерных реакций образуется более тяжелый элемент — углерод, и, таким образом, внутри оболочки (термоядерно) «горящего» гелия, которая, в свою очередь, расположена внутри оболочки «горящего» водорода, образуется углеродное ядро. Этот процесс повторяется снова и снова, причем каждое последующее ядро образуется из более тяжелого элемента, чем предыдущее, пока все не дойдет до железа.

117



Маломассивные звезды



118

Звезды с массой менее половины массы Солнца сжигают водород гораздо медленнее из-за более низкой температуры и давления внутри них. Маленькие и относительно холодные, эти красные звезды светят дольше, чем любые другие объекты во Вселенной, а затем медленно угасают.

1. Звезда вступает на главную последовательность, когда в ее недрах постепенно запускаются реакции термоядерного синтеза из водорода; чем меньше масса красного карлика, тем дольше он будет гореть. Внутри менее массивных красных карликов благодаря менее экстремальным условиям конвективные потоки являются главным механизмом переноса тепла во всем внутреннем

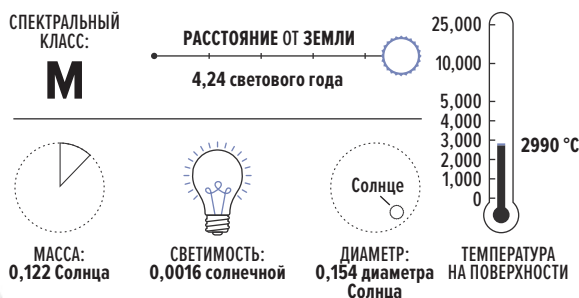
пространстве звезды. Произведенный гелий распространяется по остальной части объема звезды и не скапливается в центре, образуя ядро. **2.** С течением времени в результате термоядерного синтеза соотношение гелия и водорода медленно увеличивается. Звезда с массой, в 0,1 раза превышающей массу нашего Солнца, будет сжигать водород на протяжении целых 10 триллионов лет. **3.** Столкновения между ядрами водорода становятся все более редкими из-за увеличения содержания гелия, и поэтому реакции синтеза происходят реже. В результате направленная наружу сила, создаваемая термоядерными реакциями, постепенно уменьшается, и звезда очень медленно сжимается под действием собственной



гравитации. **4.** Поскольку ядерные реакции происходят все реже, звезда продолжает сжиматься, и светимость ее уменьшается. **5.** Когда в звезде останется почти один лишь гелий, ядерные реакции прекратятся, исчезнет давление излучения, которое уравнивало гравитацию. Звезда превратится в белого карлика. Эти маленькие тела очень плотные; типичный объект представляет собой тело с массой Солнца, сжатое до размеров Земли. Из-за столь сильного гравитационного сжатия белые карлики оказываются очень горячими в момент своего образования, но, не имея источника энергии, со временем постепенно остывают, излучая собственное тепло. Поэтому низкая светимость белых карликов объясняется исключительно

выделением накопленной тепловой энергии, ведь в них не происходит ядерных реакций. **6.** В конце концов белый карлик остывает до такой степени, что перестает излучать свет или тепло, и его очень трудно обнаружить. Такого рода гипотетические тела известны как черные карлики. В данном случае следует использовать слово «гипотетические», поскольку астрономы ни разу не наблюдали таких тел; считается, что в настоящее время их пока не существует, потому что они просто еще не успели образоваться. Физики предсказывают, что для превращения звезды главной последовательности в черного карлика потребуются триллионы лет — намного больше, чем современный возраст Вселенной, составляющий 13,8 миллиарда лет.

Проксима Центавра



На расстоянии 4,4 светового года от нас находится ближайшая к нам звездная система альфа Центавра. Она состоит из трех звезд: двух очень похожих на наше Солнце, называемых альфа Центавра А и В, и третьей — красного карлика проксима Центавра. Две главные звезды обращаются друг вокруг друга чуть менее чем за 80 лет, однако проксиме Центавра, расположенной на расстоянии 12 950 а.е. от этой пары, для завершения оборота требуется 550 000 лет.

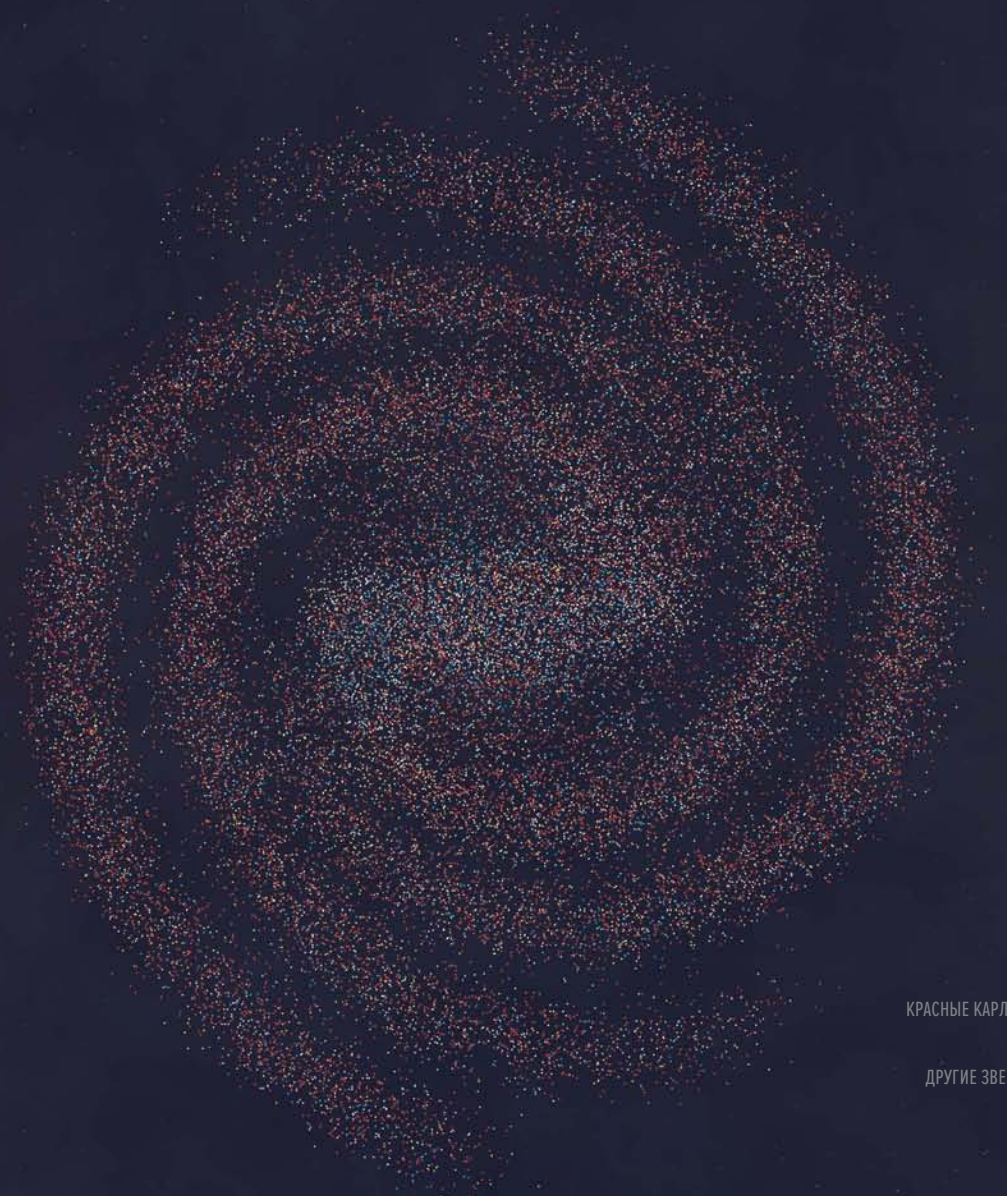
Будучи красным карликом, проксима Центавра значительно меньше и имеет намного меньшую светимость, чем другие звезды ее системы, и невооруженным глазом не видна. Если альфа Центавра А и В были занесены в каталог еще во II веке греческим ученым Птолемеем, то Проксиму открыли только в 1915 году.

Масса проксимы Центавра составляет около одной восьмой массы Солнца, но, как и следует ожидать от маломассивной звезды, она гораздо плотнее. Поскольку в менее массивных звездах, таких как эта, ядерные реакции протекают с гораздо меньшей скоростью, давление излучения в них оказывается недостаточно высоким, чтобы бороться с сокрушительной силой гравитации: в настоящее время под действием собственного притяжения проксима сжалась до плотности, в 33 раза превышающей плотность Солнца. Однако малые размеры и светимость она компенсирует долголетием. Ожидается, что водород в недрах проксимы Центавра будет не спеша гореть еще около четырех триллионов лет. Вперед, проксима!



Снимок, полученный космическим телескопом Hubble в 2013 году

Красные карлики



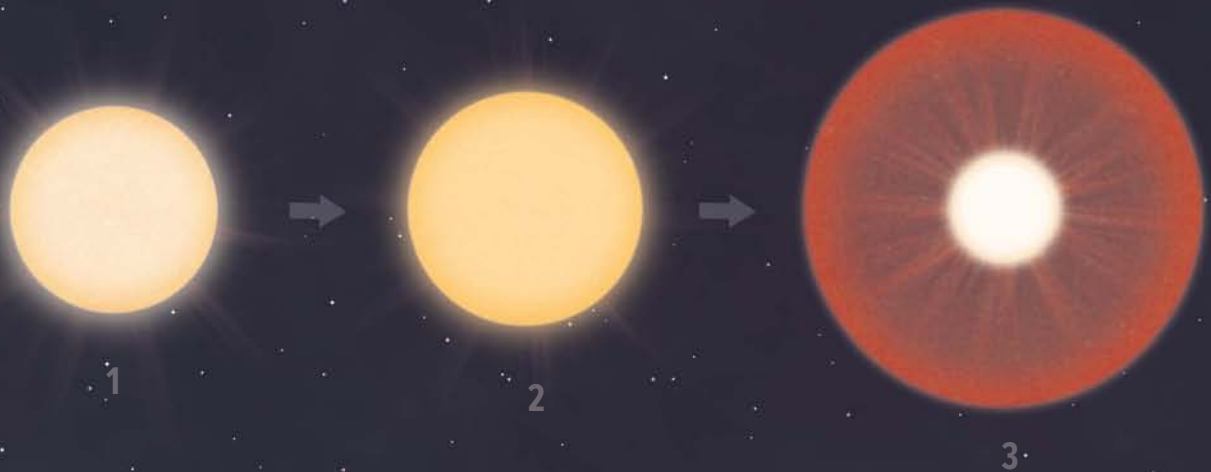
121

КРАСНЫЕ КАРЛИКИ 

ДРУГИЕ ЗВЕЗДЫ 

Согласно имеющимся оценкам, красные карлики составляют три четверти всех звезд нашей родной Галактики — Млечного Пути. Они крайне долговечны, и по соотношению количества красных карликов и других звезд можно оценить возраст галактик и звездных скоплений. Поскольку более массивные звезды с высокой светимостью сжигают свое топливо и умирают гораздо быстрее, чем красные карлики, старые звездные скопления отличаются повышенной долей долгоживущих красных карликов.

Звезды средней массы

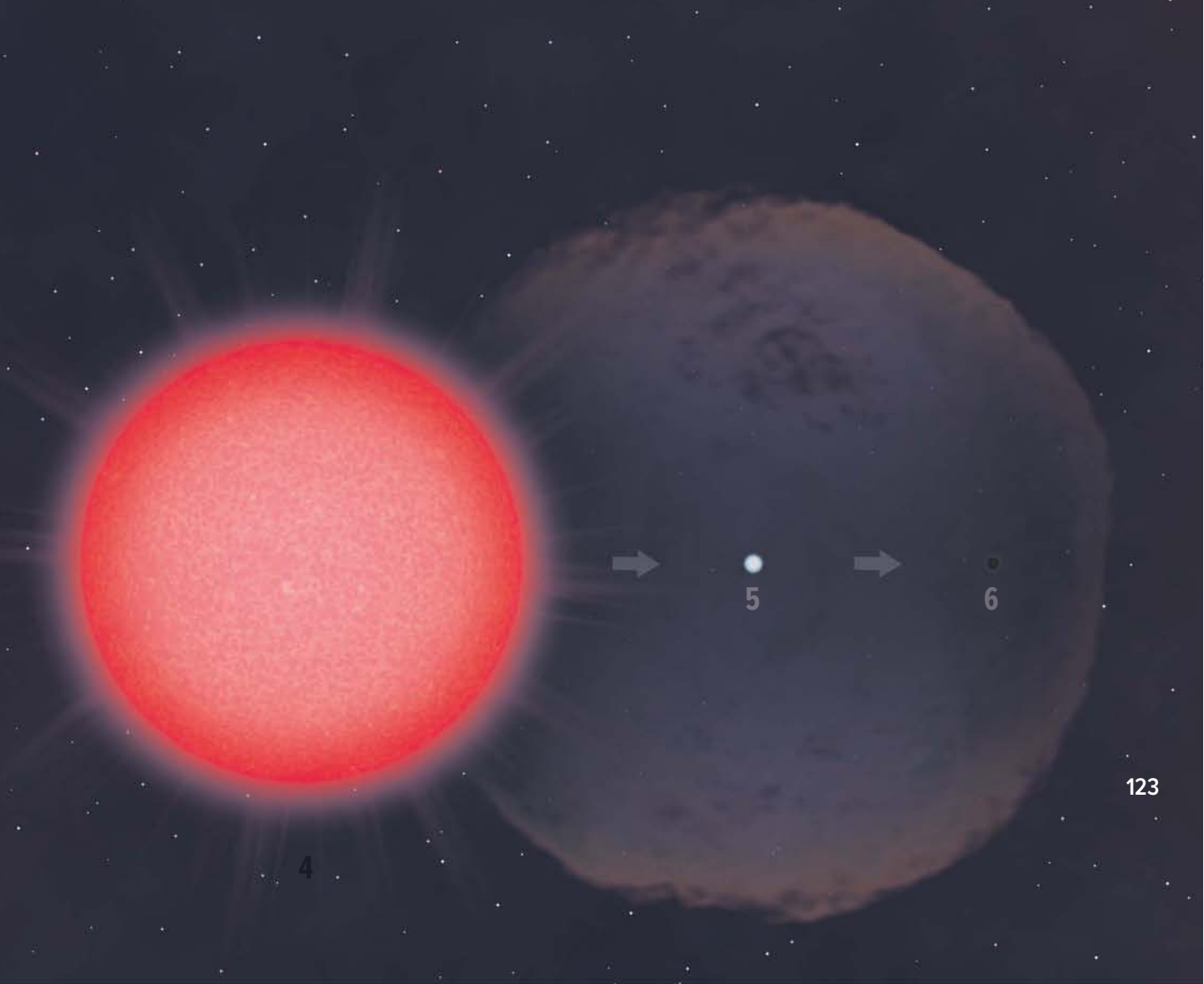


122

Звезды с массами в 0,5–8 раз больше солнечной сжигают имеющиеся у них запасы водорода от десятков миллионов до десятков миллиардов лет в зависимости от массы. После исчерпания топлива среднemasсивным звездам предстоит раздуться во много раз и провести остаток жизни в виде красных гигантов. Эти крупные звезды высокой светимости быстро становятся неустойчивыми и взрываются, выбрасывая в окружающее пространство большую часть собственного вещества, после чего от них остается горячее плотное ядро.

1. Среднemasсивные звезды начинают свою жизнь с термоядерного синтеза из водорода в ядре. Наше Солнце, будучи желтым карликом, относится к таким звездам, но в области «средних масс» есть и другие типы звезд главной последовательности. **2.** После накопления в ядре гелия в ходе термоядерного синтеза водород начинает

сгорать в оболочке, расположенной вне ядра. По мере роста гелиевого ядра область горения водорода перемещается ближе к поверхности звезды, поскольку центральная часть оказывается занята гелием. В результате звезда постепенно расширяется (области, в которых происходит синтез, перемещаются наружу, нагревая внешние части звезды) и остывает (реакции термоядерного синтеза ослабевают из-за того, что водороду не остается места в самой горячей части звезды около ее ядра). **3.** Когда интенсивность ядерных реакций снижается до критического минимального уровня, начинается коллапс ядра. В ходе данного процесса водород из внешних областей звезды затягивается в горячий плотный центр, где снова разогревается. Значительная часть энергии от разогретой водородной оболочки поглощается внешними слоями звезды, которые очень сильно расширяются, дополнительно



увеличивая светимость звезды. **4.** Когда расширение прекращается и звезда приходит в равновесие, она становится красным гигантом. Хотя температура поверхности у них ниже, чем у Солнца, красные гиганты могут быть в сотни раз больше размером и иметь в тысячи раз более высокую светимость. Звезды, подобные нашему Солнцу, могут провести на стадии красного гиганта около миллиарда лет, в течение которых их гелиевое ядро продолжает расти, а температура неуклонно повышается. По достижении в гелиевом ядре определенной температуры в нем начинается термоядерный синтез, подобно тому, как первоначально в ядре звезды сгорал водород. В результате плавления гелия образуются более тяжелые элементы — углерод и кислород, которые накапливаются в центре ядра. В звезде массой менее восьми солнечных никогда не возникнут условия, необходимые для термоядерного синтеза из

углерода или кислорода, поэтому после прекращения горения водородной и гелиевой оболочек сила притяжения превысит направленную вовне силу давления излучения. Затем звезда начинает пульсировать, обрушающееся внутрь вещество оказывается в области термоядерного горения, где вновь вступает в реакции, выделяя тепло и энергию. В итоге внешние слои звезды снова выталкиваются наружу, они остывают и становятся менее плотными, после чего под действием притяжения снова устремляются внутрь. **5.** Помимо колебаний светимости и температуры, звездные ветры уносят большую часть массы звезды в космос, пока не останется только горячее плотное ядро, окруженное планетарной туманностью. Остатки красного гиганта — его ядро — теперь всего лишь негорящий белый карлик. **6.** Через триллионы лет белый карлик превратится в черного карлика.

Мира

124





Переменная звезда Мира. Снимок на основе данных Digitalized Sky Survey 2

Когда Мира была открыта, вскоре выяснилось, что она не похожа ни на одну другую известную в то время звезду. Первое достоверное наблюдение этого нового типа звездных объектов было осуществлено еще в 1596 году Давидом Фабрициусом, немецким пастором, который совершил свое открытие случайно в ходе наблюдения других светил.

Однажды ночью, наблюдая за планетами, Фабрициус выбрал ничем не примечательную звезду, чтобы использовать ее в качестве опорной и проследить за движением расположенных по соседству с ней светил. Спустя почти три недели он снова обратил свой взор на тот же участок неба и обнаружил, что его ориентир теперь значительно ярче, чем при предыдущем наблюдении. Прошел месяц, и звезда исчезла из поля зрения. Он решил, что наблюдаемый объект был новой, внезапно вспыхнувшей звездой, среди тех, которые в то время ошибочно принимали за звезды, только что родившиеся. Но к его удивлению, спустя несколько месяцев звезда вновь появилась на небосклоне.

Позднее астрономы назвали эту звезду Мирой, что в переводе с латинского означает «чудесная». В отличие от Солнца и большинства других звезд она светит не с постоянной интенсивностью, а циклически меняя светимость с периодом 333 дня. В то время этот красный гигант был новинку, став первой открытой переменной звездой. Для земного наблюдателя в момент наибольшей яркости Мира светит так же, как и звезды ковша Большой Медведицы, но в минимуме невооруженным глазом ее не видно. Изменения светимости сопровождаются также изменениями размера звезды — в «поджатом» состоянии ее диаметр в 660, а в «раздутом» — в 800 раз больше солнечного. Мира ярче всего светит в то время, когда имеет наименьшие размеры, поскольку тогда большее количество вещества оказывается в области, где происходит термоядерный синтез; в таком состоянии звезда в 9300 раз ярче нашего Солнца. У красных гигантов, несмотря на их огромные размеры и очень высокую светимость, масса всегда невелика (Мира всего в 1,2 раза массивнее Солнца).

Пulsации этой загадочной звезды свидетельствуют о том, что Мира проходит путь от красного гиганта к белому карлику. В результате «всплесков» ядерных реакций внешние слои звезды «отодвинуты» наружу до того, как в дело вступит сила тяготения и затянет вещество обратно для повторения процесса. Мира с трудом сохраняет равновесие, в какой-то момент она сколлапсирует («схлопнется»). По мере приближения к финалу часть ее вещества выбрасывается в космическое пространство и уносится звездным ветром. Мира напоминает очень вымотанного запыхавшегося бегуна.

Звезда ван Маанена

Как часто бывает в истории науки, ученые открывают совсем не то, что планировали изначально. Именно так голландско-американский астроном Адриан ван Маанен наткнулся на звезду, которая впоследствии получила его имя. Наблюдая за небом в поисках спутника другой звезды, похожей на Солнце, расположенной на расстоянии 24 световых лет от нас, он наткнулся на маленькую тусклую звездочку.

Ван Маанен открыл этот объект, впоследствии названный ван Маанен 2, в 1917 году, хотя белым карликом звезда была признана только в 1923 году. Он обнаружил третьего ближайшего к Солнцу белого карлика. Однако в отличие от других известных нам звезд этого типа белый карлик ван Маанена был не частью двойной звездной системы, а одиноким странником. Другие белые карлики обнаруживались по создаваемой ими силе тяготения, вызывающей видимое «покачивание» основного компонента двойной системы, поэтому обнаружение данной маленькой тусклой звезды в пустоте — это настоящая удача. Представление о том, насколько слабо светит звезда ван Маанена, можно получить из следующего сравнения: Солнце за один день излучает больше света, чем эта маленькая звезда за 15 лет. Будучи белым карликом, звезда, естественно, очень плотная, ее масса составляет около 68% массы Солнца, в то время как диаметр всего 1% солнечного.

В последнее время звезда ван Маанена снова оказалась в центре внимания. Удивительно, но причиной тому стали не новые наблюдения, а данные, которые будоражат воображение астрономов более 100 лет. В 1917 году, вскоре после открытия звезды, астрономы сфотографировали ее спектр на пластинку, которая хранилась в коллекции Обсерватории Карнеги. Выглядел он весьма загадочно: линии поглощения ясно свидетельствовали о присутствии тяжелых элементов, таких как кальций, магний и даже железо. Эти плотные вещества должны были уже давно опуститься в ядро звезды и не присутствовать в верхней части атмосферы звезды. В 2016 году, после того как астрономы заново изучили старые

фотопластинки со спектром, возникло подозрение, что более тяжелые элементы на самом деле находятся в окружающем звезду пылевом диске. Согласно передовым теориям, это вещество когда-то было частью планет, разрушенных во время расширения звезды и превращения ее в красного гиганта. Когда звезда ван Маанена израсходовала все свое топливо, она превратилась в белого карлика, а от планет остались лишь обломки. Если гипотеза правдива, то судьба внутренних планет нашей Солнечной системы может быть до ужаса похожей.



Жизнь нашего Солнца

На диаграмме Герцшпрунга — Рассела обозначены этапы жизни нашего Солнца, так что можно проследить его путь от первого излученного фотона вплоть до мрачной кончины и понять, как этот путь связан с процессами, происходящими в недрах светила.

1. Около 4,6 миллиарда лет назад облако газа, состоящее в основном из водорода и отчасти из гелия, начинает сжиматься под действием собственного тяготения. В составе облака присутствует небольшое количество более тяжелых элементов, поскольку поблизости произошла вспышка сверхновой — вероятно, она и послужила толчком к сжатию. Большая часть вещества скапливается в центре и по мере приближения к нему начинает вращаться, при этом остальная часть облака, вращаясь, сплющивается в диск, из которого образуются планеты. После накопления в центре достаточного количества вещества начинаются реакции термоядерного синтеза.

2. Запуск в солнечном ядре реакций термоядерного синтеза из водорода знаменует выход Солнца на главную последовательность. Когда порожденная ядерными реакциями сила давления уравнивается силой притяжения, светимость Солнца стабилизируется и становится почти постоянной. Далее темп термоядерных реакций в солнечном ядре постепенно возрастает из-за возрастания давления, поэтому светимость Солнца на главной последовательности постепенно увеличивается. В настоящее время светимость растет со скоростью около 1% за 100 миллионов лет. Время жизни на этой стадии около 10 миллиардов лет (к настоящему моменту прошла почти половина этого срока).

3. По ходу термоядерного горения в солнечном ядре образуется гелий, из-за чего в какой-то момент синтез гелия из водорода станет происходить уже в оболочке — слоевом источнике вокруг растущего гелиевого ядра. На этом этапе Солнце покидает главную последовательность, в течение полумиллиарда лет размер его удваивается, после чего скорость расширения резко возрастает. За следующие полмиллиарда лет наша звезда увеличится в диаметре примерно в 200 раз, ее светимость возрастет в 2000 раз, и Солнце превратится в красного гиганта, поглотив Меркурий, Венеру и, вероятно, Землю. Оно существует в виде красного гиганта еще около миллиарда лет, за которые посредством звездного ветра потеряет около трети своей массы.

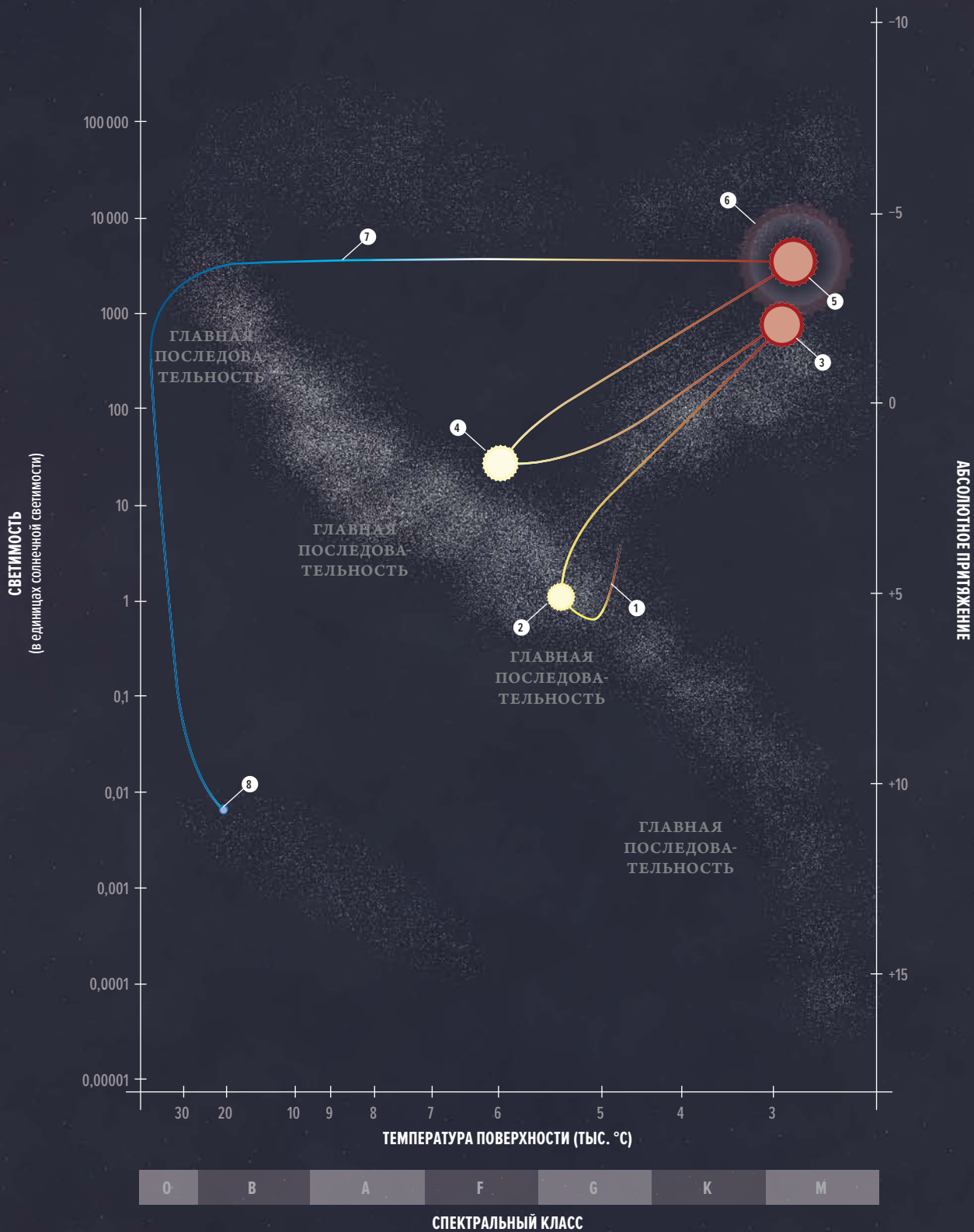
4. Когда оболочки вокруг ядра становятся непригодными для синтеза гелия из водорода, звезда начинает коллапсировать, и этот процесс сопровождается ростом температуры и давления в ядре. В результате происходит гелиевая вспышка, когда гелий ядра внезапно и бурно начинает гореть. За считанные минуты 6% гелия превращаются в углерод. Старт реакций термоядерного синтеза из гелия приведет примерно к десятикратному уменьшению размера Солнца и 50-кратному уменьшению его светимости.

5. Поскольку гелий начинает гореть в оболочке вокруг ядра, состоящего из накапливающегося углерода, при продолжающемся горении водорода в окружающем ее слоевом источнике наша звезда снова начинает увеличиваться в размере. Примерно через 20 миллионов лет после начала расширения Солнце становится все более неустойчивым по мере истощения запасов топлива. На этом этапе Солнце начнет пульсировать — это будут изменения как размеров, так и светимости, вызванные периодическим сжатием светила, что приведет к периодическому же возобновлению ядерных реакций, вызывающих, в свою очередь, последующее расширение Солнца.

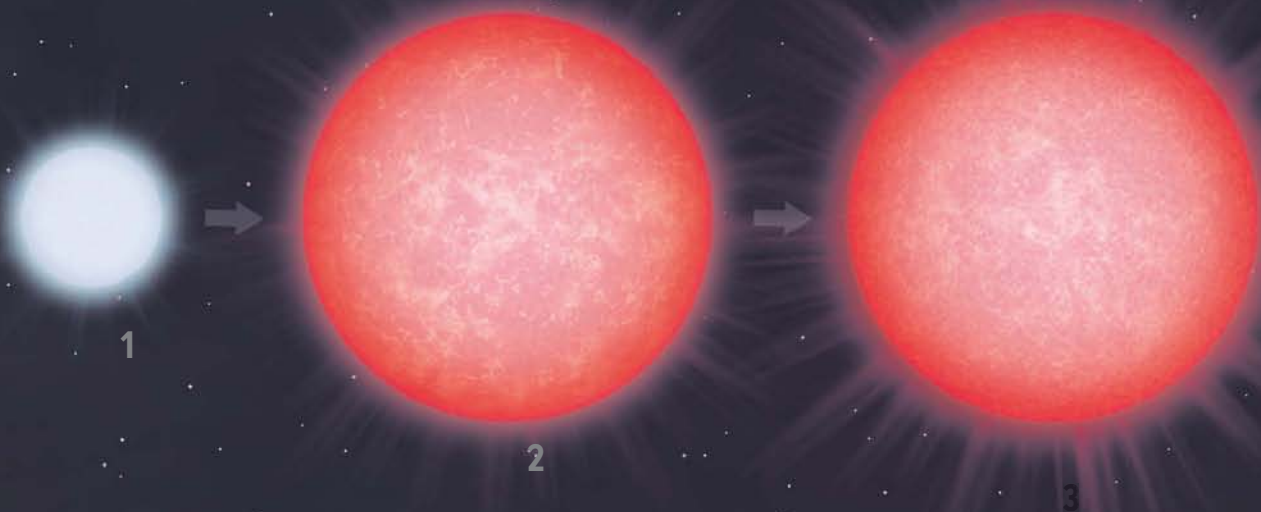
6. Пульсации Солнца будут усиливаться до его последнего мгновения, когда этапы сжатия и последующего расширения приведут к настолько мощной раскачке, что внешние слои окажутся сброшены в космос и образуют планетарную туманность. От звезды останется горячее ядро массой около половины современных солнечных.

7. За какие-то 10 000 лет планетарная туманность рассеется, а солнечное ядро будет существовать бесконечно долго. В течение короткого периода, возможно, около 200 лет, светимость будет оставаться постоянной. Когда ядерные реакции больше не уравнивают силу тяготения, звезда сжимается и нагревается, выделяя значительную энергию в форме теплового излучения. Именно это излучение поддерживает ее светимость.

8. Светимость Солнца уменьшится, но температура оставшегося ядра при этом превысит $100\,000^\circ$. На этом этапе оставшееся солнечное ядро, состоящее из сильно сжатого углерода и кислорода, представляет собой белого карлика. В таком состоянии оно будет находиться триллионы лет, постепенно теряя тепло. Перестав излучать тепло и свет, бывшее Солнце исчезнет с диаграммы Герцшпрунга — Рассела, приняв участие черного карлика.



Массивные звезды

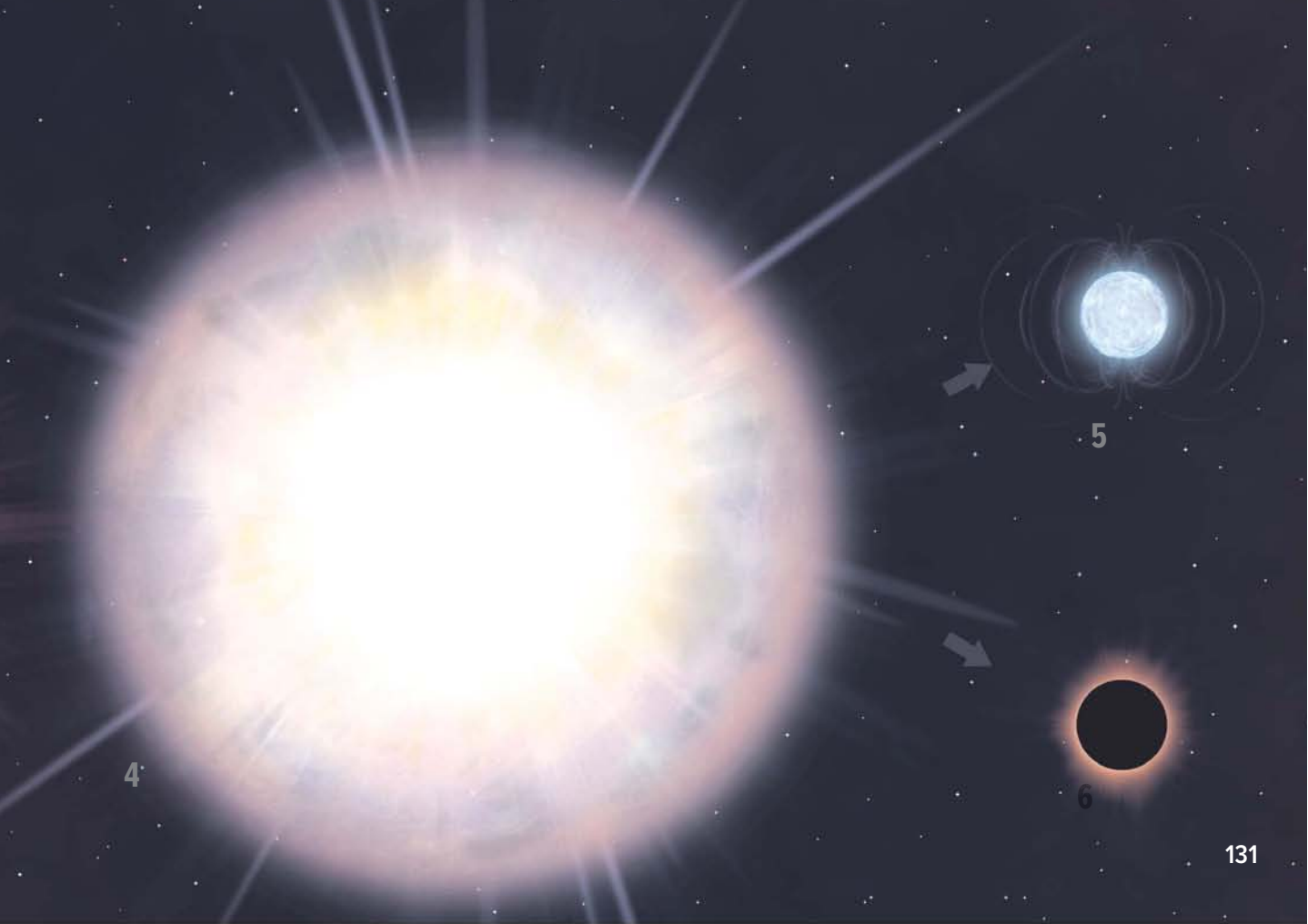


130

Самые массивные звезды во Вселенной отличаются самой высокой светимостью, но сияние обходится дорого — чем ярче они светят, тем короче их жизнь. Из-за запредельных температур и давления внутри таких звезд реакции синтеза в их недрах происходят чаще, чем в звездах меньшей массы, и в результате они быстро сжигают топливо. За свою недолгую жизнь звезды с массой более восьми солнечных синтезируют внутри некоторые из элементов со сравнительно большой атомной массой, но самые тяжелые элементы образуются только в самом конце жизни подобных светил. Коллапс (быстрое сжатие под действием собственного тяготения) звездных гигантов сопровождается невероятно мощным взрывом, порождающим самые экзотические элементы Вселенной и рассеивающим их по космосу.

1. Подобно своим собратьям, массивные звезды начинают светиться на главной последовательности, сжигая водород. Из-за большой массы они горят ярче и при более высокой температуре, чем звезды малой массы. Если массивные звезды устойчиво светят, оставаясь на главной последовательности, на протяжении миллиардов лет,

звезды большой массы сжигают запасы водорода в ядре всего за несколько миллионов лет. **2.** У звезд с массой больше восьми солнечных начинает формироваться гелиевое ядро, как это случается и у звезд меньшей массы. Водород также сгорает и в слоевом источнике вокруг ядра, звезда расширяется, и размер ее может превысить 1000 диаметров Солнца. После схода с главной последовательности массивная звезда становится красным сверхгигантом. Поскольку эти звезды столь велики, в их ядре уже имеются условия для слияния ядер гелия. В отличие от менее массивных звезд термоядерный синтез из гелия начинается плавно, так как необходимая температура достигается без коллапса ядра. **3.** Термоядерный синтез из ядер гелия продолжается, образуется более тяжелый элемент, углерод, и формируется углеродное ядро, окруженное слоями термоядерно сгорающих гелия и водорода. С образованием очередного элемента состоящее из него ядро немного сжимается, поскольку новые атомные ядра гораздо плотнее тех, из которых они образовались. В результате сжатия к центру подтягиваются окружающие ядро области, что приводит к повышению давления



и температуры в ядре. В отличие от звезд меньшей массы (которые на этом этапе становятся белыми карликами) в массивных звездах возможно слияние ядер углерода. В ходе термоядерного синтеза из углерода образуется более тяжелый элемент, неон, который опускается к центру, формируя еще одно ядро внутри углеродного ядра. Затем процесс повторяется. Самым тяжелым элементом, который может быть получен внутри звезды таким образом, является железо. Это последний элемент, синтезируемый в ядре звезды. Синтез каждого последующего элемента происходит быстрее, чем предыдущего. По космологическим меркам, от образования углеродного ядра и до синтеза железа проходит одно мгновение; у более массивных звезд этот процесс может занять всего несколько сотен лет. **4.** Образование железа знаменует гибель звезды. До сих пор термоядерный синтез каждого очередного элемента сопровождался выделением энергии, которая удерживала звезду от коллапса, обеспечивая направленное наружу давление для уравнивания силы притяжения. Но для термоядерного синтеза из ядер железа требуется больше энергии, чем выделяется в процессе.

Это приводит к тому, что при достижении определенной массы железного ядра звезда-сверхгигант резко теряет равновесие, и происходит ее коллапс, сопровождаемый направленным вонне взрывом, настолько мощным, что он виден чуть ли не во всей Вселенной. Сверхновые способны синтезировать элементы тяжелее железа и выбрасывать их в космическое пространство благодаря возникающим при их взрыве немыслимым теплу и давлению. **5.** Если масса звезды главной последовательности составляет меньше 20 солнечных, то коллапс оставшегося ядра прекращается при достижении им диаметра около 20 км и превращения в так называемую нейтронную звезду. Это невероятно плотные объекты с очень высокой температурой поверхности. Внутри нейтронных звезд термоядерный синтез не происходит, поэтому с течением времени они очень медленно остывают. **6.** Если первоначальная масса звезды превышает 20 солнечных, то ничто не сможет остановить ее коллапс. Все вещество звезды сжимается, оказываясь заключенным в невероятно малом объеме с настолько сильным притяжением, что даже свет не может покинуть ловушку. Образуется черная дыра.

Бетельгейзе

132

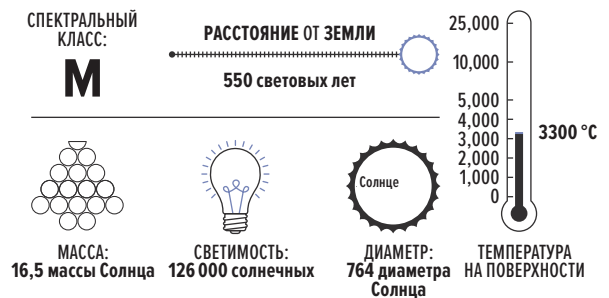
Одна из крупнейших звезд, видимых невооруженным глазом, — это красный сверхгигант Бетельгейзе, жить которому осталось недолго. Наблюдаемая в последнее время активность звезды свидетельствует о неминучести скорого коллапса звезды и последующей за ним вспышки сверхновой. Но не бойтесь: «скоро» в астрономическом смысле означает, что это произойдет не раньше чем через 100 000 лет и осуществится на расстоянии 700 световых лет.

Благодаря своей яркости на небе звезда известна с древности. Ее современное название происходит от старого арабского Яд-аль-Джауза, что означает «рука Ориона» в связи с ее местоположением в созвездии Орион. Сведения о красном цвете звезды встречаются еще в Древней Греции, но только в XIX веке астрономы узнали еще одну ее главную особенность. В период

с 1836 по 1840 год сэр Джон Гершель начал наблюдать за Бетельгейзе, когда заметил, что та выглядит ярче звезд, которые обычно, наоборот, ярче нее. За эти годы он отметил два случая, когда сияние Бетельгейзе достигало максимума, затем снижалось, после чего наступал период стабильности. Почти десятилетие спустя, в 1849 году, Гершель заметил начало очередного цикла активности, во время которого блеск звезды снова изменился и достиг максимума в 1852 году. Подобные приступы активности продолжались годами и были зафиксированы астрономами всего мира, причем было замечено: хотя периоды активности наступают регулярно, сила их меняется. Такие звезды известны как полуправильные переменные: это гиганты или сверхгиганты, пытающиеся сохранить равновесие по мере истощения запасов топлива.

Бетельгейзе колоссальна по сравнению с нашим Солнцем. Ее диаметр в 500 раз больше солнечного. Если ее поместить в центр Солнечной системы, она поглотила бы все каменные планеты, пояс астероидов и, возможно, даже Юпитер. Из-за своих размеров она обладает невероятно высокой светимостью, в 100 000 раз превышающей солнечную. Бетельгейзе — одна из ярчайших звезд на ночном небе, несмотря на ее удаленность от нас. Как и другие красные сверхгиганты, Бетельгейзе отличается низкой температурой поверхности. Хотя она массивна, большая часть ее массы сосредоточена в центре звезды, где происходит синтез более тяжелых элементов, а менее плотные внешние слои расширяются и охлаждаются.

Считается, что Бетельгейзе сошла с главной последовательности около миллиона лет назад и последние 40 000 лет являлась красным сверхгигантом. Когда ее ядро в конце концов сколлапсирует, земляне будущего смогут увидеть в небе ослепительное световое шоу. В течение как минимум нескольких недель звезда будет ярче полной Луны ночью и будет хорошо видна даже днем.



Сверхновые

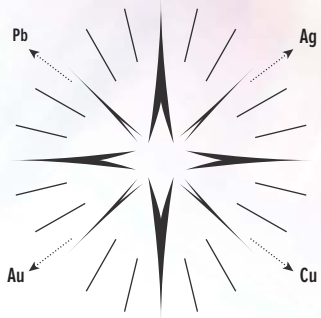
Вспышки сверхновых — самые масштабные, мощные и бурные явления во Вселенной. Такие вспышки происходят, когда самые могущественные обитатели космоса, достигнув конца своей жизни, разлетаются на куски. Взрывы настолько мощны и ярки, что одна сверхновая может превзойти по яркости 100 миллиардов звезд — целую галактику.

Когда известно, как внутри звезд синтезируются элементы и атомы каждого элемента превращаются в атомы более тяжелого элемента, которые затем опускаются в ядро, возникает впечатление, что этот процесс может продолжаться бесконечно — лишь бы звезда была достаточно массивной. Однако в силу свойств железа у этого процесса есть конечная точка, поэтому синтез данного элемента означает, что дни звезды сочтены. Ядра железа, как и других элементов в звезде, плотнее ядер предшествующего элемента, так же как ядра гелия плотнее ядер водорода, которые были до них. Будучи более плотным, каждый новый элемент занимает меньше места, чем предыдущий, что приводит к сжатию ядра звезды. Этапы сжатия необходимы для повышения температуры и давления в центре ядра, чтобы сделать возможным синтез следующего элемента в цепочке. Поэтому накопление железа в центральной части ядра, подобно накоплению других элементов, способствует дальнейшему сжатию звездного ядра.

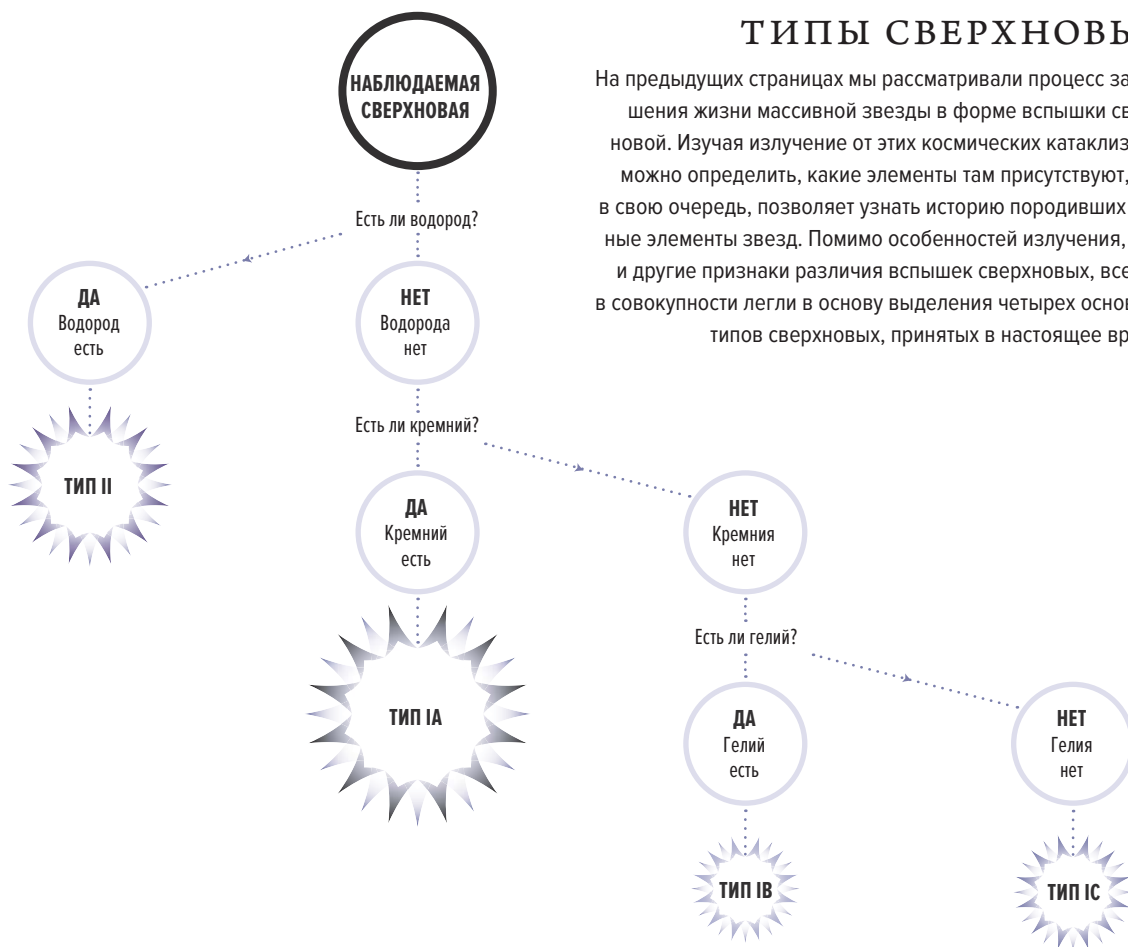
Но железо отличается от других элементов тем, что для его термоядерного сгорания требуется больше энергии, чем выделилось бы в процессе, поэтому термоядерные реакции в центральном железном ядре не происходят. По мере ослабления интенсивности термоядерных реакций вблизи ядра звезды уменьшается также направленная вовне сила производимого ими давления, и это приводит к дальнейшему уменьшению размеров и без того сжимающегося ядра. Затем ядро коллапсирует, что приводит к еще большему повышению температуры... но и это еще не все. Вдобавок ко всему при таких безумно высоких температурах и давлении ядра железа захватывают и поглощают пронесшие мимо свободные электроны, которые тоже вносили свой вклад в создание давления и удержания звездного ядра от коллапса, и ядро звезды оказывается беспомощным перед натиском тяготения. Сила тяготения в ядре невообразимо

велика, в отсутствие противодействия вещество устремляется к центру со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Все происходит невероятно быстро: от момента синтеза железа из кремния до взрыва ядра промелькнет лишь доля секунды. За это мгновение диаметр ядра уменьшается с нескольких сотен до десятков километров, ядро разогревается до чудовищной температуры, и возникает ударная волна, которая распространяется наружу, сокрушая и замедляя всасываемое из внешних областей звезды вещество. Пока это происходит, удивительные физические процессы внутри ядра приводят к выделению бесчисленного количества нейтрино — призрачных элементарных частиц, обычно не взаимодействующих с веществом. Эти маленькие частицы несут в себе поистине ошеломляющее количество энергии: всего за одно мгновение они уносят в 100 раз больше энергии, чем Солнце выработает за всю свою жизнь. Именно в этот момент и происходит взрыв. Когда нейтрино вырываются из ядра наружу, они врезаются в плотное, падающее к центру вещество, которое тут же отскакивает и выбрасывается в космос со скоростью, равной около 10% скорости света. Во время мощного взрыва образуются элементы тяжелее железа, которые вместе с другими элементами рассеиваются в космосе. От ядра остается лишь невероятно компактный звездный объект, гораздо более плотный, чем белый карлик, обладающий особыми свойствами. В зависимости от массы коллапсирующего ядра это будет либо нейтронная звезда, либо черная дыра — два самых причудливых творения природы.

Лишь небольшая часть звезд обладает массой, достаточной для того, чтобы стать сверхновыми, поэтому такие события довольно редки в каждой конкретной галактике. Например, в нашей Галактике происходит всего три таких события в столетие, поэтому зачастую приходится обращать взор на другие галактики, чтобы обнаружить достаточное количество объектов для исследования.



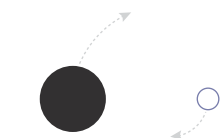
ВЫБРОС ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОСМОС



ТИПЫ СВЕРХНОВЫХ

На предыдущих страницах мы рассматривали процесс завершения жизни массивной звезды в форме вспышки сверхновой. Изучая излучение от этих космических катаклизмов, можно определить, какие элементы там присутствуют, что, в свою очередь, позволяет узнать историю породивших данные элементы звезд. Помимо особенностей излучения, есть и другие признаки различия вспышек сверхновых, все они в совокупности легли в основу выделения четырех основных типов сверхновых, принятых в настоящее время.

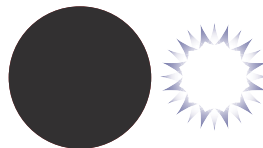
Сверхновые типа IA возникают, когда на белого карлика перетекает вещество второго компонента двойной системы. При достижении белым карликом критической массы происходит гравитационный коллапс и взрыв (см. внизу страницы). Таким образом обычно получаются ярчайшие сверхновые, видимые на больших расстояниях. В результате вспышек сверхновых типа IA было обнаружено больше, чем вспышек сверхновых других типов. Вспышки сверхновых типов IB, IC и II происходят при коллапсе массивных звезд под действием собственного тяготения из-за прекращения реакций термоядерного синтеза. Сверхновые типов IB и IC являются результатом коллапса звезд, утративших свои водородные оболочки на поздних этапах эволюции из-за сильного звездного ветра или перетекания вещества на второй компонент двойной системы.



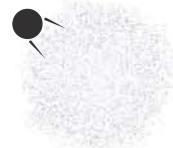
Звезда главной последовательности обращается вокруг массивного, но маленького белого карлика



Ближе к концу жизни звезда главной последовательности раздувается и становится красным гигантом. По мере приближения ее разреженных внешних слоев к белому карлику газ по спирали перетекает на плотного белого карлика



Масса белого карлика увеличивается, пока не достигнет критического значения, после чего он коллапсирует и взрывается как сверхновая

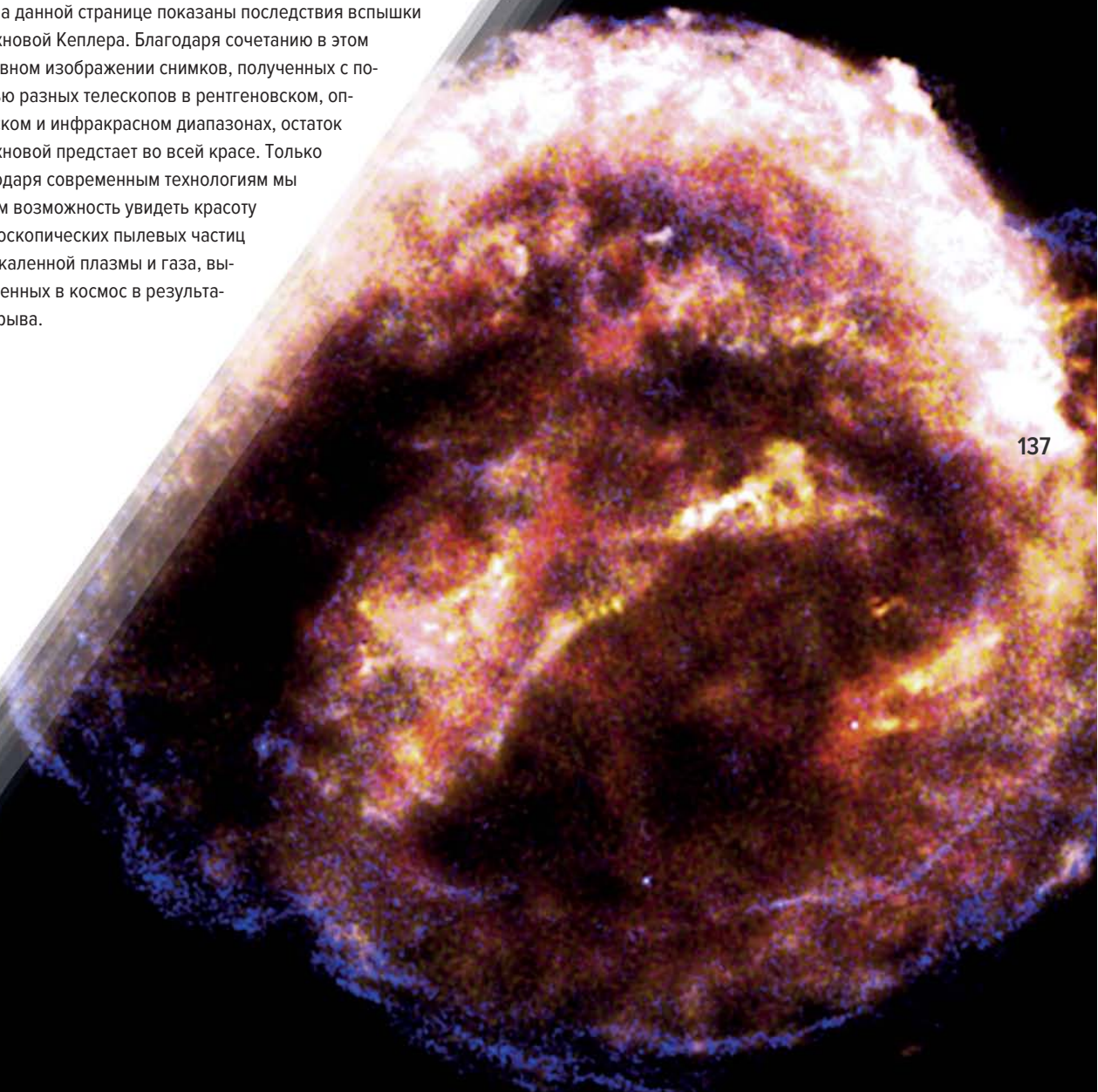


В результате взрыва сверхновой второй компонент системы оказывается выброшенным в космос

СВЕРХНОВАЯ КЕПЛЕРА

Это последняя сверхновая в нашей Галактике, наблюдавшаяся невооруженным глазом. Она появилась на небосклоне в 1604 году. В максимуме блеска она являлась ярчайшей звездой на ночном небе и была видна днем в течение более трех недель. Письменные упоминания об этой вспышке, произошедшей на расстоянии 20 000 световых лет от Земли, зафиксированы в европейских, китайских, корейских и арабских источниках.

На данной странице показаны последствия вспышки сверхновой Кеплера. Благодаря сочетанию в этом составном изображении снимков, полученных с помощью разных телескопов в рентгеновском, оптическом и инфракрасном диапазонах, остаток сверхновой предстает во всей красе. Только благодаря современным технологиям мы имеем возможность увидеть красоту микроскопических пылевых частиц и раскаленной плазмы и газа, выброшенных в космос в результате взрыва.



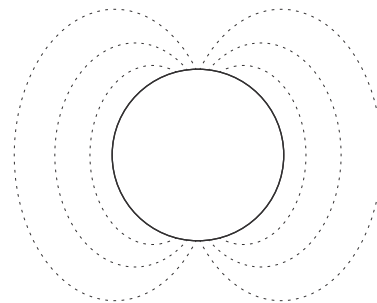
Нейтронные звезды

138

A glowing blue neutron star is the central focus, surrounded by intricate, swirling magnetic field lines that create a complex, web-like structure. The background is a dark, starry space with a diagonal white-to-black gradient on the right side.

Одними из самых странных небесных объектов являются крохотные нейтронные звезды. Миниатюрный размер они с лихвой компенсируют мощным магнитным полем и силой тяготения, способной искривлять проходящий мимо свет. Нейтронная звезда образуется в результате коллапса звезды главной последовательности массой более восьми солнечных после ее взрыва как сверхновой.

Ядра звезд наряду с направленной наружу силой порождаемого термоядерными реакциями давления отчасти удерживаются от коллапса давлением вырожденного электронного газа — в соответствии с одним из законов квантовой механики электроны упорно сопротивляются попыткам слишком плотно упаковать их. Но если масса ядра, оставшегося после вспышки сверхновой, в 1,4 раза больше солнечной массы, то даже эта сила не сможет противостоять сверхмощному тяготению столь плотного объекта. Ядро продолжит коллапсировать, а давление расти, в результате получается нечто поистине невообразимое. Вещество внутри ядра переходит в совершенно иное, непривычное нам состояние; там больше нет никаких химических элементов, только элементарные частицы, вынужденные двигаться все быстрее, чтобы не оказаться друг у друга на пути из-за уменьшения размеров доступной им области пространства. В результате столкновения протонов с электронами они сливаются, и образуются нейтроны, и этот процесс охватывает почти все вещество звезды. Теперь это уже не привычная звезда, в недрах которой синтезируются атомные ядра, а объект с чудовищной силой тяготения, под действием которой атомные ядра разрушаются, а составляющие их элементарные



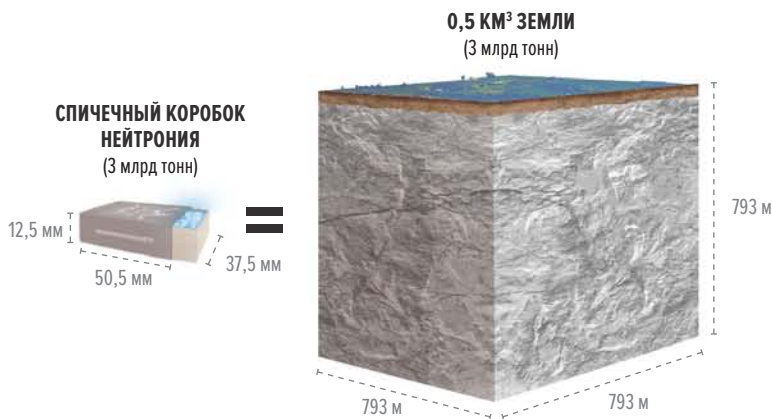
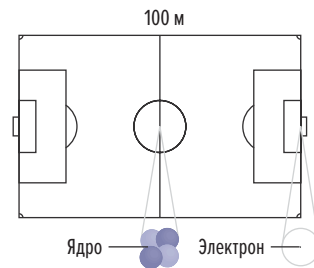
МОЩНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

частицы сливаются. Когда диаметр ядра уменьшится примерно до 20 км, то останется просто шар из нейтронов с небольшим количеством электронов и протонов. Внешняя поверхность этого плотного шара будет состоять из обычного, хотя и сильно сжатого вещества, образующего кору толщиной около полутора километров. Сила тяжести на поверхности подобной звезды в 100 миллиардов раз сильнее, чем на Земле. Человек с земным весом 70 кг будет весить 7 миллиардов тонн, находясь на нейтронной звезде. Впрочем, это не важно, ведь вы окажетесь спрессованы до толщины всего несколько атомов.

Подавляющее большинство нейтронных звезд невероятно трудно обнаружить, особенно старые. После образования они перестают вырабатывать энергию и очень медленно излучают ее, становясь все тусклее. Старые нейтронные звезды можно обнаружить только по очень слабому инфракрасному излучению и по гравитационному воздействию на пролетающие поблизости звезды. Однако в пору своей молодости нейтронные звезды ведут себя иначе: быстро вращаются и испускают узконаправленные потоки излучения, благодаря которым их можно обнаружить. Первая обнаруженная нейтронная звезда вызвала переполох из-за излучаемых ею периодически повторяющихся радиоимпульсов. В то время это было совершенно новым явлением, и, поскольку импульсы казались похожими на сигналы внеземного маяка, звезду шуточно окрестили LGM-1, что расшифровывается как «маленькие зеленые человечки» (little green men). Вскоре стало ясно, что повторяющиеся с интервалом 1,4 секунды радиоимпульсы излучаются пульсаром — особого рода быстро вращающейся нейтронной звездой, способной излучать подобные узконаправленные пучки. Данное открытие, совершенное астрофизиком Джослин Белл Бернелл в 1967 году, было признано «одним из самых значительных научных достижений XX века».

ПЛОТНОСТЬ

Материя представляет собой в основном пустое пространство. Почти вся масса атома содержится в ядре. Если бы вы могли увеличить атом до размеров футбольного поля, поместив ядро на центральной линии, то ядро было бы размером со стеклянный шарик, а электроны, диаметр которых не превышает и тысячной доли диаметра протона, пронеслись бы где-то рядом с линией ворот.

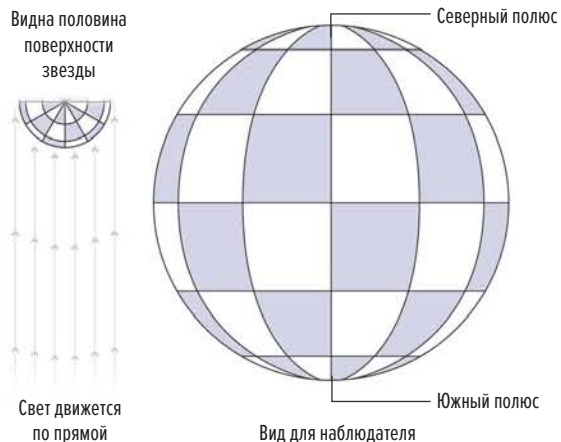


Нейтронные звезды могут быть намного плотнее обычного вещества, поскольку они не состоят из атомов, занимающих много пространства. А теперь представьте, что все футбольное поле заполнено шариками — вот насколько плотной может стать нейтронная звезда. Спичечный коробок обычного размера из вещества нейтронных звезд, или нейтрония, весил бы около трех миллиардов тонн, то есть столько же, как и половина кубического километра Земли.

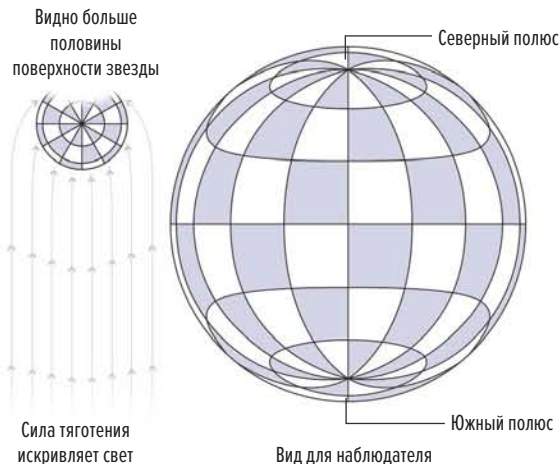
ОТКЛОНЕНИЕ СВЕТА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРИТЯЖЕНИЯ

Сила притяжения вблизи нейтронной звезды настолько велика, что изменяет путь проходящего мимо излучения, тем самым искривляя свет. Это не только искажает внешний вид объектов, расположенных непосредственно за нейтронными звездами, но и то, как выглядят они сами. Если взглянуть на шарообразный объект из неподвижного места, то обычно видна половина общей площади поверхности объекта. Если этот объект такой массивный, как нейтронная звезда, то из-за отклонения его светом вы сможете увидеть оба полюса, а также области на другой стороне.

МАЛОМАССИВНАЯ ЗВЕЗДА

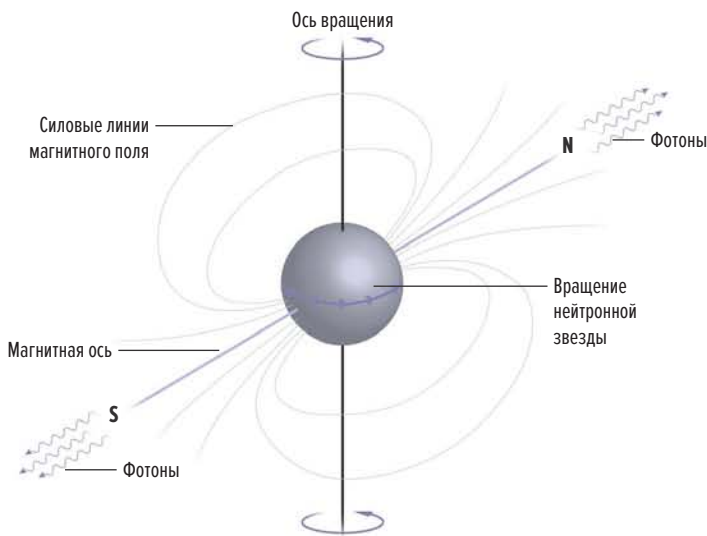
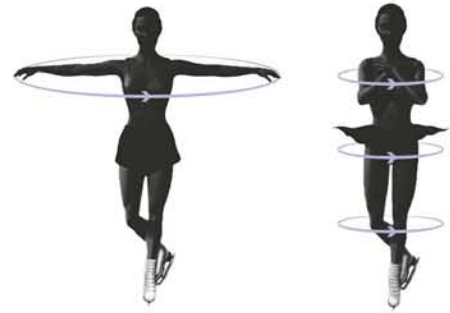


НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА



ПУЛЬСАРЫ

Нейтронные звезды обычно вращаются быстро из-за большой массы и малого диаметра. Это происходит в соответствии с законом сохранения момента вращения. Не будем углубляться в математику, а воспользуемся хорошо известной аналогией с фигуристкой: если вращающаяся фигуристка прижимает руки к телу, то скорость вращения увеличивается, а если вытягивает руки, то обороты замедляются. Поскольку нейтронные звезды намного массивнее фигуристов, а их размеры относительно невелики для звезды, этот эффект еще более заметен. До сверхновой звезда могла вращаться весьма медленно, но после превращения в нейтронную она может делать сотни оборотов в секунду. Именно из-за невероятно высокой скорости вращения у нейтронных звезд очень мощные магнитные поля.



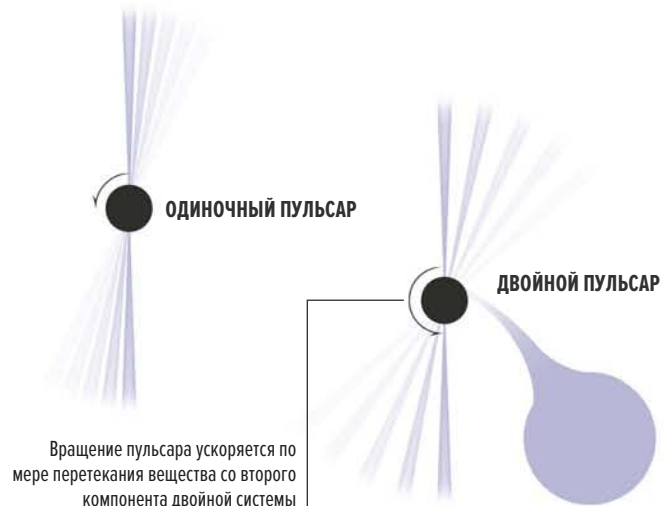
Сочетание сильного магнитного поля нейтронной звезды с быстрым вращением является причиной излучения ею двух узконаправленных пучков радиолучей. Один пучок излучается с северного магнитного полюса, другой — с южного, и из-за вращения звезды эти лучи «прочесывают» космос, подобно лучам маяка. На Земле, если мы случайно оказываемся на пути этих лучей, то наблюдаем их как периодические мощные всплески и относим такой объект к пульсарам.

С течением времени вращение нейтронных звезд/пульсаров замедляется, поскольку их излучение оказывает также небольшое тормозящее действие. Когда вращение затормозится настолько, что импульсы исчезают, объект становится труднообнаружим.

141

ДВОЙНЫЕ ПУЛЬСАРЫ

Пульсар, обращающийся вокруг другой звезды, называют двойным пульсаром. Если эти два тела находятся достаточно близко друг к другу, то сильное притяжение нейтронной звезды может привести к перетеканию на нее вещества с менее массивного компонента двойной системы. По мере поступления дополнительной массы в нейтронную звезду скорость ее вращения увеличивается, вследствие чего усиливается магнитное поле и интенсивность пучков радиоизлучения.



Черные дыры

Черные дыры — без сомнения, самые поразительные объекты во Вселенной. При этом только самые массивные звезды коллапсируют, порождая столь таинственные объекты. Они невероятно плотные, а сила их притяжения настолько велика, что ни вещество, ни даже свет не могут их покинуть. Сама возможность существования подобных объектов была предсказана на основе созданной в 1915 году Эйнштейном общей относительности. Эти темные тела трудно наблюдать, но их присутствие было подтверждено влиянием, которое они оказывают на прочие небесные объекты. Первое прямое изображение черной дыры удалось получить только в 2019 году с помощью международной сети радиотелескопов.

Если масса оставшегося после сверхновой ядра в три раза больше солнечной, уже ничто не может остановить коллапс вещества. Ядра такой массы преодолевают сопротивление давления вырожденного электронного газа (при котором все элементарные частицы тесно спрессованы друг с другом и превращаются в нейтроны, как в нейтронной звезде) и продолжают коллапсировать. Сила тяготения настолько велика, что теперь даже плотно упакованные нейтроны больше не могут противостоять ей и тоже коллапсируют. Когда ядро достигает диаметра около 18 км, сила тяжести на его поверхности становится настолько большой, что даже свет не в состоянии преодолеть притяжение звезды. Таким образом, мы имеем область пространства, в которую вещество может провалиться, как в дыру, а поскольку свет не может вырваться из нее, она становится черной — и мы имеем дело с черной дырой.

Когда сила тяжести увеличивается до такой степени, что скорость убегания становится равной скорости света, возникает горизонт событий — темная оболочка вокруг черной дыры, скрывающая ее. Вот откуда у этих объектов такое название: мы ничего не можем знать о любом событии, происходящем за горизонтом событий, поскольку испускаемый там свет не может достичь нас — он находится за нашим горизонтом. Непосредственно вне горизонта событий свет, конечно, будет искажен, но если он движется в правильном направлении, то не будет затаян в черную дыру. В результате мы видим вокруг горизонта событий ореол: свет от далеких звезд огибает заключенную в нем массу. Если черная дыра активно аккрецирует («заглатывает») окружающее вещество, то из-за вращения оно

сплющивается и образует диск. По мере приближения вещества к черной дыре скорость его возрастает, и из-за сильного трения возникает мощное тепловое излучение. Благодаря искривлению света у горизонта событий можно увидеть части аккреционного диска, которые в противном случае могут быть скрыты самой черной дырой. Этот эффект проиллюстрирован на рисунке напротив: более толстая светящаяся полоса, окутывающая верхнюю часть горизонта событий, на самом деле видимая нами дальняя сторона аккреционного диска.

С возникновением горизонта событий на все внутри него тут же начинает действовать сила тяготения, и вещество стремится сжаться до бесконечно малой точки, известной как сингулярность. Это область, которая, согласно теории, не имеет размеров, но имеет бесконечную плотность, и где пространство и время бесконечно искажены. Попадающее в черную дыру вещество неизбежно оказывается в сингулярности и сжимается до бесконечной плотности. Хотя размеры сингулярности остаются бесконечно малыми, дополнительная масса увеличивает общую массу черной дыры и тем самым расширяет ее горизонт событий. Но при этом диаметр горизонта событий у черной дыры с массой десять солнечных составляет всего 60 км.

Математические формулы и физические основы понимания черных дыр невероятно сложны, и даже сейчас, спустя несколько десятилетий, не утихают споры о природе этих удивительных объектов. Считалось, что они могут существовать бесконечно долго, однако затем было доказано, что даже у этих плотных звездных остатков есть излучение в виде частиц, правда, очень слабое. В конце концов черные дыры испарятся, но процесс этот будет очень-очень медленным — черным дырам предстоит стать последними жителями стареющей Вселенной.



ЭФФЕКТ ЛАПШИ

При описании приливных сил говорилось, что гравитация сильнее притягивает ближайшие части обращающегося по орбите тела и меньше — его дальние стороны. Притяжение черной дыры действует таким же образом, только в гораздо более экстремальной степени. Если вы будете падать в черную дыру ногами вперед, то сила притяжения, действующая на ваши ноги, может быть намного больше, чем сила, действующая на голову. Вас растянет, поскольку ноги будут удаляться от вашего тела, которое само по себе движется быстрее, чем голова. Перед погружением в черную дыру длина вашего тела будет составлять километры, а ширина — меньше ширины волоса. Астрономы метко назвали этот процесс эффектом лапши. Он происходит довольно близко к сингулярности. В черных дырах звездной массы (до десятков солнечных масс) этот процесс происходит за горизонтом событий, стало быть, вы погибнете, не дойдя до мифической границы.



КОСМИЧЕСКИЕ ПЫЛЕСОСЫ?

Распространенное заблуждение о черных дырах заключается в том, что они действуют как гигантские пылесосы, всасывающие все вокруг себя, но это не совсем так. Да, их притяжение исключительно сильное, но притягиваются только очень близко проходящие тела.

Сила притяжения объекта зависит от его массы и расстояния до его центра. Например, поскольку радиус Солнца составляет примерно 700 000 км, можно приблизиться к его центру только на это расстояние.

Если бы Солнце было сжато до диаметра около 6 км, оно превратилось бы в черную дыру. При таком размере мы могли бы подойти гораздо ближе к его центру и при этом почувствовали бы, что притяжение становится все сильнее и сильнее.

Так что черные дыры оказывают на удаленные объекты такое же гравитационное воздействие, как и звезды той же массы. Если бы можно было поменять Солнце на черную дыру равной массы, то Земля продолжала бы двигаться по своей орбите точно так же, как и сейчас.



Сила тяжести на поверхности Солнца в 28 раз больше, чем на поверхности Земли (28 g). Если бы Солнце сжалось до состояния черной дыры, притяжение на расстоянии его современной поверхности осталось бы таким же.

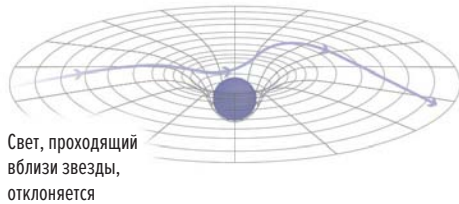


ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ КОНТИНУУМ

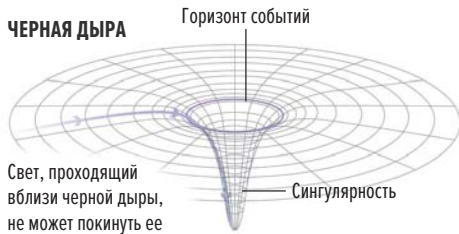
Эйнштейн установил, что пространство не столь пустое, сколько представляет собой невидимую ткань, в которую вплетены вещество и энергия. То, что мы воспринимаем как тяготение, на самом деле является лишь искривлением этого пространства: большие массы искривляют пространство вокруг себя, вынуждая меньшие тела двигаться по искривленным траекториям. Теория Эйнштейна также гласит, что пространство-время представляет собой единое целое, что любые проявления как пространства, так и времени оказываются взаимно связанными. Поэтому большие массы искривляют не только пространство вокруг себя, но и время. Для человека рядом с массивным объектом с сильным притяжением время течет медленнее, чем для находящегося в открытом космосе. Это было экспериментально подтверждено с помощью очень точных атомных часов: часы на больших высотах идут быстрее, чем на уровне земли.



МАССИВНАЯ ЗВЕЗДА



ЧЕРНАЯ ДЫРА

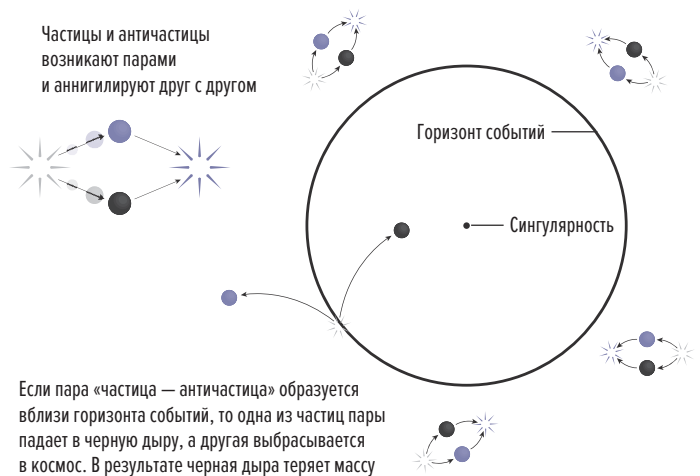


Из-за экстремальной гравитации черных дыр они так сильно искривляют пространственно-временной континуум, что у горизонта событий время, по сути, останавливается. При этом, если вы упадете в такую дыру, время для вас будет течь обычным образом: вы бы просто упали, и дыра заглотила вас. Предположим, что при вас есть часы, которые видит удаленный наблюдатель — с его точки зрения, часы тикают все медленнее по мере вашего падения. Для такого наблюдателя ваше падение буквально длилось бы вечность, однако вы просто исчезнете из виду, когда излучаемый вами свет не сможет преодолеть тяготение.

Еще более странно все выглядит для вас самих. Для падающего в черную дыру все наоборот — Вселенная вокруг вас кажется ускоряющейся. К тому моменту, как вы достигнете горизонта событий, пройдет все время. Вечность промелькнет перед глазами в одно мгновение, во вспышке высокоэнергетического излучения, которое уничтожит вас.

ИЗЛУЧЕНИЕ ХОКИНГА

Знаменитый физик Стивен Хокинг первым понял, что черные дыры на самом деле излучают, хотя и очень слабо. Дело в том, что даже в самом пустом пространстве постоянно возникают пары «частица — античастица», которые потом аннигилируют друг с другом. Когда это происходит на краю горизонта событий, то одна из частиц пары оказывается проглочена черной дырой, а другая будет выброшена наружу, унося часть энергии черной дыры. Хотя сам эффект ничтожен, он приводит к испарению черной дыры, которое, впрочем, длится целую вечность. Чтобы исчезнуть, черной дыре солнечной массы потребуется 10^{64} лет.



ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЗВЕЗД

Все звезды начинают свою жизнь одинаково — посредством коллапса разреженных газовых облаков. Но дальнейшая их судьба зависит от количества набранного в этом процессе вещества. В таблице дана краткая характеристика жизненного цикла звезд всех масс.

146



ТУМАННОСТЬ

Плотная часть туманности начинает сжиматься



ПРОТОЗВЕЗДА

Вещество собирается под действием тяготения, и образуется протозвезда. Температура повышается, но термоядерного синтеза еще не происходит



МАССИВНАЯ ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ (БОЛЕЕ 8 СОЛНЕЧНЫХ МАСС)

Массивные звезды имеют высокую светимость, но в их ядрах в течение миллионов лет горит только водород



ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СРЕДНЕЙ МАССЫ (ОТ 0,5 ДО 8 СОЛНЕЧНЫХ МАСС)

Звезды средней массы сжигают водород в своих ядрах в период от десятков миллионов до десятков миллиардов лет



МАЛОМАССИВНАЯ ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ (МЕНЕЕ 0,5 СОЛНЕЧНОЙ МАССЫ)

В недрах маломассивных звезд очень медленно протекает термоядерный синтез из водорода, и им предстоит тускло светить на протяжении триллионов лет



КРАСНЫЙ СВЕРХГИГАНТ

Когда начинается горение водорода в слоевом источнике, звезда превращается в красного сверхгиганта и в ней начинается синтез более тяжелых элементов



СВЕРХНОВАЯ

Когда в ядре образуется железо, звезда коллапсирует и взрывается как сверхновая, выбрасывая вещество в космос



ЧЕРНАЯ ДЫРА

Если масса оставшегося ядра превышает три солнечных, то образуется черная дыра



НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА

Если масса оставшегося ядра составляет меньше трех солнечных, то оно превращается в нейтронную звезду



КРАСНЫЙ ГИГАНТ

Когда водород начинает гореть в слоевом источнике вокруг ядра, звезда «раздувается», превращаясь в красного гиганта. По мере исчерпания топлива внешние слои звезды расширяются, образуя планетарную туманность



БЕЛЫЙ КАРЛИК

После прекращения термоядерных реакций в водородной и гелиевой оболочках происходит коллапс звезды и превращение ее в белого карлика



ЧЕРНЫЙ КАРЛИК

По прошествии триллионов лет белые карлики излучают все свои запасы энергии и превращаются в черных карликов



КРАСНЫЙ КАРЛИК

Красные карлики медленно сжимаются по мере расходования водорода и замедления термоядерных реакций



БЕЛЫЙ КАРЛИК

После прекращения термоядерного синтеза звезда коллапсирует, превращаясь в горячего, плотного белого карлика с низкой светимостью



ЧЕРНЫЙ КАРЛИК

Белые карлики постепенно излучают всю свою энергию и превращаются в черных карликов

Самые массивные звезды

Самые массивные звезды во Вселенной — одни из самых редких. Те из них, которые становятся сверхгигантами, остаются таковыми лишь на короткое время, а затем взрываются как сверхновые. После сильного расширения температура поверхности этих звезд становится низкой (для звезды), но из-за огромных размеров они отличаются очень высокой светимостью (это одни из ярчайших звезд). Размеры самых больших сверхгигантов поистине огромны — чтобы дать лучшее представление об этом, приведем данные некоторых из них в сравнении с нашим Солнцем.



ЮПИТЕР
139 800 км

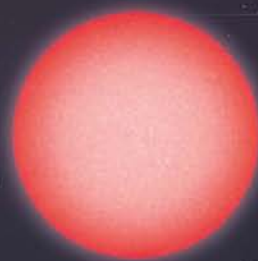


СОЛНЦЕ
1 390 000 км

148



УУ БОЛЬШОГО ПСА
1 980 000 000 км

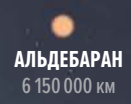
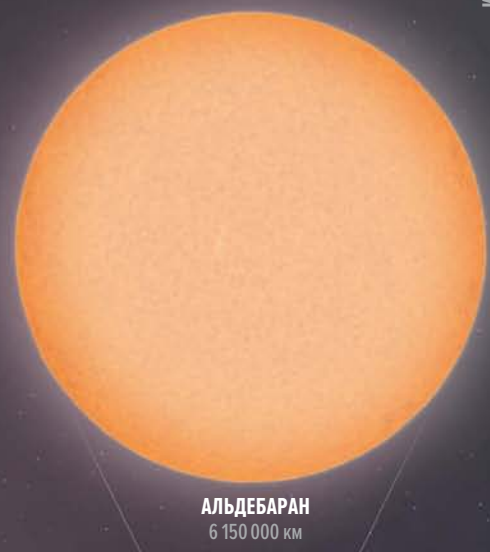


БЕТЕЛЬГЕЙЗЕ
1 250 000 000 км



УУ ЩИТА
2 370 000 000 км

1 МЛРД КМ



Указаны диаметры звезд

Звезды вне главной последовательности

До сих пор мы говорили о звездах главной последовательности, а также проследили путь нашего Солнца по диаграмме на различных этапах его жизни. Воспользуемся диаграммой еще раз, сосредоточившись на звездах вне главной последовательности и их разновидностях.

СВЕРХГИГАНТЫ

Сверхгиганты располагаются вдоль горизонтальной полосы в верхней части диаграммы Герцшпрунга — Рассела: голубые сверхгиганты находятся слева, красные — справа. Когда-то это были звезды главной последовательности (с массой, по крайней мере в восемь раз превышающей солнечную), однако они покинули главную последовательность, поскольку в их ядрах прекратились реакции термоядерного синтеза из водорода. По мере того как термоядерные реакции начинают протекать все дальше от ядра, внешние слои звезды раздуваются до огромных размеров. Голубые сверхгиганты получаются только из звезд, масса которых превышает 25 солнечных; они исключительно горячие и яркие, а значит, очень недолговечные и встречаются редко. Красные сверхгиганты, хотя и не такие массивные, разрастаются до больших размеров, чем голубые сверхгиганты, вследствие чего температура их поверхности более низкая.

150

ГИГАНТЫ

Сгущение звезд-гигантов расположено выше и правее главной последовательности. Расположенные там звезды когда-то были звездами главной последовательности малых и средних масс (примерно от 0,3 до 8 солнечных). Как и сверхгиганты, гиганты перестали сжигать водород в ядре, и по мере того как термоядерный синтез начинает происходить в слоевом источнике вокруг ядра, внешние области расширяются. Поскольку звезды-гиганты имеют меньшую массу, чем сверхгиганты, они не такие большие и не такие яркие.

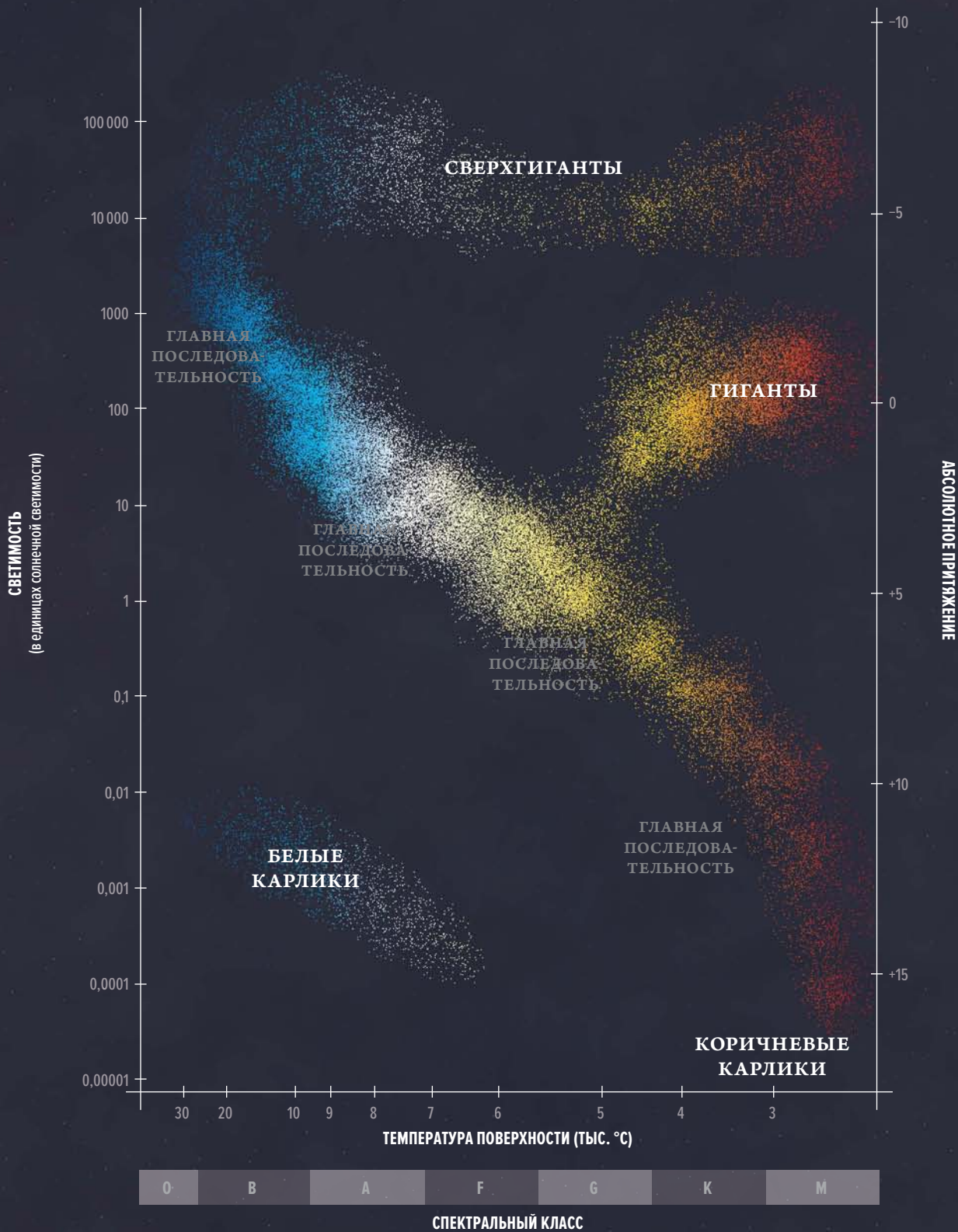
БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

В нижней левой части диаграммы расположены маленькие плотные белые карлики — остатки звезд, у которых закончилось топливо, но им не хватило массы, чтобы взорваться как сверхновые. Очень низкая светимость является результатом их теплового излучения, поскольку в недрах этих звезд не протекают термоядерные реакции.

КОРИЧНЕВЫЕ КАРЛИКИ

Наименее массивные звезды, относящиеся к главной последовательности, располагаются в ее правой нижней части. Далее следуют коричневые карлики — звезды, которые так и не набрали достаточной массы, чтобы запустить реакции термоядерного синтеза из водорода. Низкая светимость является результатом того, что они излучают тепловую энергию, и, возможно, в них также медленно протекают реакции термоядерного синтеза из дейтерия и лития.

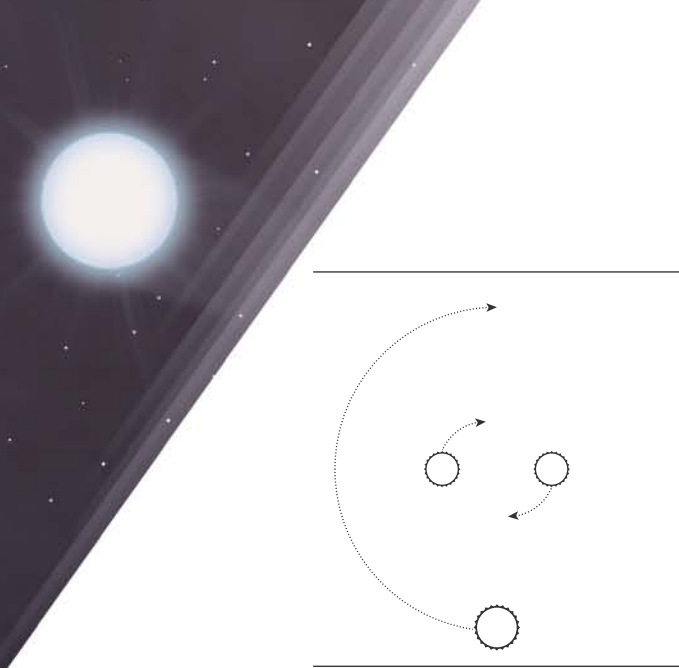
На диаграмме не изображены черные дыры и нейтронные звезды из-за их практически нулевой светимости.



Кратные звездные системы

152





Многие из светящихся точек на ночном небе, которые кажутся отдельными звездами, на самом деле не одиночки, как Солнце, а являются кратными звездными системами. В большинстве случаев эти звезды кружатся друг вокруг друга парами и называются двойными, но есть и такие, что обращаются группами из трех и более отдельных звезд. Земным наблюдателям кратные звезды часто кажутся одним светящимся пятнышком, поскольку на таком большом расстоянии мы просто не можем различить отдельные источники света. До четырех пятых всех звезд входят в состав кратных звездных систем, а значит, наше Солнце не совсем типично в этом отношении.

Хотя кратные звездные системы могут возникать в результате тяготения, вероятность этого мала. Из-за огромного количества звезд, входящих в состав кратных систем, должен существовать более распространенный способ их образования. Как правило, звезды в одной системе зарождаются одновременно из одного и того же молекулярного облака, которое в процессе формирования распадается на несколько частей. Хотя эти звезды возникают и развиваются параллельно друг с другом, они, скорее всего, будут очень разными в зависимости от набранной ими массы. Как известно, масса является наиболее важным фактором, определяющим свойства звезды, в том числе ее температуру, размер и продолжительность жизни. Если звезды формируются достаточно близко друг к другу, то на определенных этапах эволюции происходят разные взаимодействия. Например, часто к концу жизни звезды расширяются. Внешние части такой звезды могут раздуться и настолько приблизиться к спутнику, что ее вещество перетекает на вторую звезду.

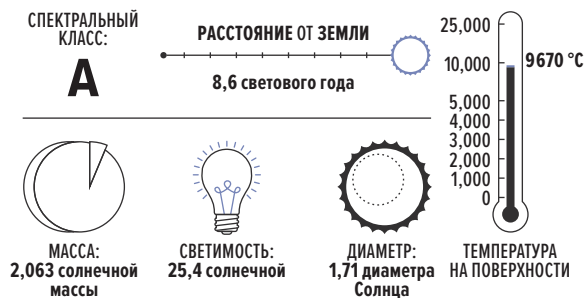
В некоторых двойных системах звезды обращаются так близко друг к другу, что соприкасаются (и, скорее всего, в будущем сольются); при этом обращаются они невероятно быстро, возможно совершая один оборот всего за несколько минут. Для изучения слишком тесных двойных звезд, компоненты которых неразличимы даже в телескоп, используются такие методы, как спектроскопия. При наличии нескольких источников света их присутствие проявится в полученных с помощью этих методов данных. В других двойных системах компоненты могут находиться на расстоянии десятков тысяч а.е. друг от друга и бывают хорошо различимы невооруженным глазом. Их орбитальные периоды составляют сотни и тысячи лет.

Пульсары встречаются и в двойных системах, и если компоненты такой системы находятся достаточно близко друг к другу, то вещество с менее массивного компонента может начать перетекать на пульсар. В 2016 году, была обнаружена первая двойная система с пульсаром, где плотный компонент представлен белым карликом, а не нейтронной звездой. Звездная система AR Скорпиона состоит из белого карлика и красной карликовой звезды, обращающихся друг вокруг друга на расстоянии около 1,4 млн км. Это всего в три раза больше, чем расстояние от Земли до Луны, но при этом пара совершает один оборот по орбите лишь немногим более трех с половиной часов. Поскольку плотность белых карликов значительно ниже, чем у нейтронных звезд, они вращаются гораздо медленнее. В случае с белым карликом AR Скорпиона на один оборот уходит почти две минуты. Магнитное поле этой вращающейся компактной звезды (в 100 000 раз сильнее земного) ускоряет электроны и периодически «обстреливает» ими второй компонент системы, что приводит к изменениям светимости, которые мы наблюдаем как регулярные импульсы.

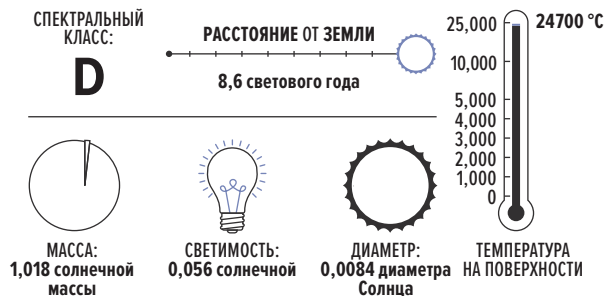
Были найдены планеты, обращающиеся вокруг двойных звездных систем, хотя они встречаются не так часто, как у одиночных звезд. Наблюдения космического телескопа Kepler показали, что у большинства одиночных звезд, похожих на Солнце, есть по несколько планет, в то время как только у трети двойных звезд встречаются планеты. Вряд ли на планетах, обращающихся вокруг двойных звезд, может существовать жизнь, ведь для нее необходимы относительно стабильные условия. Кроме того, на планетах в двойных системах может быть слишком жарко — их освещает свет сразу двух солнц. Ночная тьма может нарушаться появлением второго солнца, а из-за обращения звезд друг вокруг друга они не могут находиться на постоянном расстоянии от планеты, что приведет к дополнительным колебаниям получаемого планетой тепла и света.

Сириус А и В

Сириус А



Сириус В



Сириус — самая яркая звезда на ночном небосводе и поэтому упоминается еще с древности. Еще древние египтяне поклонялись этой звезде как богине, следившей за плодородием земли. Как и многие звезды, Сириус периодически становится недоступным для взора, так как скрывается в лучах Солнца перед рассветом или после заката. Именно совпадение по времени первого после периода невидимости восхода Сириуса непосредственно перед восходом Солнца с ежегодным разливом Нила послужило причиной того, что звезда стала ассоциироваться с плодородием. Древние греки считали, что появление звезды предвещает начало жаркого и сухого лета, а древние римляне приносили в жертву животных, чтобы звезда обеспечила им хороший урожай. Однако и во множестве других культур ослепительный Сириус играл существенную роль. Подумать только, что звезда — всего лишь мерцающая точка света в небе — повлияла на жизнь и поступки стольких миллионов людей. Поистине удивительно!

Хотя люди знали о существовании Сириуса еще на заре цивилизации, только в 1844 году было установлено, что он является частью системы из двух звезд. Изучая движение Сириуса, немецкий астроном Фридрих Бессель заметил, что тот отклоняется от предсказанного курса. Он сделал правильный вывод о наличии у звезды невидимого спутника, который искажает видимый путь Сириуса на небе. Однако прошло еще 15 лет, прежде чем американский мастер по изготовлению телескопов и астроном Алван Грэм Кларк произвел прямое наблюдение скрытой звезды.

Сириус В, как теперь называют маленький спутник главной звезды, представляет собой тусклый белый карлик, светимость которого в 10000 раз меньше, чем у Сириуса А. Из-за такой большой разности блеска точно определить массу Сириуса В удалось только в 2005 году, используя данные наблюдений космического телескопа Hubble. В настоящее время масса звезды немного превышает массу Солнца, то есть она является одним из самых массивных белых карликов, хотя по размерам чуть меньше Земли. Астрономы считают, что, когда Сириус В только начал светить, его масса составляла пять солнечных, что намного больше, чем у его парной звезды, которая и сделала его карликом. В ходе превращения из красного гиганта в белого карлика около 124 миллионов лет назад Сириус В сбросил большую часть своей массы, и осталось одно лишь горячее плотное ядро.

В ядре более массивного, яркого и более знакомого нам Сириуса А все еще продолжают протекать реакции термоядерного синтеза из водорода. Масса Сириуса А вдвое больше солнечной, а светимость примерно в 25 раз превышает солнечную, поэтому общее время его пребывания на главной последовательности оценивается примерно в миллиард лет, из которых около четверти уже истекло. Впоследствии Сириус А, возможно, станет красным гигантом, а потом белым карликом, как и его спутник. В настоящее время компоненты этой двойной звезды обращаются друг вокруг друга с периодом 50 лет.

Снимок получен космическим телескопом Hubble в 2003 году. Сириус А находится в центре, а Сириус В виден в левом нижнем углу



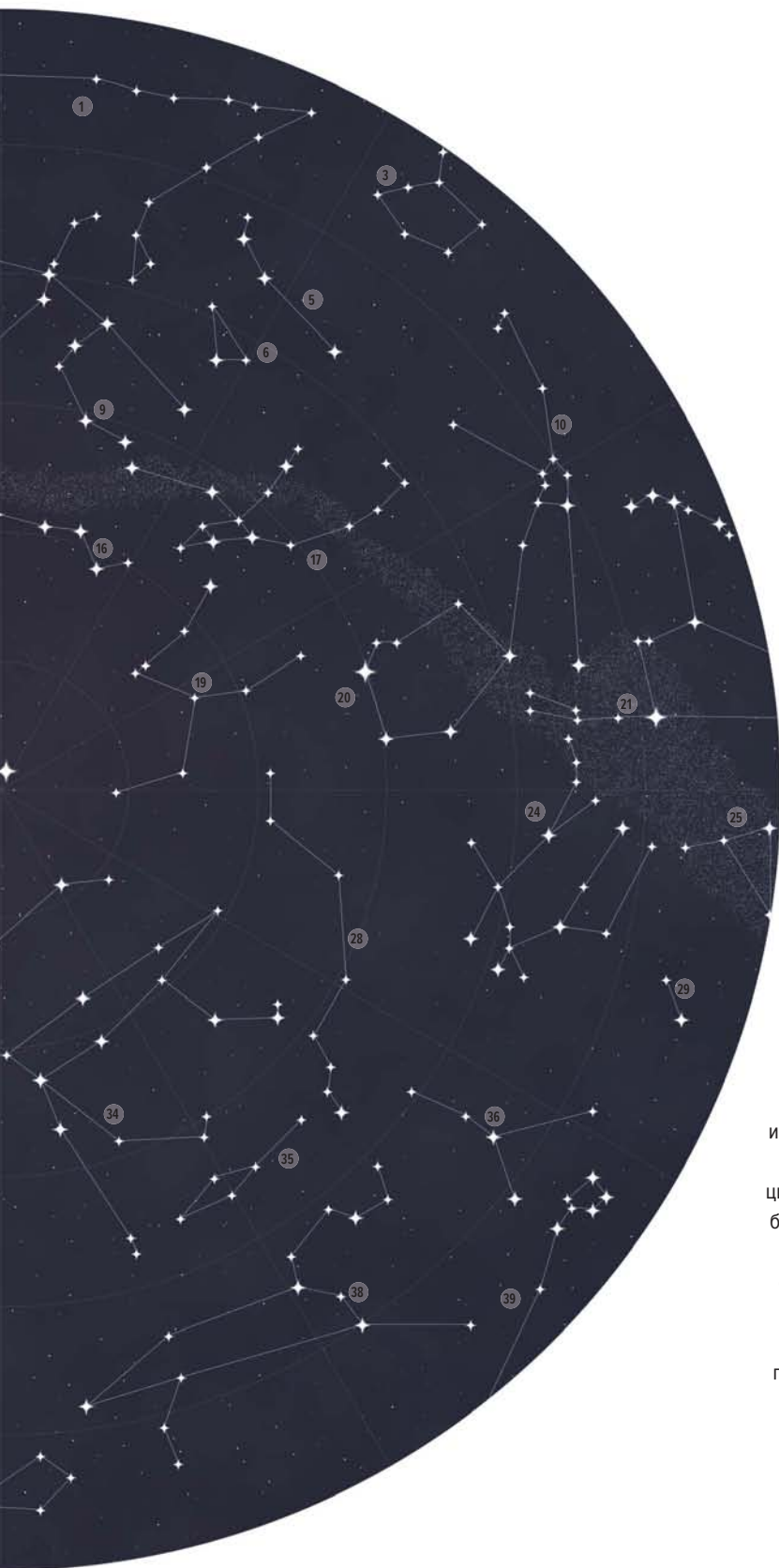
СОЗВЕЗДИЯ

СЕВЕРНОЕ ПОЛУШАРИЕ

156

- 1 РЫБЫ
- 2 ПЕГАС
- 3 КИТ*
- 4 МАЛЫЙ КОНЬ
- 5 ОВЕН
- 6 ТРЕУГОЛЬНИК
- 7 ДЕЛЬФИН
- 8 ЯЩЕРИЦА
- 9 АНДРОМЕДА
- 10 ТЕЛЕЦ
- 11 ОРЕЛ
- 12 СТРЕЛА
- 13 ЛИСИЧКА
- 14 ЛЕБЕДЬ
- 15 ЦЕФЕЙ
- 16 КАССИОПЕЯ
- 17 ПЕРСЕЙ
- 18 ЛИРА
- 19 ЖИРАФ
- 20 ВОЗНИЧИЙ





- 21 ОРИОН*
- 22 ДРАКОН
- 23 МАЛАЯ МЕДВЕДИЦА
- 24 БЛИЗНЕЦЫ
- 25 ЕДИНОРОГ*
- 26 ЗМЕЕНОСЕЦ*
- 27 ГЕРКУЛЕС
- 28 РЫСЬ
- 29 МАЛЫЙ ПЕС
- 30 ЗМЕЯ*
- 31 СЕВЕРНАЯ КОРОНА
- 32 ВОЛОПАС
- 33 ГОНЧИЕ ПСЫ
- 34 БОЛЬШАЯ МЕДВЕДИЦА
- 35 МАЛЫЙ ЛЕВ
- 36 РАК
- 37 ВОЛОСЫ ВЕРОНИКИ
- 38 ЛЕВ
- 39 ГИДРА*
- 40 ДЕВА

Человеку свойственно распознавать закономерности в окружающем его мире, в том числе и в конфигурациях созвездий, которые появляются ночью на небосводе. С самой зари цивилизации в сочетаниях звезд мы узнавали изображения богов, героев, мифологических животных. Первоначально созвездия были описаны в месопотамской, шумерской и вавилонской культурах, затем эстафету переняли древние греки и римляне, добавившие на небо собственных мифических персонажей. В настоящее время Международный астрономический союз выделяет 88 созвездий, 36 из которых находятся преимущественно на северном небе, а остальные 52 — на южном.

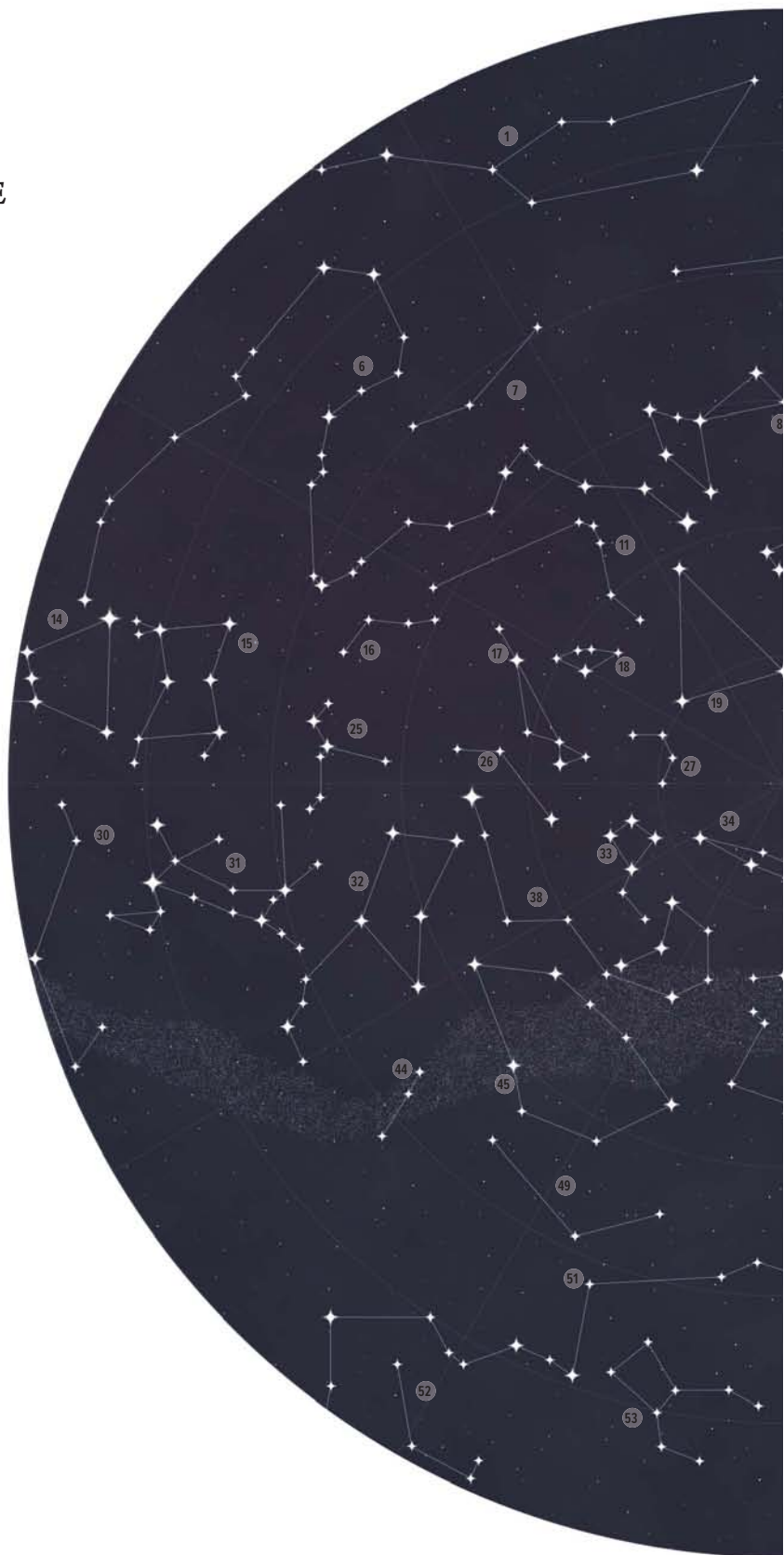
* Созвездие частично находится в Южном полушарии.

СОЗВЕЗДИЯ

ЮЖНОЕ ПОЛУШАРИЕ

158

- 1 КИТ*
- 2 ВОДОЛЕЙ
- 3 СКУЛЬПТОР
- 4 ЮЖНАЯ РЫБА
- 5 КОЗЕРОГ
- 6 ЭРИДАН
- 7 ПЕЧЬ
- 8 ФЕНИКС
- 9 ЖУРАВЛЬ
- 10 МИКРОСКОП
- 11 ЧАСЫ
- 12 ТУКАН
- 13 ИНДЕЕЦ
- 14 ОРИОН*
- 15 ЗАЯЦ
- 16 РЕЗЕЦ
- 17 ЗОЛОТАЯ РЫБА
- 18 СЕТКА
- 19 ЮЖНАЯ ГИДРА
- 20 ПАВЛИН
- 21 ТЕЛЕСКОП
- 22 ЮЖНАЯ КОРОНА
- 23 СТРЕЛЕЦ
- 24 ЩИТ
- 25 ГОЛУБЬ
- 26 ЖИВОПИСЕЦ
- 27 СТОЛОВАЯ ГОРА





- 28 ОКТАНТ
- 29 ЗМЕЯ*
- 30 ЕДИНОРОГ*
- 31 БОЛЬШОЙ ПЕС
- 32 КОРМА
- 33 ЛЕТУЧАЯ РЫБА
- 34 ХАМЕЛЕОН
- 35 РАЙСКАЯ ПТИЦА
- 36 ЮЖНЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК
- 37 ЖЕРТВЕННИК
- 38 КИЛЬ
- 39 МУХА
- 40 ЦИРКУЛЬ
- 41 НАУГОЛЬНИК
- 42 СКОРПИОН
- 43 ЗМЕЕНОСЕЦ*
- 44 КОМПАС
- 45 ПАРУСА
- 46 ЮЖНЫЙ КРЕСТ
- 47 КЕНТАВР
- 48 ВОЛК
- 49 НАСОС
- 50 ВЕСЫ
- 51 ГИДРА*
- 52 СЕКСТАНТ
- 53 ЧАША
- 54 ВОРОН

Звезды кажутся нам неизменными, их положение на ночном небе будто бы фиксировано, однако это не так. Поскольку все они движутся по отношению к Земле, образуемые ими на небе конфигурации медленно меняются. Созвездия, с которыми мы знакомы сегодня, не будут существовать вечно. Земляне, родившиеся через десятки и сотни тысяч лет, должны будут придумать свои собственные символы и собственных персонажей, поскольку наши будут им уже непонятны.

* Созвездие частично находится в Северном полушарии.



“

*Я не хочу верить.
Я хочу знать*

”

Карл Саган (1934–1996)

ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТЫ

162

ДРУГИЕ МИРЫ

На протяжении многих веков люди как биологический вид задавались вопросом, существуют ли другие планеты среди звезд, видимых ночью. Сейчас такой вопрос может показаться нелепым, но когда-то это было предметом споров.

В XVI столетии итальянский философ Джордано Бруно предпринял попытку дальнейшего развития теории Коперника, согласно которой в центре Вселенной находится не Земля, а Солнце. Он предположил, что вокруг звезд, как и вокруг нашего Солнца, могут обращаться планеты. За

это, а также за целый ряд других деяний, «противоречащих католическому вероучению», он был сожжен на костре святой инквизицией.

К счастью для нас, почти 400 лет спустя доказали факт существования этих далеких миров. Доказательства получены, разногласий больше нет, и никого не нужно сжигать. Сегодня мы знаем о тысячах внесолнечных планет и сотнях звездных систем, в которых есть более одной планеты, что доказывает, что наша многопланетная Солнечная система не является

аномалией. Чем больше мы узнаем о внесолнечных планетах, их звездах и орбитах, тем лучше начинаем понимать эволюцию и динамику нашей собственной Солнечной системы.

Темпы открытия внесолнечных планет стремительно растут год от года, подстегиваемые развитием технологий и научных методов. С учетом того, что планеты еще более многочисленны, чем звезды, поиск миров, подобных нашему, а также инопланетной жизни является одной из первостепенных задач астрономии.

Как образуются планеты


Солнечные системы, подобные нашей, образуются из гигантских молекулярных облаков, во много раз их превосходящих. В результате процесса аккреции разреженное вещество в этих облаках однажды превратится в упорядоченную планетарную систему, в центре которой засияет новая звезда. Данная теория происхождения планет, известная как небулярная, была впервые выдвинута в XVIII веке немецким философом Иммануилом Кантом. Хотя с течением времени теория несколько раз модифицировалась в соответствии с данными новых наблюдений, ее основные принципы остались неизменными.

164


1 Молекулярное облако, состоящее в основном из водорода и гелия вместе с частицами пыли, содержащими более тяжелые элементы, начинает сжиматься под действием силы тяжести. По мере того как газ и пыль притягиваются к центру, облако медленно вращается

2 Центральная область облака становится плотнее, и в ней «загорается» протозвезда. По мере дальнейшего сжатия облака его вращение ускоряется, и облако сплющивается в протопланетный диск

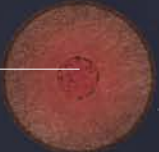
5 Протозвезда становится полноценной звездой, и ее излучение «выдувает» большую часть оставшегося газа и неизрасходованной на формирование небесных тел пыли из новорожденной солнечной системы



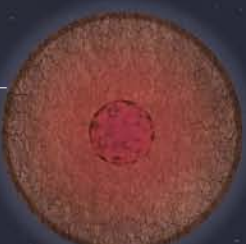
3 Из-за того что диск не совсем однороден, тяготение приводит к образованию в нем отдельных колец. Внутри колец в результате аккреции гораздо более мелких частиц начинают формироваться планетезимали



4 Планетезимали взаимно притягиваются и сталкиваются друг с другом, и из колец образуются планеты



В результате падения на них малых тел планеты по мере роста нагреваются. После расплавления планеты более плотные элементы опускаются в ядро



Если планета наберет массу, немного превышающую массу Марса, то она сможет удержать протяженную атмосферу

Эта теория хорошо объясняет, почему все планеты нашей Солнечной системы обращаются вокруг Солнца почти в одной плоскости: ведь все они образовались из одного и того же сплюснутого диска. Плоскости орбит всех планет, за исключением Меркурия, лежат в пределах нескольких градусов друг от друга и совпадают с экваториальной плоскостью Солнца. Теория также объясняет, почему все планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении. Дело в том, что именно в этом направлении вращался протопланетный диск. Наблюдения за другими планетными системами подтвердили небулярную гипотезу.

Типы планет

Особенности планеты определяются особенностями ее возникновения в протопланетном диске. Химический состав, температура, орбитальный период, наличие атмосферы или магнитного поля — все это следствия первоначального окружения планеты (катаклизмы не в счет). Из-за большого разнообразия планет для объединения объектов с похожими характеристиками используются системы классификации.

166



СВЕРХЗЕМЛЯ

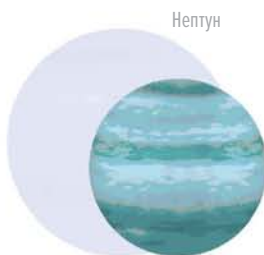
Планета с массой, превышающей земную, но не более чем в 10 раз.

При этом сходство с Землей в отношении условий и пригодности для жизни не подразумевается



МИНИ-ЗЕМЛЯ

Планеты с массой, значительно меньше земной



МИНИ-НЕПТУНЫ

Эти планеты также называют газовыми карликами, они окружены плотной водородно-гелиевой атмосферой, а под ней могут иметь слой льда и каменных пород или жидкий океан. Их масса меньше, чем у Нептуна, но значительно больше, чем у Земли



МЕЗОПЛАНЕТА

Планетное тело меньше Меркурия, но больше Цереры (диаметром от 1 до 5 тыс. км)



ГИГАНТ

Планеты-гиганты обычно состоят в основном из газа или льда (газовые гиганты), но также могут состоять преимущественно из каменных пород (мега-Земли). Независимо от состава планеты-гиганты обычно имеют плотные атмосферы, состоящие из водорода и гелия



КАРЛИКОВЫЕ ПЛАНЕТЫ

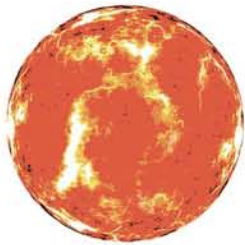
Они достаточно массивны, чтобы благодаря собственному тяготению принять шарообразную форму, но при этом их орбита не свободна от других объектов и мусора



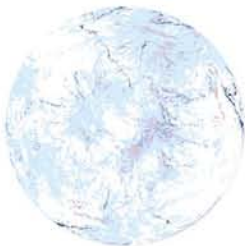
ПЛАНЕТА ЗЕМНОЙ ГРУППЫ
Иными словами, каменная планета. Состоит главным образом из силикатов и металлов



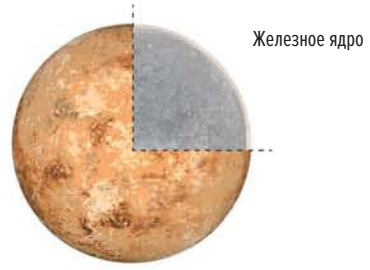
СИЛИКАТНАЯ ПЛАНЕТА
Планета земной группы, состоящая в основном из силикатов



ЛАВОВАЯ ПЛАНЕТА
Планета земной группы с высокой температурой. Ее поверхность покрыта расплавленной лавой



ЛЕДЯНАЯ ПЛАНЕТА
Планета с поверхностью, покрытой льдом или иными замерзшими химическими веществами



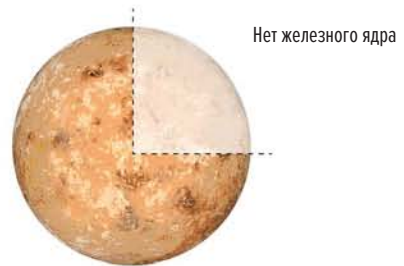
ЖЕЛЕЗНАЯ ПЛАНЕТА
Планета земной группы, состоящая в основном из богатого железом ядра с небольшой мантией или без нее, как, например, Меркурий



ПУСТЫННАЯ ПЛАНЕТА
Планета земной группы, на которой совсем или почти нет воды



ПЛАНЕТА-ОКЕАН
Планета, значительная часть массы которой состоит из воды (иногда из других жидкостей)

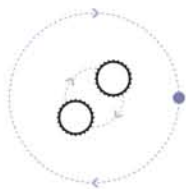


БЕЗЪЯДЕРНАЯ ПЛАНЕТА
Планета, в которой в процессе ее формирования не было железа, поэтому у нее нет металлического ядра и магнитного поля

Расположение планет

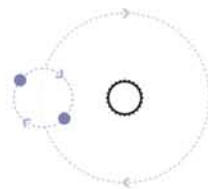
До подтвержденного открытия первой внесолнечной планеты считалось, что строение всех планетных систем, которые можно обнаружить, будет напоминать строение нашей Солнечной системы. Сегодня, обнаружив планеты в более пяти тысячах звездных системах, мы знаем, что ошибались. Как оказалось, планетные системы невероятно разнообразны — настолько же, насколько разнообразны сами планеты.

168



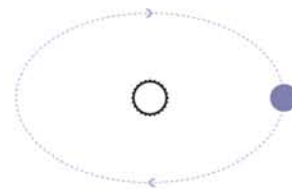
ПЛАНЕТА С КРАТНОЙ ОРБИТОЙ

Планета, обращающаяся вокруг системы из двух звезд



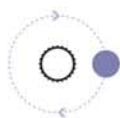
ДВОЙНАЯ ПЛАНЕТА

Два объекта планетной массы, обращающиеся друг вокруг друга



ЭКСЦЕНТРИЧЕСКИЙ ЮПИТЕР

Газовый гигант, обращающийся вокруг своей звезды по вытянутой орбите



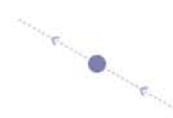
ГОРЯЧИЙ ЮПИТЕР

Газовый гигант, орбита которого расположена очень близко к звезде, и поэтому ее атмосфера имеет высокую температуру на поверхности. Расстояние от звезды может быть настолько малым, что планета совершает оборот за считанные дни (Юпитеру для этого требуется более 10 лет)



ГОРЯЧИЙ НЕПТУН

Газовый гигант с массой, близкой к массе Урана или Нептуна с орбитой вблизи звезды обычно в пределах 1 а. е.



ПЛАНЕТА-СИРОТА

Другие названия: планета-странник, свободнолетящая планета. Планетное тело, которое либо было выброшено из своей звездной системы, либо никогда не было гравитационно связано с какой-либо звездой

МИГРАЦИЯ ПЛАНЕТ

Считается, что планеты-гиганты обычно образуются во внешней части протопланетного диска, но в некоторых случаях они перемещаются вглубь к звезде. Обычно это происходит в результате их взаимодействия с другими телами в планетном диске на более ранних этапах жизни звездной системы. Например, малые планеты, или планетезимали, сформировавшиеся на орбите газового гиганта, на определенном этапе могли пройти слишком близко от него. В этом случае сила тяготения планеты-гиганта «вышвыривает» малое тело от звезды за пределы системы, но в результате — в соответствии с третьим законом Ньютона — планета-гигант испытывает толчок в сторону звезды, во внутреннюю часть планетной системы, где ей предстоит дальнейшее взаимодействие с другими телами.



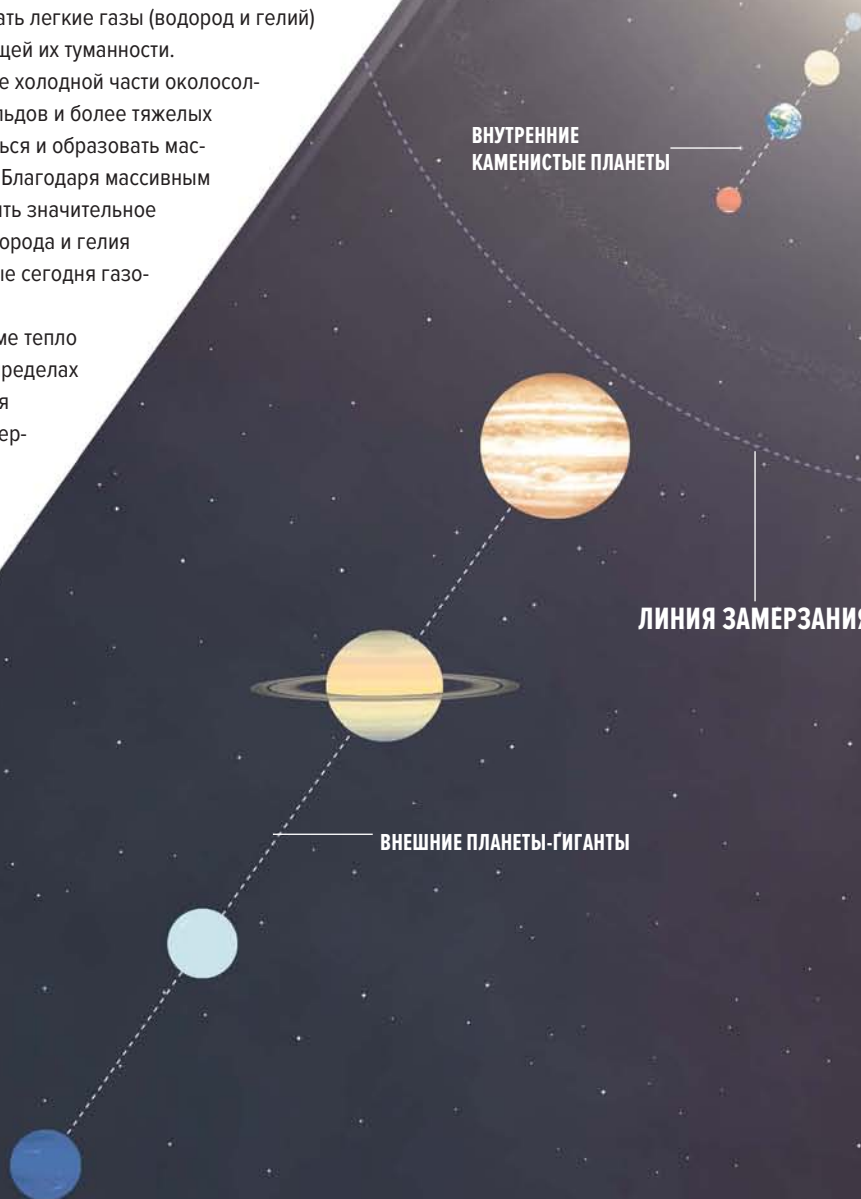
НАША СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Планеты нашей Солнечной системы делятся на две отдельные группы: небольшие каменистые внутренние планеты и далекие газовые планеты-гиганты. Случайность ли это или за таким разделением кроется какая-то причина?

Когда планеты формировались на заре возникновения Солнечной системы, те из них, что находились ближе к центру, рядом с только что образовавшейся протозвездой, подверглись влиянию гораздо более высоких температур, чем те, которые находились далеко от центральной протозвезды. Из-за сильного разогрева все ледяные включения испарились, а остались только скалистые породы с высокой плотностью. Кроме того, из-за малой массы и высокой начальной температуры эти планеты не могли захватывать и удерживать легкие газы (водород и гелий) непосредственно из окружающей их туманности.

Дальше от Солнца, в более холодной части околосолнечного пространства, смесь льдов и более тяжелых пород смогла сконденсироваться и образовать массивные ядра внешних планет. Благодаря массивным ядрам эти тела смогли захватить значительное количество окружающего водорода и гелия и превратились в наблюдаемые сегодня газовые планеты-гиганты.

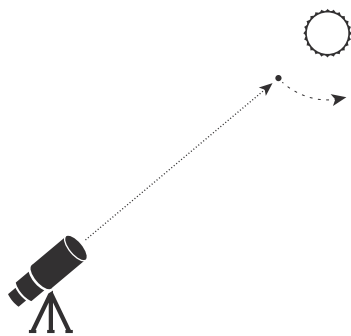
В нашей Солнечной системе тепло Солнца растапливает льды в пределах около 5 а.е. Эта воображаемая линия называется линией замерзания — за ее пределами летучие вещества (в том числе вода) переходят в твердое состояние.



Обнаружение ВНЕСОЛНЕЧНЫХ ПЛАНЕТ

170

A large, orange-hued planet dominates the center of the frame. A small, dark, circular spot is visible on its surface, positioned slightly to the right of the center. The background is a dark, starry space. In the bottom right corner, there is a white, angular shape that appears to be a corner of a page or a graphic element.



С Земли большинство планет Солнечной системы при благоприятных условиях видны невооруженным глазом. Что же касается внесолнечных планет, то они тоже светят только отраженным светом и во много раз тусклее освещающей их звезды. Единственная причина, по которой мы видим соседние планеты, это их близкое расположение к нам. Даже самая большая планета нашей системы Юпитер в миллиард раз тусклее Солнца, а Земля, для сравнения, тусклее Юпитера в десять раз. Нетрудно догадаться, почему, находясь на удалении многих световых лет, планеты разглядеть нелегко. Еще усложняет дело то, что маленькие тусклые внесолнечные планеты (экзопланеты), за которыми охотятся астрономы, обычно тонут в ярком свете своих звезд, из-за чего их прямое наблюдение крайне затруднено. Для их обнаружения требуется немного больше изобретательности.

Первое подтверждение доказательства существования экзопланеты было получено в 1992 году Александром Вольщаном и Дейлом Фрейлом. В их совместной работе, основанной на данных наблюдений, выполненных в обсерватории в Пуэрто-Рико, астрономы сообщили об открытии ранее неизвестного пульсара, вращающегося со скоростью почти 10000 оборотов в минуту. Однако что-то в нем было не так: быстрые, регулярные импульсы радиоволн, которые он излучал, казались аномальными: их частота менялась. Заметив в изменениях закономерность, астрономы пришли к выводу, что в действительности обнаружили проявления планеты. Вольщан и Фрейл даже смогли на основе анализа времени прихода радиоимпульсов рассчитать предполагаемую массу экзопланеты.

Со времени этой знаменательной находки было разработано множество методов, призванных помочь в поиске далеких миров. При этом, несмотря на то что сейчас уже удалось получить прямые изображения экзопланет, большинство новых методик опираются на косвенные методы доказательства их существования. Учитывая, что за пределами Солнечной системы были обнаружены тысячи планет, можно считать, что мы приобрели неплохой опыт их обнаружения, однако многие из них ускользают от нашего взгляда. Какими бы совершенными ни стали наши методы, тусклость экзопланет означает, что по-прежнему с гораздо большей вероятностью обнаруживаются большие, яркие и горячие тела, а не маленькие планеты или те, которые обращаются очень далеко от своей звезды и поэтому из-за плохой освещенности скрыты во тьме.

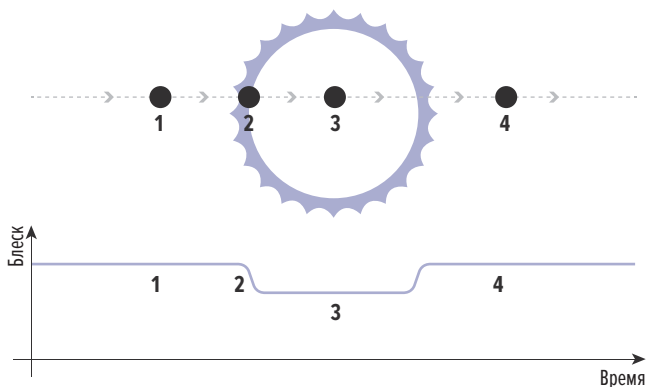
Открытие других планет за пределами нашей Солнечной системы вызвало повышенный интерес к возможности существования инопланетной жизни. До появления надежных свидетельств мы могли лишь предполагать существование внесолнечных планет, но теперь знаем, что они существуют, и это совсем не редкое явление. По данным наблюдений, в среднем на каждую звезду приходится более одной планеты, а это значит, что только в нашей Галактике насчитывается около 160 миллиардов планет. Наверняка на одной из них обитает какая-то форма жизни! Пока что мы не нашли никаких тому доказательств, но теперь, когда стало известно, насколько это обычное явление, вероятность такого открытия представляется более высокой.

Методы обнаружения

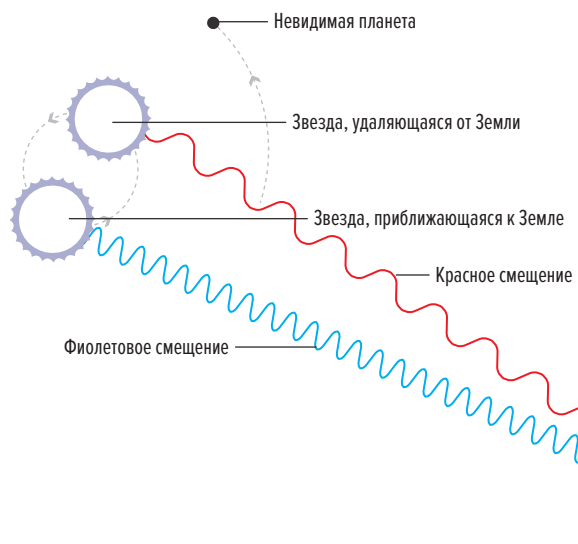
В настоящее время для обнаружения и подтверждения существования экзопланет астрономы используют множество разных методов, часто в сочетании друг с другом. Рассмотрим несколько наиболее распространенных.

ТРАНЗИТНЫЙ МЕТОД

В этом методе астрономы наблюдают периодические, едва заметные уменьшения блеска звезды при прохождении перед ней планеты. По этим изменениям блеска определяется орбитальный период планеты и ее диаметр, а в сочетании с другими методами — также и масса. Недостатком метода является то, что он эффективен только в тех случаях, когда планетная система видна «с ребра», то есть планета проходит между нами и звездой.



172



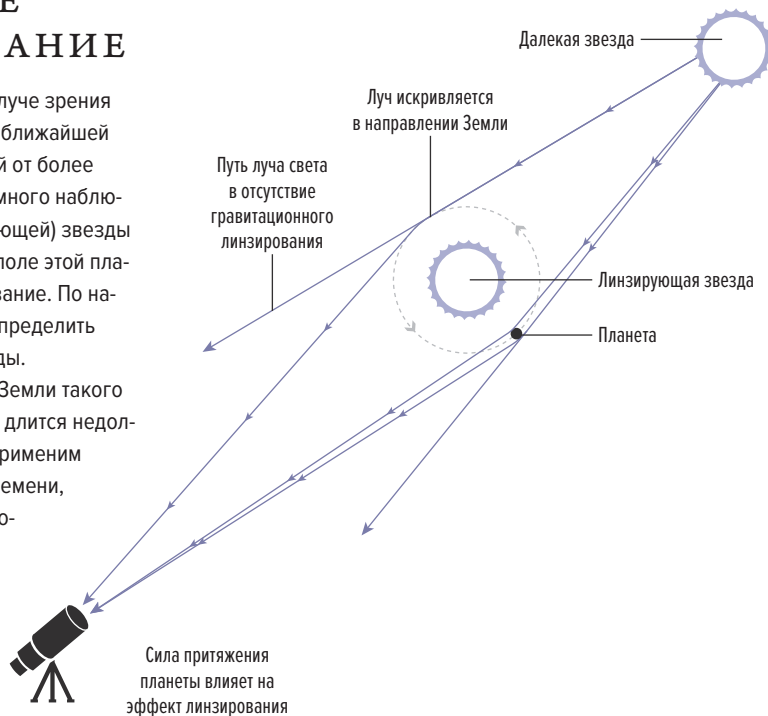
ДОППЛЕРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Когда планета обращается вокруг звезды, обращается не только она, но и звезда. Относительно небольшая гравитационная сила, создаваемая планетой, притягивает звезду, которая в результате обращается вокруг общего центра масс. Описываемая звездой орбита на самом деле очень мала и скорее похожа на колебания: звезда то движется к нам, то удаляется. При движении звезды к нам имеем фиолетовое смещение ее света, а при удалении — красное смещение, которое можно измерить с помощью сверхточных спектрографов. По величине красного/фиолетового смещения можно рассчитать орбитальный период планеты и определить ее массу.

ГРАВИТАЦИОННОЕ МИКРОЛИНЗИРОВАНИЕ

Если две звезды расположены на одном луче зрения относительно Земли, то сила притяжения ближайшей звезды будет искривлять свет, исходящий от более далекой звезды, «увеличивая» ее для земного наблюдателя. Если вокруг ближайшей (линзирующей) звезды обращается планета, то гравитационное поле этой планеты также вносит свой вклад в линзирование. По наблюдаемым изменениям блеска можно определить размер орбиты и другие параметры звезды.

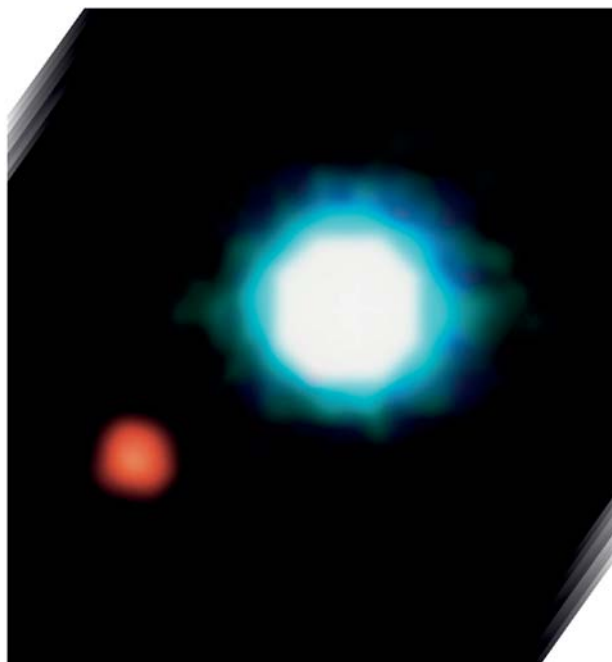
Из-за взаимного движения звезды и Земли такого рода относительное расположение звезд длится недолго. Хотя данный метод в каждом случае применим лишь в течение короткого промежутка времени, его преимущество состоит в том, что он позволяет обнаруживать маломассивные планеты, такие как Земля.



ПРЯМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Поскольку экзопланеты очень тусклые по сравнению со звездами, их трудно наблюдать непосредственно. Их часто снимают в инфракрасном диапазоне — чем горячее планета, тем более заметной она окажется на инфракрасном снимке. По очевидным причинам таким образом легче обнаружить большие планеты, а также планеты, которые обращаются на достаточно большом расстоянии от своей звезды и не тонут в ее ярком свете. Прямая съемка возможна только для относительно близких звездных систем, и из-за сочетания данного фактора с прочими ограничениями только небольшая часть обнаруженных экзопланет была открыта таким образом.

Это составное изображение, полученное в Европейской южной обсерватории в 2004 году, является первым прямым изображением внесолнечной планеты. Звезда в центре — коричневый карлик (здесь изображен ярко-белым цветом), а объект в левом нижнем углу — газовая планета-гигант, масса которой примерно в восемь раз больше массы Юпитера. Из-за значительной массы гравитационное сжатие привело к сильному нагреву планеты, температура на поверхности которой достигает 1300 °С. Планета 2M1207b вращается вокруг своей звезды на таком же расстоянии, на каком Плутон обращается вокруг Солнца



Жизнь на других планетах

Один из самых серьезных вопросов, с которым сталкиваются земляне, это вопрос, одиноки ли мы во Вселенной. Поэтому, когда речь заходит о планетах, естественно, что нас больше всего интересуют те, на которых может существовать жизнь...

В поисках пригодных для жизни миров, как правило, стоит рассматривать только каменные планеты. Хотя не исключено, что простейшая жизнь может развиваться в облаках газовых планет-гигантов. Но, по мнению ученых, из-за отсутствия подходящей поверхности и гораздо большей силы тяжести жизнь едва ли сохранится в таких условиях. Не исключено, что жизнь может возникнуть на каменных спутниках, обращающихся вокруг планет-гигантов. Было много предположений, годится ли на эту роль Европа. Этот спутник нашей крупнейшей планеты-гиганта — Юпитера — по размерам немного уступает Луне и покрыт твердой ледяной корой льда, под которой, как предполагается, находится водный океан. Он пребывает в жидком состоянии, поскольку нагревается за счет внутреннего трения, вызванного приливными силами, которые также приводят в движение течения в этом океане. Может ли Европа оказаться местом жительства наших ближайших соседей?

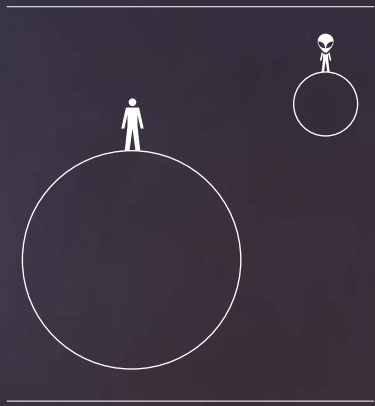
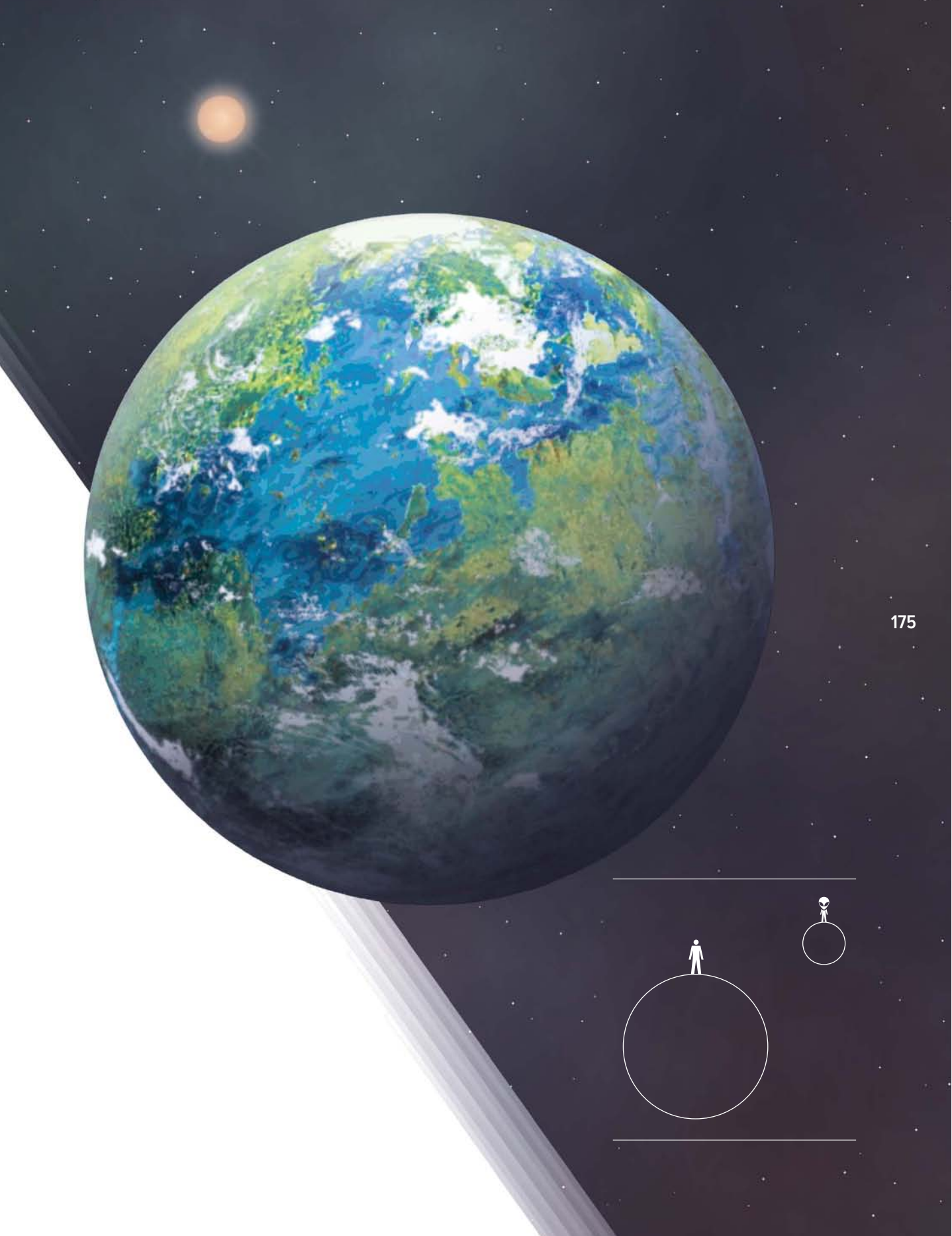
Для жизни необходима вода. По крайней мере это верно для всех земных обитателей. Разумеется, это не исключает существования отличной от нашей биохимии у инопланетных форм жизни, но в поисках пригодных для жизни планет стоит придерживаться того, что нам известно. Итак, мы хотели бы найти планету с водой, причем вода должна присутствовать в жидкой форме. Для этого необходимо, чтобы планета имела подходящую температуру, при которой вода не выкипает, превращаясь в пар, и не замерзает, отвердевая в лед. С помощью спектроскопии и других методов астрономы могут определить наличие воды и установить, находится ли она в жидкой форме.

Если планета обращается слишком близко к своей звезде, то там будет слишком жарко для существования жидкой воды, а если слишком далеко, то вся вода

замерзнет. Поэтому должно соблюдаться оптимальное расстояние от звезды, на котором может находиться планета с жидкой водой. Область, где не слишком жарко и не слишком холодно, а температура в самый раз, называется зоной обитаемости. Протяженность этой зоны от поверхности звезды зависит от температуры последней, более горячие звезды имеют зоны обитаемости большей протяженности.

Помимо воды, температуры и схожести с Землей необходимо учитывать и другие факторы. Очень важным является наличие атмосферы, поскольку без атмосферного давления вода все равно испарится. Еще одним фактором является стабильность температуры, поскольку экстремальные ее значения не способствуют наличию жидкой воды и жизни. Примером может служить планета с вытянутой орбитой: часть года она будет находиться близко к своей звезде, а часть слишком далеко. Другой случай — планета с медленным вращением: сторона, обращенная к звезде, «прожарится» под солнцем, а другая замерзнет во тьме. Наличие у планеты магнитного поля — еще одно преимущество, поскольку оно защищает жизнь от губительного излучения.

Один из методов, который, по нашему мнению, может помочь определить, есть ли на планетах жизнь, — анализ содержания кислорода в атмосфере. На Земле 2,4 миллиарда лет назад содержание кислорода в океанах и атмосфере внезапно повысилось в результате так называемой кислородной революции. Это объясняется появлением простейших форм жизни, которая возникла как бы из ниоткуда. В атмосферах некоторых небесных тел кислород встречается, но в небольших количествах из-за своей склонности вступать в реакцию с другими химическими веществами. Только при наличии жизни, как здесь, на Земле, в атмосфере планеты возможно высокое содержание кислорода, что может быть первым признаком обнаружения внеземной жизни.



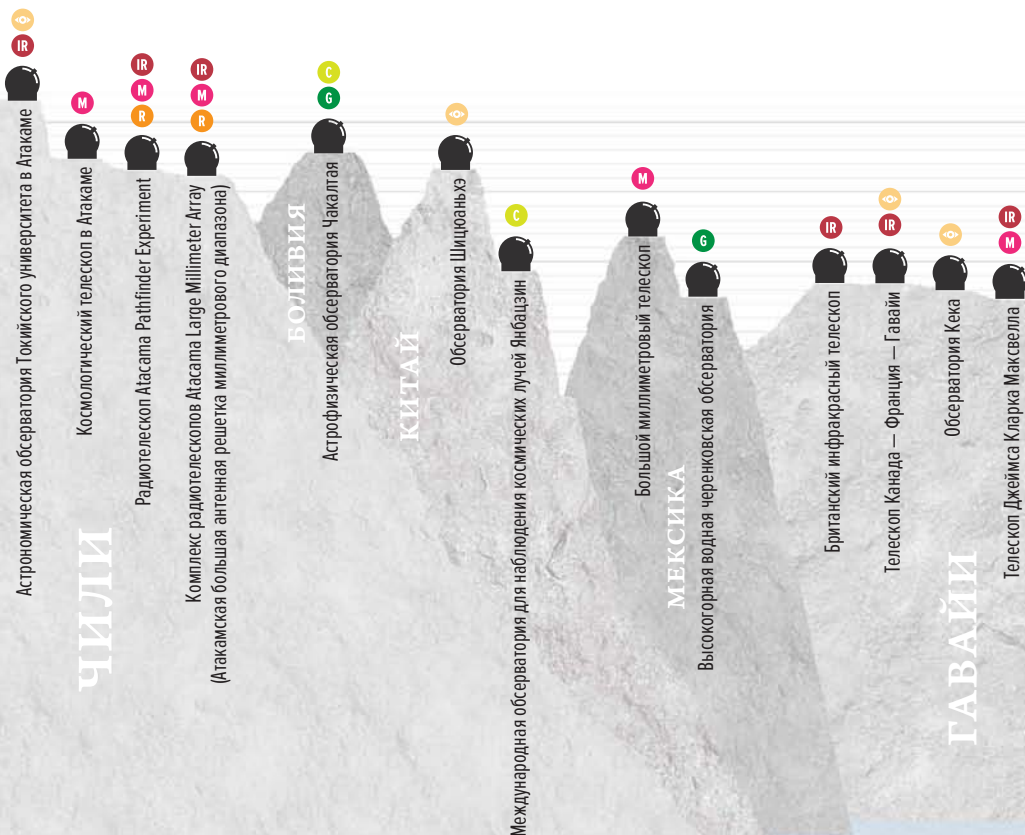
НАЗЕМНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ

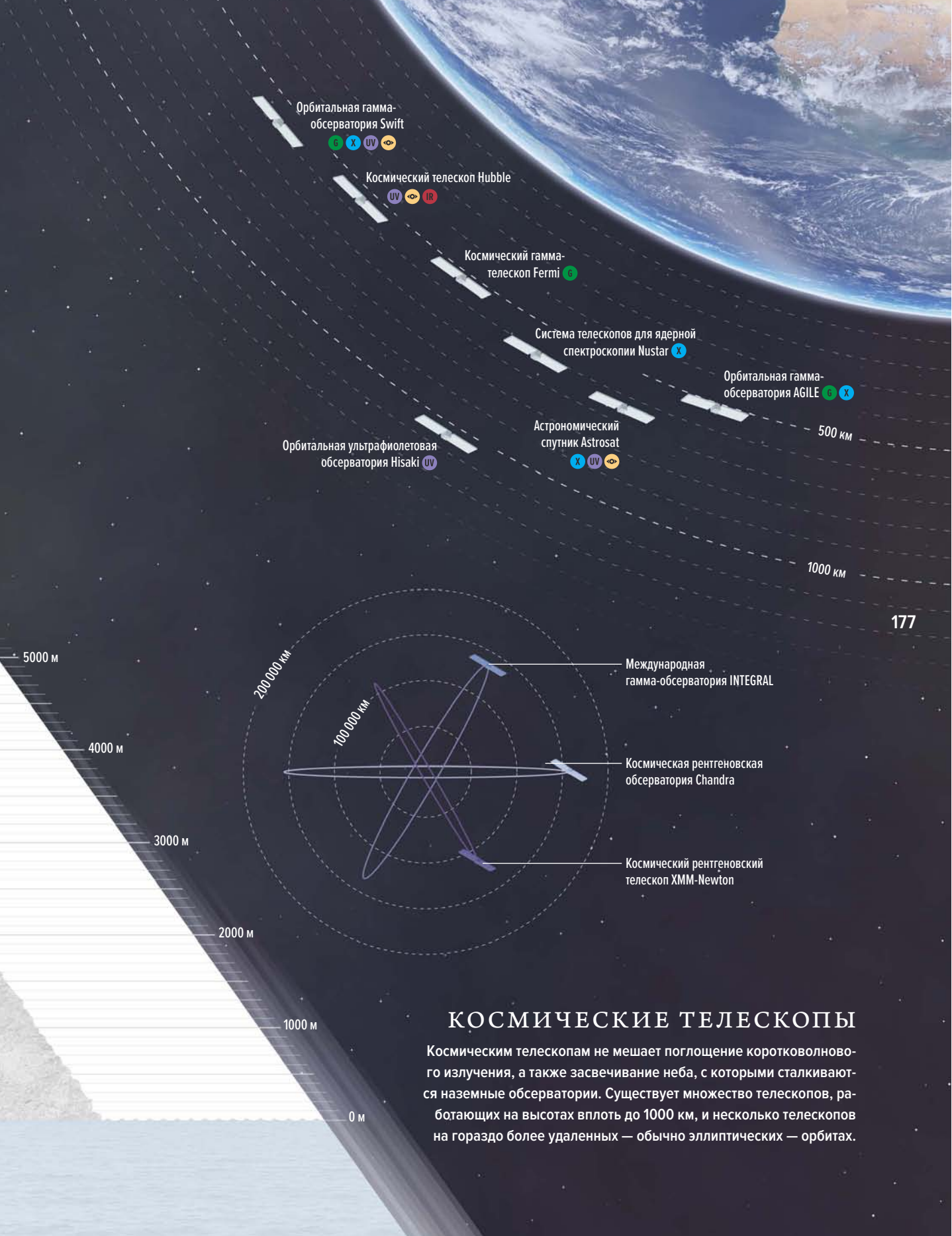
До конца XIX века почти все астрономические обсерватории располагались на небольших высотах, часто вблизи городов и учебных заведений по банальным соображениям удобства. Поскольку промышленная революция привела к сильному загрязнению воздуха и засвечиванию неба благодаря искусственному освещению, астрономы начали строить обсерватории в отдаленных местах с чистым и темным небом, что, естественно, привело их в горы.

Условия высокогорья идеально подходят для оптической астрономии и обеспечивают наилучшую видимость, поскольку позволяют подняться над значительной частью земной атмосферы. Для размещения современных обсерваторий подходят, в частности, юго-запад США, Гавайи, Канарские острова, Анды и высокогорные районы в Мексике, такие как Сьерра-Негра.

- C** КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ
- G** ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ
- X** РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
- UV** УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
- ☉** ВИДИМОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
- IR** ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
- M** МИКРОВОЛНЫ
- R** РАДИОВОЛНЫ

176





Орбитальная гамма-обсерватория Swift



Космический телескоп Hubble



Космический гамма-телескоп Fermi



Система телескопов для ядерной спектроскопии NuStar



Орбитальная гамма-обсерватория AGILE



Орбитальная ультрафиолетовая обсерватория Hisaki



Астрономический спутник Astrosat



500 км

1000 км

177

5000 м

4000 м

3000 м

2000 м

1000 м

0 м

200 000 км

100 000 км

Международная гамма-обсерватория INTEGRAL

Космическая рентгеновая обсерватория Chandra

Космический рентгеновский телескоп XMM-Newton

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ

Космическим телескопам не мешает поглощение коротковолнового излучения, а также засвечивание неба, с которыми сталкиваются наземные обсерватории. Существует множество телескопов, работающих на высотах вплоть до 1000 км, и несколько телескопов на гораздо более удаленных — обычно эллиптических — орбитах.



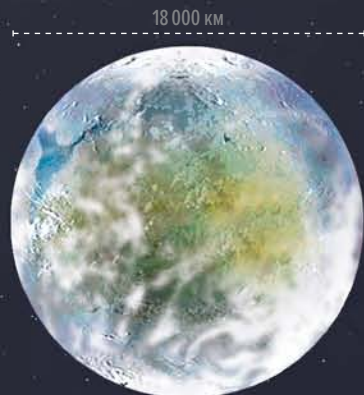
КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП КЕПЛЕР

Космический телескоп Кеплер был запущен в 2009 году для обнаружения внесолнечных планет, проходящих перед своими звездами, особенно тех, которые находятся в зоне обитаемости. Телескоп не обращается вокруг Земли, а движется вокруг Солнца, следуя по земной орбите на расстоянии около 100 млн км от нас. Благодаря движению телескопа по земной орбите вслед за нашей планетой удалось свести к минимуму все помехи, возникающие при слишком близком расположении к Земле. Телескоп был выведен из эксплуатации в 2018 году, когда закончилось топливо.

178

ПЛАНЕТЫ ЗОНЫ ОБИТАНИЯ

Из всех планет, обнаруженных космическим телескопом Кеплер, чуть меньше половины считаются каменными планетами, похожими на Землю, или сверхземлями. Из них около 50 находятся в зоне обитаемости своей звезды.



KEPLER-62F

Эта планета массой не менее 2,8 земной расположена на расстоянии 990 световых лет от нас и обращается вокруг звезды главной последовательности

KEPLER-442B
По предварительным оценкам, масса этой экзопланеты в 2,3 раза превышает массу Земли. Она обращается вокруг звезды главной последовательности на расстоянии 1200 световых лет от Солнечной системы



17 100 км



KEPLER-438B

Немного крупнее и массивнее Земли, обращается вокруг красной карликовой звезды на расстоянии около 640 световых лет

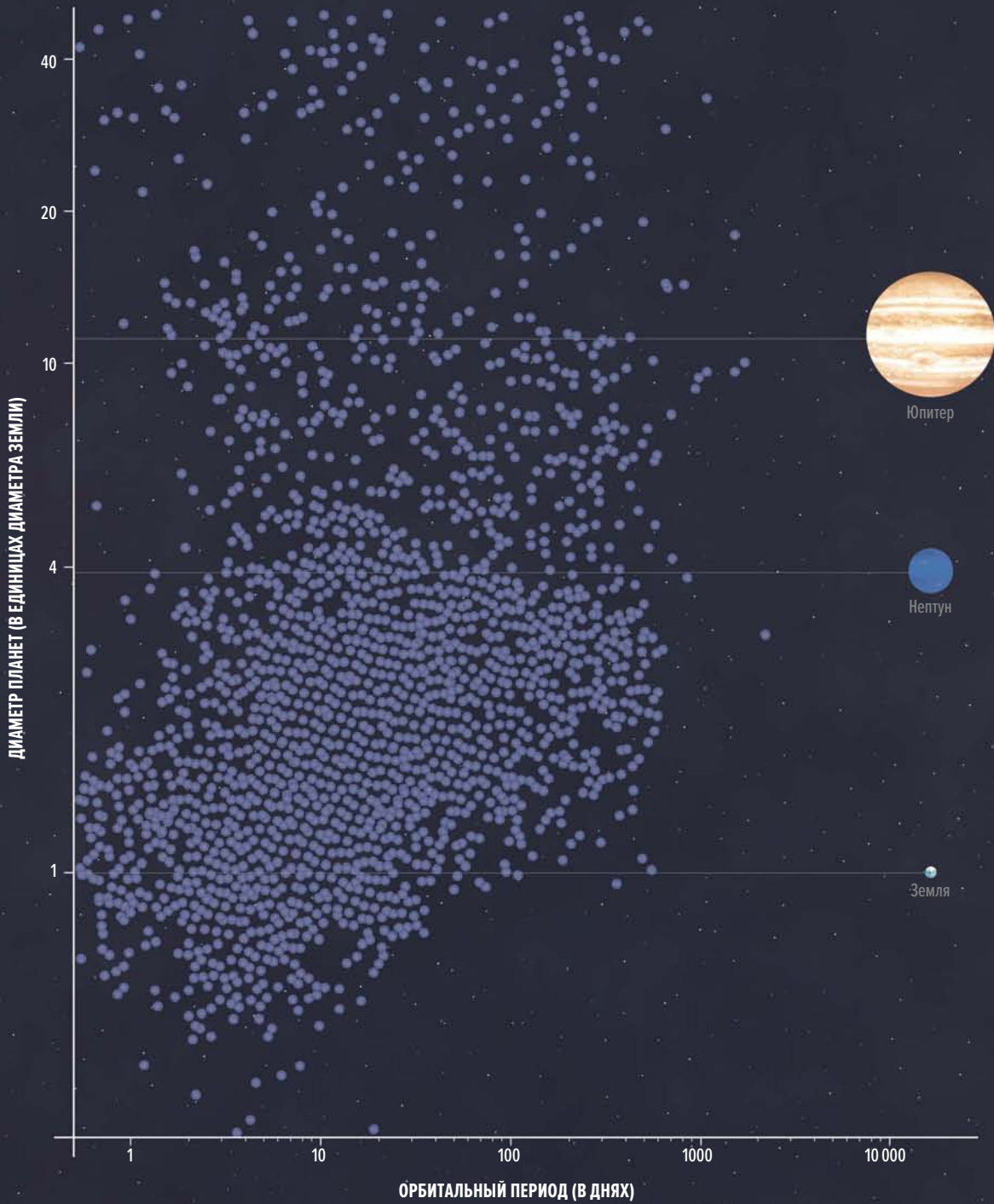


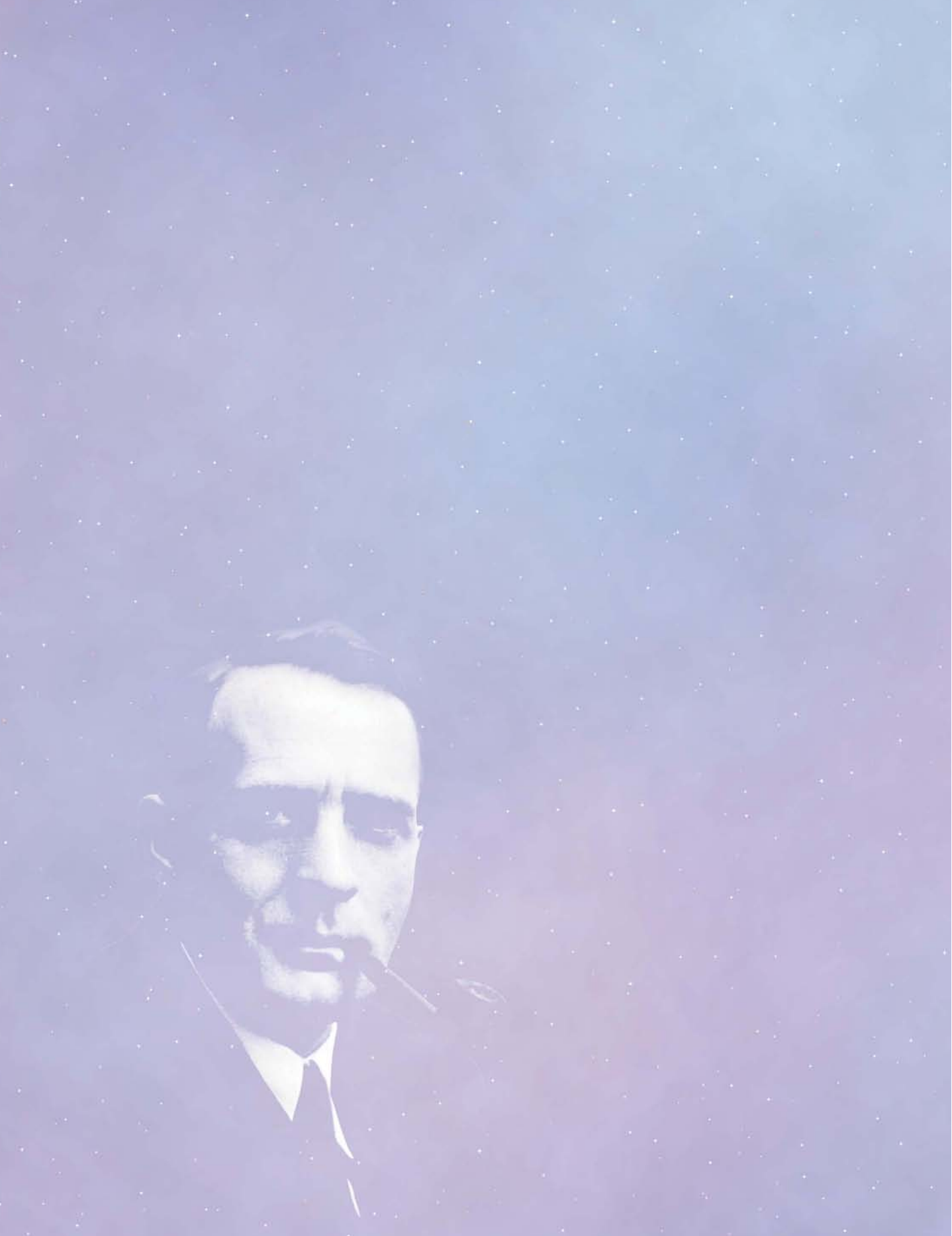
ЗЕМЛЯ

12 700 км

ОБНАРУЖЕННЫЕ ПЛАНЕТЫ

За время своей работы телескоп выполнил более полумиллиона наблюдений за звездами и при этом подтвердил наличие 2662 планет.





“

*История
астрономии —
это история
отступающих
горизонтов*

”

Эдвин Хаббл (1889–1953)

ГАЛАКТИКИ

182

ЗВЕЗДНЫЕ ОБЛАКА

Всего столетие назад полагали, что Млечный Путь — это и есть вся Вселенная. Все сущее, как считалось, обитает в нашей Галактике. Когда выяснилось, что далеко за пределами нашей Галактики существуют другие галактики, представление человека о Вселенной вновь перевернулось с ног на голову.

Выдающийся астроном Эдвин Хаббл привел убедительные доказательства, что наша Галактика не единственная. В том, что многие считали облаками газа и пыли на окраинах Млечного Пути, Хаббл смог правильно распознать сильно удаленные

от нашей другие островные вселенные. Всего несколько лет спустя, в 1929 году, Хаббл снова ошеломил мир: оказывается, Вселенная расширяется. Менее чем за десятилетие наша Галактика превратилась из единственной и неповторимой в одну из миллиардов других, и раскинувшиеся перед нами просторы невероятным образом вновь расширились. Границы существования расширились в геометрической прогрессии.

Теперь известно, что число звезд в галактике может составлять от нескольких сотен миллионов до сотен триллионов

и что галактики бывают разных форм и типов в зависимости от истории их образования и эволюции. Изучая эти огромные звездные скопления и их движение в космосе, мы пришли к выводу, что вещества во Вселенной больше, чем возможно обнаружить. Движение галактик также свидетельствует о существовании таинственной силы, которая заставляет Вселенную ускоренно расширяться. Свойства этих неизвестных сущностей, темной материи и темной энергии, еще не поняты и поэтому представляют особый интерес для современных космологов.

Рождение Галактик

184



Считается, что первые галактики образовались на заре Вселенной, возможно, уже через 200 миллионов лет после Большого взрыва. Их образование — предмет долгих споров среди астрономов, которые долгое время делились на два лагеря.

В рамках теории «нисходящего сценария» предполагалось, что галактики образуются из гигантских газовых облаков, которые начинают коллапсировать («схлопываться») под действием собственного тяготения. Как и в случае образования планетной системы, коллапсирующее вещество начинает вращаться и при этом сплющивается в диск. Первоначально плотность в горячем газовом диске распределена равномерно, но по мере остывания отдельные его участки начинают сгущаться в небольшие облака, которые впоследствии становятся звездами.

Согласно альтернативному сценарию, не одно большое газовое облако сгущается и распадается на более мелкие облака, а вещество сначала собирается в более мелкие облака, которые затем собираются вместе, образуя галактики. Данная теория не только объясняет дискообразную форму молодых галактик и их вращение, но также имеет то преимущество, что позволяет понять образование множества наблюдаемых «мелких» галактик.

Две эти идеи возникли на основе различных представлений о том, как темная материя вела себя на заре Вселенной. Если темная материя была горячей и быстро движущейся, то галактики создавались бы в соответствии с первым типом теорий. Но если темная материя была холодной и медленной, то она собиралась бы в отдельные сгустки, притягивая к себе обычное вещество. Таким образом, гигантские газовые облака не могли бы образоваться. Компьютерное моделирование убедительно подтверждает модель «холодной темной материи» для ранней Вселенной, и в результате теория «восходящего сценария» сегодня считается общепринятой.

Если все галактики вначале были дисками, то почему сейчас они выглядят так разнообразно? Это происходит из-за слияния галактик вследствие их столкновения. В результате этих процессов обе сталкивающиеся системы сильно разрушаются, и образовавшаяся галактика не имеет никакого сходства с породившими ее. Удивительно, но, хотя в такие слияния порой оказываются вовлечены миллиарды звезд, сами эти звезды почти никогда не сближаются настолько, чтобы в итоге столкнуться. То, что можно было бы принять за катастрофу и уничтожение, знаменует рождение чего-то нового. На самом деле звездообразование там происходит очень активно, что обусловлено притоком газа и вещества, которые каждая галактика принесла «к общему столу».



Типы галактик

Галактики, рассеянные по Вселенной, бывают самых разных форм, размеров и цветов. Некоторые из них представляют собой огромные вращающиеся колеса диаметром в миллионы световых лет, а другие — небольшие бесструктурные облака размером всего в сотни световых лет. Одни освещены ярким белым и голубым светом недавно родившихся звезд, а другие светятся тускло, населенные стареющими красными солнцами.

Галактики в целом относятся к трем разным типам согласно форме: спиральные, спиральные с перемычками и эллиптические. Дополнительные подкатегории были разработаны Эдвином Хабблом в классификации, известной как последовательность Хаббла, которая используется и по сей день.

186



СПИРАЛЬНЫЕ

Спиральные галактики состоят из центральной выпуклости (балджа), окруженной диском, населенным сравнительно молодыми звездами. В раскинувшихся рукавах много совсем молодых и только еще формирующихся звезд. Такие галактики составляют более 30% галактик во Вселенной



СПИРАЛЬНЫЕ С ПЕРЕМЫЧКОЙ

Многие спиральные галактики имеют линейную перемычку звезд, которая простирается через ядро и от концов которой начинаются спиральные рукава. Эти галактики отличаются высокой концентрацией звезд, а сами перемычки — активным звездообразованием. Перемычки встречаются примерно у 65% спиральных галактик



ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ

Эллиптические галактики имеют в разной степени сплюснутую сфероидальную форму. Считается, что многие из них образовались в результате столкновения и слияния галактик, и поэтому они порой вырастают до гораздо больших размеров, чем спиральные галактики

ЛИНЗОВИДНЫЕ

Линзовидные галактики занимают промежуточное место между спиральными и эллиптическими; они состоят из крупного диска с выпуклостью (балджем) в центре, но без спиральных рукавов. В этих галактиках в настоящее время звездообразование очень слабое, и населены они в основном стареющими звездами

НЕПРАВИЛЬНЫЕ

У этих галактик нет четкой формы или структуры, и они не вписываются ни в один из основных классов Хаббловской последовательности. Они составляют примерно 25% галактик

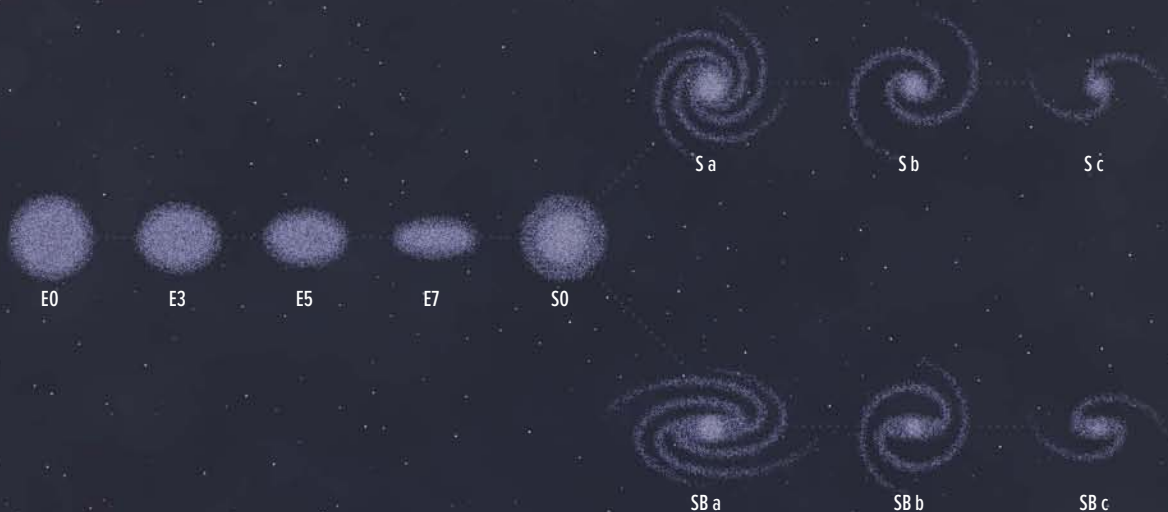
КАРЛИКОВЫЕ

Карликовые галактики — это галактики, содержащие от 100 миллионов до нескольких миллиардов звезд, они составляют большинство галактик во Вселенной. Также могут быть классифицированы как эллиптические, спиральные или неправильные и сами могут обращаться вокруг других, гораздо более крупных галактик. Вокруг нашей Галактики обращается около 50 галактик

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ХАББЛА

Сфероидальные галактики расположены на одном конце последовательности Хаббла, а спиральные галактики — на противоположном. Там, где расположены спиральные галактики, график расщепится на две ветви в зависимости от того, есть ли у галактики перемычка, проходящая через ее центр.

187



E — эллиптическая галактика (от нуля до семи), где «0» — почти сферическая галактика, а «7» — сильно сплюснутая галактика

S0 — линзообразная галактика, обладает свойствами спиральных и эллиптических галактик

S — спиральная галактика (от a до c), где «a» — галактика с крупным ядром и сильно закрученными рукавами, а «c» — с небольшим ядром и слабо закрученными рукавами

SB — спиральная галактика с перемычкой (от a до c), где «a» — галактика с крупным ядром и сильно закрученными рукавами, а «c» — галактика с небольшим ядром и слабо закрученными рукавами

Млечный Путь

В ясную безлунную ночь на темном небе можно разглядеть очень слабо светящуюся полосу света, протянувшуюся через весь небосвод. Туманная полоса света — это наша Галактика, в которой находится более 100 миллиардов звезд. Еще философы Древней Греции предполагали, что тусклая полоса света может быть светом далеких звезд, неразличимых по отдельности, но достаточно многочисленных, чтобы породить наблюдаемое нами слабое свечение. Доказательств этому не было, пока Галилей в 1610 году не направил свой телескоп в небо — он смог разглядеть среди дымки звезды, которые были незаметны невооруженным глазом. Благодаря последующему усовершенствованию телескопов астрономам удалось обнаружить более тусклые звезды, разбросанные посреди уже известных, а позже между ними и еще более тусклые. Так стало понятно, почему невооруженным глазом мы видим на небе непрерывную светлую полосу.

В мифологии Млечный Путь часто считается дорогой в рай или проходом к жилищам богов, но именно от древних греков мы получили нынешнее название, которое, в свою очередь, берет начало в греческих мифах. По легенде Гера, царица богов, была обманута богом-трикстером Гермесом, который принес незаконно рожденного ребенка Зевса Геракла, чтобы она накормила его грудью, пока спала. Проснувшись, потрясенная Гера оторвала младенца от груди, расплескав молоко по небу. Название Млечный Путь происходит из Древней Греции, само слово «галактика» также имеет греческое происхождение: слово «галактос» означает «молоко».

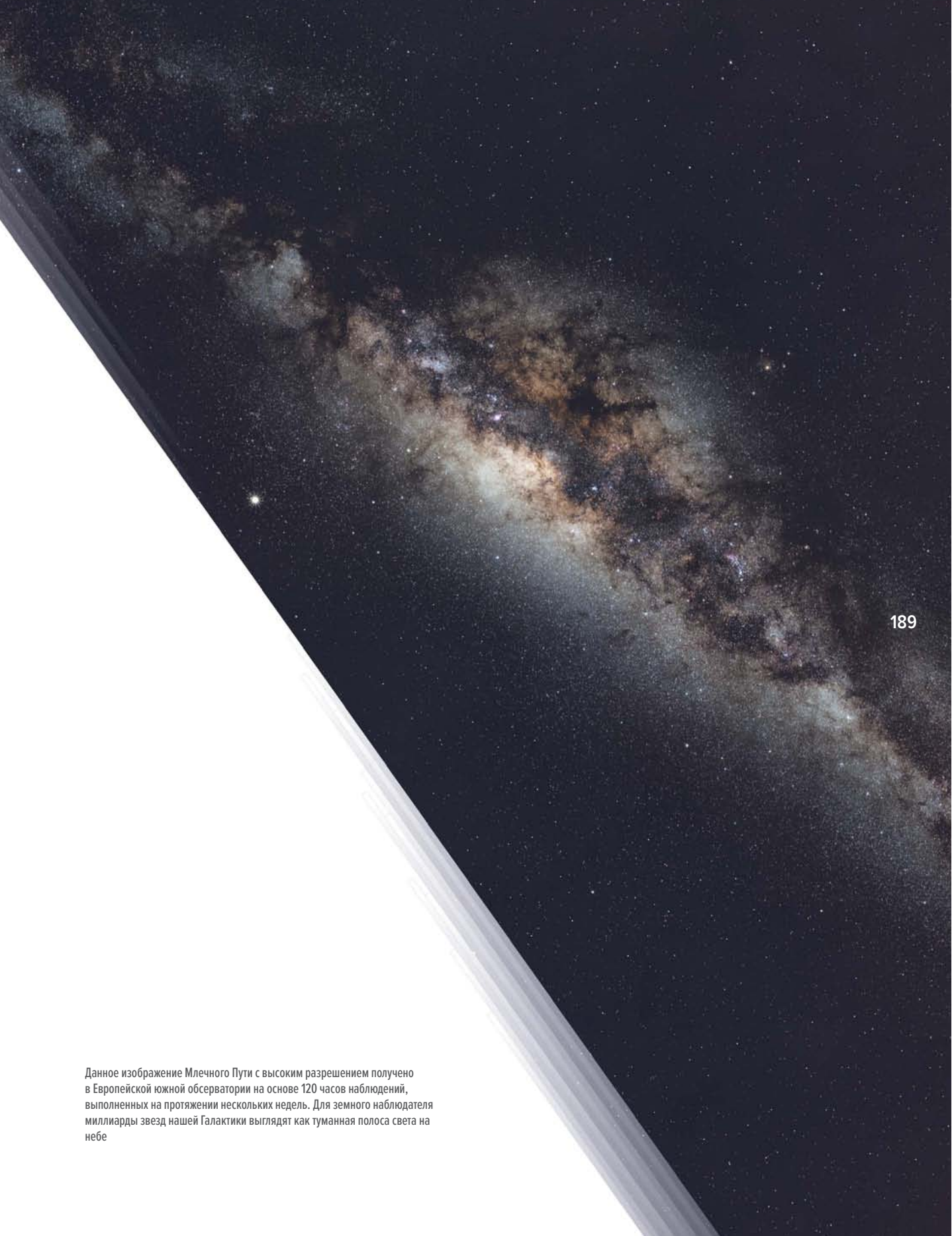
Установив, что Млечный Путь действительно является галактикой, содержащей невероятное количество звезд, астрономы попытались измерить ее и понять наше место в ней. К сожалению, метод параллакса для определения расстояний не работает для столь далеких звезд, так как вызванное параллаксом угловое смещение на небе слишком мало и не может быть надежно измерено. Даже если бы это было не так, самые отдаленные участки Млечного Пути настолько далеки, что заслонены от нас большим количеством межзвездной пыли, которая не пропускает свет. Для измерения размеров галактики требуются совершенно иные методы.

Переменные звезды типа цефеид известны с XVIII века. Они невероятно яркие (светимость некоторых

из них более чем в 10 000 раз превышает солнечную), а их массы составляют от четырех до 20 солнечных масс. Благодаря высокой светимости эти звезды видны с огромных расстояний, а с помощью современных инструментов можно различить их даже в галактиках, удаленных на 100 миллионов световых лет! Еще одной особенностью этих звезд являются пульсации — у них периодически меняется как размер, так и светимость. В 1908 году американский астроном Генриетта Свон Ливитт обнаружила, что светимость данных звезд сильно зависит от периода их пульсаций. Оказалось, что по периоду пульсаций звезды можно определить ее светимость, а по данным наблюдений с Земли — ее видимый блеск. Свон Ливитт смогла на основе наблюдаемого блеска в сочетании с определенной по периоду пульсаций светимостью и известным законом ослабления света в зависимости от дальности рассчитать расстояние до таких звезд.

Как уже говорилось ранее, попытки заглянуть в галактику напрямую затруднены из-за поглощающей свет межзвездной пыли. Но мы можем наблюдать далекие объекты, расположенные вне плотного галактического диска, а также в самом диске — весьма далекие звездные скопления и звезды, в том числе и цефеиды. Благодаря открытию Свон Ливитт астрономы смогли определить общий вид и размеры Млечного Пути, а также наше место в нем.

Теперь известно, что Млечный Путь — весьма крупная галактика. Его диаметр более 150 000 световых лет, это вторая по величине галактика в Местной группе — скоплении галактик, к которому мы принадлежим. Вокруг нашей массивной Галактики обращаются десятки других галактик, совсем крошечных по сравнению с нашей. В самом центре Млечного Пути находится сверхмассивная черная дыра Стрелец A*, масса которой в 4 миллиона раз превышает массу Солнца.



Данное изображение Млечного Пути с высоким разрешением получено в Европейской южной обсерватории на основе 120 часов наблюдений, выполненных на протяжении нескольких недель. Для земного наблюдателя миллиарды звезд нашей Галактики выглядят как туманная полоса света на небе

РАЗМЕРЫ МЛЕЧНОГО ПУТИ

190

СОЛНЦЕ

27 000 световых лет от центра Галактики
(примерно в 1,7 млрд раз больше
расстояния от Земли до Солнца)

ЦЕНТР ГАЛАКТИКИ

150 000 световых лет

На основе данных наблюдений и измерений тысяч звезд можно сделать вывод, что Млечный Путь — это спиральная галактика с перемычкой. Приведенный здесь вид сверху лучше всего демонстрирует форму нашей Галактики, напоминающую большое колесо со спиральными рукавами.

3 000 световых лет

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ВЫПУКЛОСТЬ (БАЛДЖ)

20 000 световых лет

191

Вид сбоку наглядно демонстрирует толщину Млечного Пути по отношению к его диаметру. С этого ракурса видна центральная «выпуклость» (так называемый балдж) — сфероидальное образование в центре, состоящее главным образом из старых звезд.

ГАЛАКТИКА АНДРОМЕДЫ

Первое сохранившееся упоминание о галактике Андромеды дошло до нас в трудах персидского астронома Абдуррахмана ас-Суфи, наблюдавшего ее в 964 году, задолго до изобретения телескопа. То, что он назвал «небольшим облачком», как теперь известно, является ближайшей к нам крупной галактикой. Считалось, что эта галактика может быть на 50% массивнее Млечного Пути, но последние открытия показывают, что различие масс не так велико. Диаметр спиральной галактики составляет около 220 000 световых лет, она является крупнейшей в Местной группе и благодаря своей массе, как и Млечный Путь, удерживает вокруг себя рой меньших галактик. Из ее траектории следует, что столкновение с нашей Галактикой не за горами (примерно через 5 миллиардов лет). Наиболее вероятным результатом этого столкновения будет слияние двух звездных систем с образованием гигантской эллиптической галактики.

БОЛЬШОЕ МАГЕЛЛАНОВО ОБЛАКО

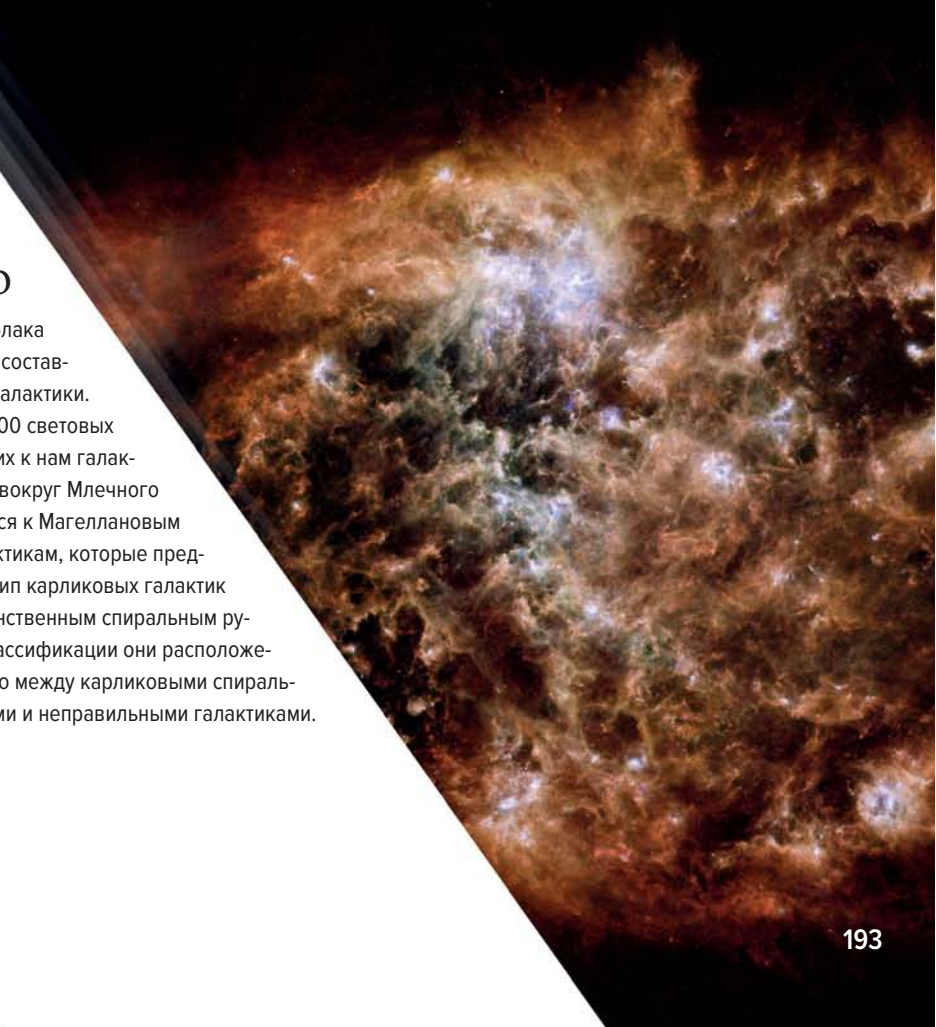
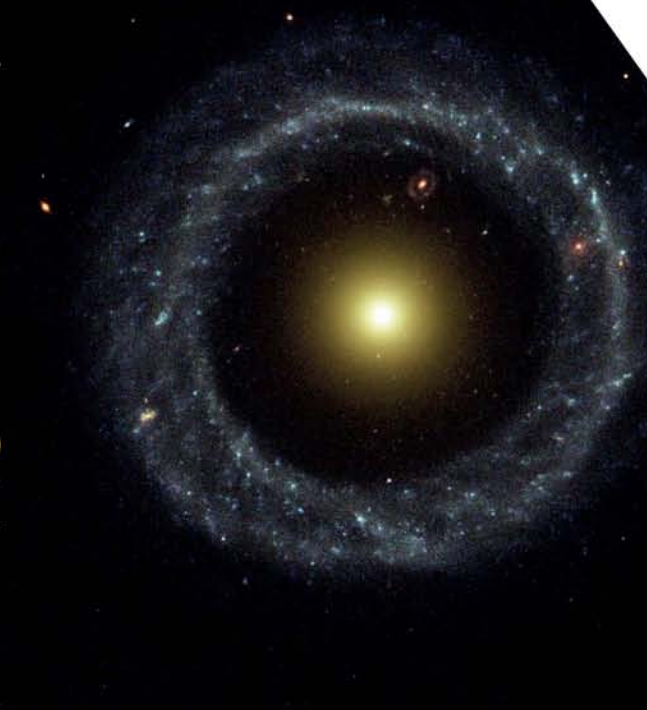
Диаметр Большого Магелланова облака 14 000 световых лет, а его масса составляет всего 1% массы нашей Галактики.

При расстоянии около 163 000 световых лет это одна из ближайших к нам галактик, обращающихся вокруг Млечного Пути. Она относится к Магеллановым спиральным галактикам, которые представляют собой тип карликовых галактик с одним-единственным спиральным рукавом. В классификации они расположены где-то между карликовыми спиральными и неправильными галактиками.

193

ОБЪЕКТ ХОГА

Объект Хога является своего рода аномалией. Эта нетипичная галактика известна как кольцевая. Старые, менее яркие звезды населяют ядро галактики, а более молодые и горячие звезды занимают внешнее кольцо. Галактика находится на расстоянии 600 миллионов световых лет от нас, а ее почти идеальное кольцо имеет диаметр 120 тысяч световых лет. Масса галактики составляет чуть менее половины массы Млечного Пути.



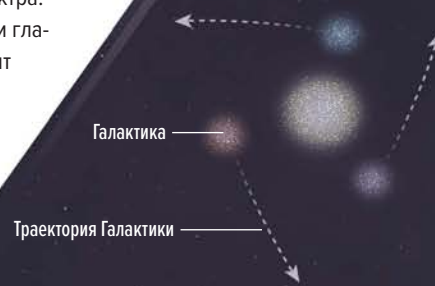
Темная материя

Каждое новое открытие в физике и астрономии делает наше место во Вселенной все более незначительным. Когда-то мы считали Землю центром Вселенной, средоточием всего сущего, но теперь знаем, что Земля — одна из многих планет, обращающихся вокруг Солнца, которое, в свою очередь, является одной из сотен миллиардов звезд. Сама галактика, некогда считавшаяся Вселенной, оказалась одной из сотен миллиардов других. Наука доказала, что невооруженному глазу предстает только фрагмент общей картины, поскольку видимый свет составляет лишь небольшую часть электромагнитного спектра. Когда-то мы были твердо убеждены, что если видим что-то собственными глазами, то это абсолютная истина, но в действительности в мире происходит гораздо больше явлений, чем те, что доступны нашим наблюдениям.

Один из недавних переворотов в космологии — идея о том, что большая часть Вселенной состоит из неуловимого материала, который мы не можем увидеть и с которым не можем взаимодействовать. Единственным доказательством его существования является гравитационное воздействие на удаленные объекты. Считается, что подобного рода темной материи в пять раз больше, чем обычной, неудивительно, что она представляет особый интерес для тех, кто хочет понять историю Вселенной.

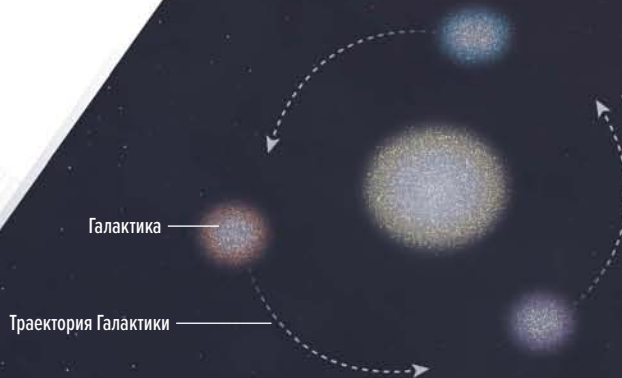
194

ОЖИДАЕТСЯ



При наблюдаемых скоростях галактик они должны были разлететься друг от друга

НАБЛЮДАЕТСЯ



Благодаря наличию дополнительной массы в виде темной материи эти галактики обращаются друг вокруг друга. Несмотря на их высокую относительную скорость, дополнительная гравитация не позволяет им разлететься в разные стороны

СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

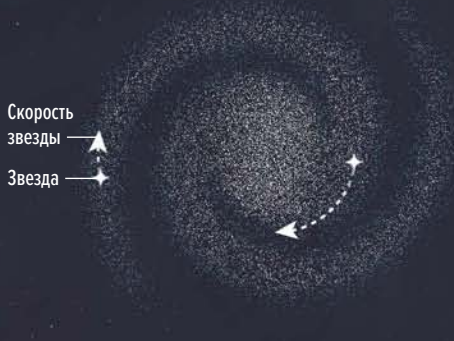
Одно из доказательств существования темной материи — скорости, с которыми галактики движутся в пространстве. Наблюдая за галактиками в их скоплениях, астрономы обнаружили, что скорости, с которыми маленькие карликовые галактики обращаются вокруг больших, намного выше, чем ожидалось. При той скорости, с которой движутся, они уже могли бы покинуть систему, поэтому должно существовать нечто невидимое, что удерживает их вместе. Это также относится к галактикам-спутникам Млечного Пути: карликовые галактики движутся относительно нашей, и движутся гораздо быстрее, чем ожидалось.

ВРАЩЕНИЕ ГАЛАКТИКИ

Исследования спиральных галактик, проведенные в 60–70-х годах XX века, выявили нечто очень необычное в их вращении. Ожидалось, что звезды, обращающиеся вдали от галактического центра, будут двигаться с меньшей скоростью, чем близкие к нему, подобно тому, как ведут себя планеты в нашей Солнечной системе. Так, Меркурий, который находится близко к Солнцу, пронесится вокруг него гораздо быстрее, чем неповоротливый Нептун на окраине. Однако результаты были получены иные. Как ни странно, звезды у края галактик двигались с той же скоростью, а порой и быстрее, чем те, что ближе к ядру.

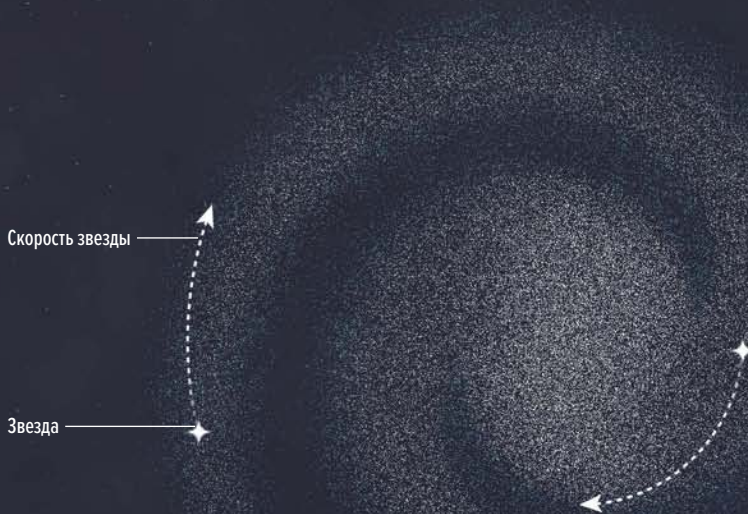
На снимках было хорошо видно, что большая часть звезд сконцентрирована вблизи ядра галактики, у краев их распределение менее плотное. Было очевидно, что вдали от центров галактик просто не хватает массы, чтобы объяснить большие скорости вращения звезд у внешних границ. Значит, есть нечто, что мы не можем обнаружить, что на движения тел в галактиках влияют не только присутствующие там звезды, газ и пыль. Математические расчеты показывают, что большая часть темной материи сосредоточена в гало вокруг галактик, и именно она определяет особенности вращения последних.

ОЖИДАЕТСЯ



Считалось, что звезды у края звездной системы должны двигаться по орбитам с гораздо меньшей скоростью, чем звезды у центра

НАБЛЮДАЕТСЯ



Из-за влияния темной материи звезды на окраинах галактик движутся гораздо быстрее, чем ожидается

Сверхмассивные черные дыры

196



В центре почти всех крупных галактик находится сверхмассивная черная дыра, массой в миллионы и даже миллиарды Солнц. Черные дыры тоже невозможно наблюдать непосредственно, но об их присутствии известно по движению близлежащих звезд и по тому, как искажается свет вокруг них. Учитывая огромное количество содержащегося в них вещества — в миллиарды раз больше, чем любая умирающая звезда или обычная черная дыра, — удивительно, как они смогли вырасти до таких масштабов.

Верным признаком наличия в галактике сверхмассивной черной дыры служит скорость обращения звезд по орбитам вокруг центра. Если в непосредственной близости от центра галактики орбитальная скорость звезд намного выше ожидаемой, то причиной тому сверхмассивная черная дыра. Без ее чудовищной массы и колоссальной силы создаваемого ею притяжения близкие, быстро движущиеся звезды улетели бы из галактики прочь. Именно измеряя скорости звезд, обращающихся вблизи галактических центров, астрономы могут определить, насколько массивна центральная черная дыра. Наблюдения показывают, что существует связь между размерами галактики и ее сверхмассивной черной дырой: в центрах больших галактик находятся более массивные черные дыры, хотя иногда встречаются примеры, нарушающие

закономерность. Например, карликовая галактика M60-UCD1 имеет массу менее пяти тысячных массы Млечного Пути, однако ее сверхмассивная черная дыра в пять раз массивнее нашей. Другая аномалия — галактика A2261-BCG, которая в десять раз больше Млечного Пути и в 1000 раз массивнее. Это одна из крупнейших известных галактик, однако в ее центре не обнаружено никакой черной дыры, и, значит, мы, скорее всего, в чем-то существенно заблуждаемся относительно природы этих массивных тел.

Самое сложное в попытках понять, как сверхмассивные черные дыры смогли вырасти до таких масштабов, — почему столь большая масса сосредоточена в достаточно малом объеме космоса. Принято считать, что после возникновения в галактическом ядре черной дыры она продолжает расти за счет аккреции вещества и поглощения других черных дыр. А вот в вопросе о возникновении сверхмассивной черной дыры гораздо меньше ясности. Есть предположение, что эти объекты, как и обычные черные дыры, родились из сверхновой звезды и просто неуклонно росли, втягивая в себя вещество в течение миллиардов лет. Возможно, они возникли на более ранних этапах истории Вселенной, еще до появления света первых звезд. В ту темную эпоху они могли образоваться из колоссальных газовых облаков, которые, по мнению физиков, способны коллапсировать в черные дыры без взрыва сверхновой, не выбрасывая при этом большую часть своей массы. Возможно даже, что они возникли всего через несколько мгновений после Большого взрыва, образовавшись из более плотных сгустков частиц и энергии, присутствовавших в новорожденной Вселенной. Такие объекты известны как первичные черные дыры, и у них было больше времени, чтобы вырасти в сверхмассивные черные дыры.

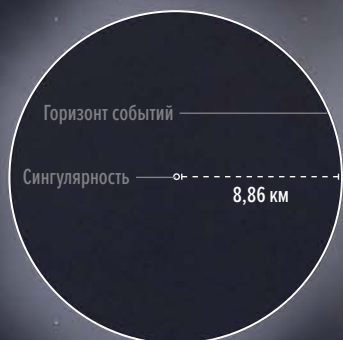
«ПЛОТНОСТЬ» ЧЕРНЫХ ДЫР

Интересной особенностью черных дыр является то, что их масса прямо пропорциональна расстоянию от сингулярности в центре до их внешнего «края» на горизонте событий. Это означает, что удвоение массы черной дыры приведет к удвоению ее радиуса. Однако объем шара увеличивается пропорционально третьей степени радиуса, а это значит, что удвоение радиуса шара приведет к гораздо большему увеличению его объема. Поэтому с увеличением массы черной дыры будет увеличиваться как ее радиус, так и объем, причем объем растет быстрее радиуса. В результате получается, что чем черная дыра массивнее, тем меньше ее плотность.

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ ЗВЕЗДНЫХ МАСС

198

МАССА: 3 СОЛНЕЧНЫЕ МАССЫ

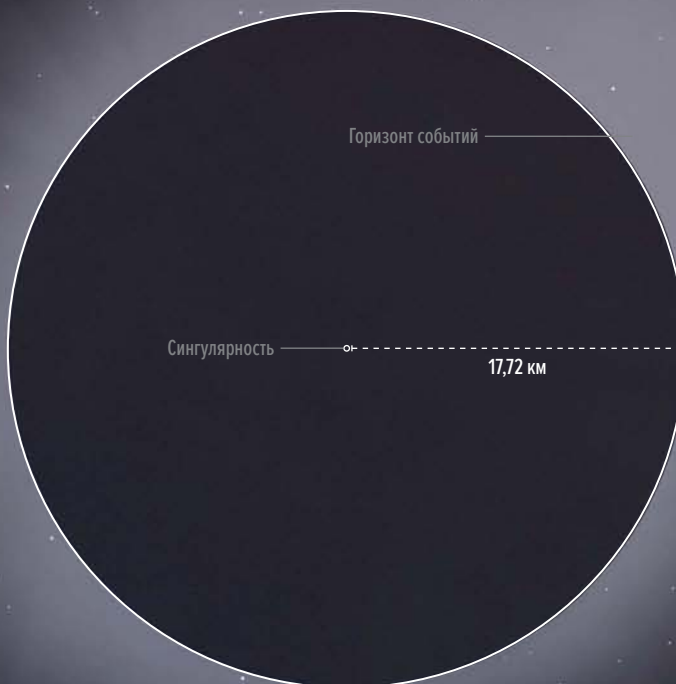


ОБЪЕМ: 2915 км^3

ПЛОТНОСТЬ: $2,047 \times 10^{18} \text{ кг/м}^3$

Перед вами черная дыра с массой три солнечных массы. Ее горизонт событий находится на расстоянии менее 9 км от сингулярности, поэтому черная дыра очень плотная

МАССА: 6 СОЛНЕЧНЫХ МАСС



ОБЪЕМ: $23\,322,4 \text{ км}^3$

ПЛОТНОСТЬ: $5,117 \times 10^{17} \text{ кг/м}^3$

Эта черная дыра имеет вдвое большую массу, чем предыдущая, и поэтому ее горизонт событий находится вдвое дальше от сингулярности. Но если радиус больше в два раза, то объем больше в восемь раз. Плотность в результате составляет лишь четверть от плотности предыдущей черной дыры

СВЕРХМАССИВНАЯ ЧЕРНАЯ ДЫРА

2 954 000 000 км

199

Горизонт событий

МАССА: 1 МЛРД СОЛНЕЧНЫХ МАСС

ОБЪЕМ: $1,08 \times 10^{29}$ км³

ПЛОТНОСТЬ: 18,42 кг/м³

Эта сверхмассивная черная дыра имеет массу один миллиард солнечных масс. Диаметр ее горизонта событий почти в 40 раз превышает расстояние от Земли до Солнца. Из-за огромного объема средняя плотность всего, что находится в пределах горизонта событий, ничтожно мала по сравнению с плотностью черных дыр звездных масс

Плотность воды составляет 1000 кг на кубический метр, но плотность самых больших черных дыр намного ниже этой величины. Плотности, показанные на этих страницах, показывают среднюю плотность всего, что находится в пределах горизонта событий черной дыры, и не отражают, насколько равномерно распределена масса за этим порогом. Насколько нам известно, вся масса черной дыры заключена в ее центральной сингулярности.

Не в масштабе

Квazarы

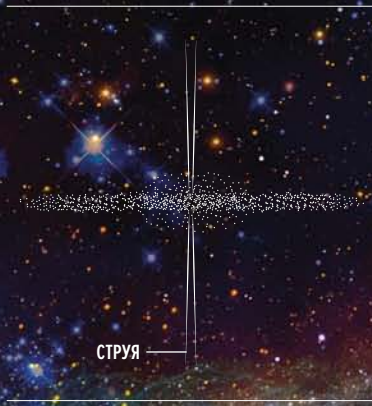
В 60-е годы прошлого века был обнаружен странный объект, который сначала казался типичной звездой голубого цвета, но при наблюдении на радиотелескопе оказалось, что это очень мощный источник радиоизлучения. Как правило, звезды не отличаются мощным радиоизлучением, поэтому данный объект, названный 3C273, показался загадочным. Интрига усугубилась, когда были проанализированы спектры испускаемого объектом света и выяснилось, что это не просто звезда, а целая галактика. Мало того, эта галактика находилась на огромном расстоянии, где-то около двух миллиардов световых лет, что означает, что 3C273 была не обычной звездой, а самым ярким объектом, обнаруженным к тому времени во Вселенной.

3C273 излучает в четыре триллиона раз больше энергии, чем Солнце, но в силу удаленности мы видим его лишь как маленькое светлое звездообразное пятнышко. Из-за этого он был назван «квазизвездным радиоисточником». Позднее это название было сокращено до более броского — квазар. После открытия первого квазара вскоре было обнаружено еще несколько подобных объектов, ведь астрономы поняли, за чем нужно охотиться. С появлением рентгеновских телескопов на околоземных орбитах высоко над земной атмосферой стало возможным обнаружение источников более жесткого излучения. В конце концов были обнаружены галактики, излучающие даже в гамма-диапазоне, т.е. фотоны с самыми высокими энергиями. Для этих источников излучения требуется огромная энергия, так откуда же она берется?

В центре большинства крупных галактик находится сверхмассивная черная дыра с невероятно сильным гравитационным полем. В некоторых галактиках черная дыра оказывается тесно окруженной веществом, которое обращается вокруг нее, сплющиваясь в диск. Поскольку расположенное вблизи черной дыры вещество вращается гораздо быстрее, чем то, что находится на большем удалении, между движущимися с разными скоростями газом и пылью возникает трение. А поскольку орбитальные скорости вблизи черной дыры приближаются к скорости света, то падающее вещество разогревается до нескольких миллионов градусов и излучает во всех диапазонах электромагнитного спектра. Подобные системы также известны как галактики с активными ядрами, из-за своей высокой светимости они порой бывают видны из любого места Вселенной.

Как и в случае с 3C273, все обнаруженные нами квазары находятся на невероятно большом расстоянии, часто за миллиарды световых лет от нас. Мы наблюдаем их в том виде, в котором они существовали в более ранние времена. Эти наблюдения подтверждают теорию, что квазары являются одним из этапов эволюции молодой галактики и были гораздо более распространены в молодой Вселенной. В центре юных галактик вещества было в изобилии, и оно двигалось там по хаотично проложенным орбитам. Расположенная в центре галактики черная дыра была обеспечена постоянной подпиткой за счет непрекращающегося притока падающей пыли, газа и звезд, но со временем эти запасы в непосредственной окрестности черной дыры должны были истощиться. При этом звезды, расположенные на более безопасном расстоянии, в процессе эволюции галактики не пострадали, оставаясь на своих устойчивых орбитах.

У небольшой части квазаров наблюдаются струи вещества и энергии, исходящие из полюсов центральной черной дыры. Причиной возникновения таких струй являются экстремальные магнитные поля в сочетании с быстрым вращением аккреционного диска, которые могут проникать глубоко в пространство между галактиками. Струи настолько мощные, что способны пробивать межгалактическую среду на тысячи световых лет. Из-за своего строения квазары могут быть очень не похожи друг на друга в зависимости от того, с какого ракурса их наблюдают. При взгляде сбоку аккреционный диск активной галактики блокирует большую часть высокоэнергетического света, но притом нагревает все облака близлежащего газа, которые затем излучают в инфракрасном диапазоне. Чем в большей степени аккреционный диск обращен к нам лицом, тем больше высокоэнергетического излучения к нам приходит, а если его струи направлены прямо на нас, то мы имеем возможность наблюдать рентгеновское и гамма-излучение во всей их красе. Если Земля оказывается на пути струи, то такого рода яркий квазар называют блазаром.



СТРУЯ

Галактика M87

У одной из самых массивных галактик в ближайшей Вселенной, Мессье-87 (сокращенно M87), из ядра истекает струя плазмы, при этом сама галактика не является квазаром. Хотя M87 светит в рентгеновском и гамма-диапазонах, ее главная особенность — невероятно высокая светимость в радиодиапазоне, поэтому она относится к классу активных галактик, известных как радиогалактики. Французский астроном Шарль Мессье первоначально внес этот объект в свой каталог в качестве туманности (таким образом, галактика получила свое название — по номеру в каталоге), однако сейчас известно, что это сверхгигантская эллиптическая галактика, расположенная в 53 миллионах световых лет от Земли. При диаметре около 120 000 световых лет она лишь немного шире Млечного Пути, но притом примерно в 200 раз массивнее из-за своей сфероидальной формы — в отличие от сплюснутого диска нашей родной Галактики. Снимок на этой странице получен космическим телескопом Hubble, и на нем отчетливо видна струя плазмы, вырвавшаяся из ядра галактики и устремившаяся в межгалактическое пространство на расстояние 5000 световых лет.

202



Составное изображение M87, полученное на основе рентгеновских и радионаблюдений; синим цветом изображено распределение рентгеновского излучения нагретого до очень высокой температуры вещества, а оранжевым и красным — распределение радиоизлучения. Из сравнения со снимком на основе наблюдений в инфракрасном и видимом диапазонах заметно, что галактика обширнее, чем кажется





Это первое непосредственное изображение черной дыры, опубликованное в 2019 году. Новаторский снимок был сделан с помощью глобальной сети радиотелескопов Event Horizon Telescope. Как и ожидалось, сама черная дыра не видна, но зато видно светящееся кольцо сразу за горизонтом событий, где пространство и свет искривлены

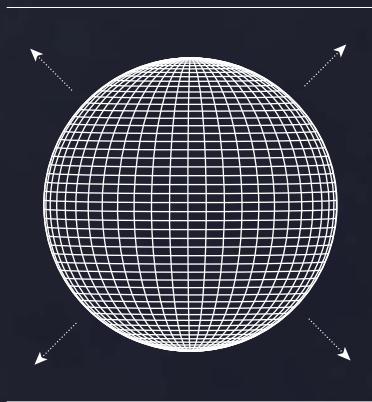
203


В центре M87 находится сверхмассивная черная дыра — настоящая громадина! Ее масса в 6,3 миллиарда раз превышает солнечную, что в 1500 раз больше массы черной дыры в центре нашей Галактики. Диаметр составляет почти 35 миллиардов километров, что более чем в 235 раз больше расстояния от Земли до Солнца, поэтому горизонт событий данной черной дыры имеет поистине ошеломляющие размеры. Мы знаем все это, поскольку M87 находится достаточно близко, чтобы можно было измерить скорости звезд, обращающихся вокруг сверхмассивной черной дыры. Изучив увеличение скорости с приближением к центру, астрономы смогли вычислить, что в очень маленьком пространстве должно находиться тело с массой, в миллиарды раз превышающей солнечную.

К настоящему моменту уже получено наглядное доказательство в виде прямого изображения этой черной дыры. Сверхмассивная черная дыра в M87 — движущая сила и источник энергии, обеспечивающий разгон близлежащего вещества до околосветовых скоростей, а также генерацию магнитного поля и выброс в космос плазменной струи.

Расширение Вселенной

204





Первые свидетельства того, что мы живем в расширяющейся Вселенной, были получены в 1912 году в обсерватории Лоуэлла в Аризоне. Богатый уроженец Бостона Персиваль Лоуэлл построил обсерваторию, будучи увлечен исследованиями Марса, особенно «каналов» на его поверхности. Он считал, что они созданы трудолюбивыми марсианами, которые пытались выкачать воду из ледяных шапок планеты, желая выжить в сухом, угасающем мире. Его также интересовали спиральные туманности, которые он считал планетными системами на ранних стадиях, не зная, что на самом деле это галактики, находящиеся в миллионах световых лет от нашей. Лоуэлл поручил своему штатному астроному Весто Слайферу выполнить наблюдения этих объектов и измерить скорость их вращения в надежде пролить свет на формирование Солнечной системы. Слайфер и измерил скорости вращения этих туманностей, попутно отметив, что, за некоторыми исключениями, туманности удалялись от нас, причем с невероятно большими скоростями. Скорости туманностей он определил по их красному смещению, но результат казался ошеломляющим: если эти объекты действительно двигались с такими скоростями, а у некоторых она превышала 1000 км/с, то даже притяжение всех миллиардов звезд в Млечном Пути не смогло бы их удержать!

Проблема была решена несколько лет спустя Эдвином Хабблом с помощью новейшего и крупнейшего на тот момент телескопа Хукера. Благодаря новому телескопу Хаббл смог различить в удаляющихся туманностях Цефеиды и определить, как далеко они находятся. Его наблюдения неопровержимо доказали, что эти туманности находятся слишком далеко, чтобы быть частью Млечного Пути, и на самом деле являются целыми галактиками, расположенными далеко за пределами нашей. Этот факт сам по себе коренным образом изменил представление о Вселенной, но впереди было еще много интересного. В 1929 году, когда Хаббл сравнил свои оценки расстояний до галактик с измеренными Слайфером красными смещениями этих объектов, то обнаружил интересную корреляцию. Чем дальше находится галактика, тем быстрее она удаляется от нас. Словно все галактики во Вселенной стремительно удаляются от нас, хотя теперь мы знаем, что на самом деле это не так — это само пространство становится больше. Более удачной аналогией может быть надутый воздушный шар с пятнами; по мере того как шар надувается, пятна все больше отдаляются друг от друга. С точки зрения каждого пятна видно одно и то же: чем дальше находятся другие пятна, тем быстрее они движутся — точно так же, как галактики, заключенные в постоянно расширяющемся пространстве.

Эти наблюдения, безусловно, достойны восхищения, но не следует забывать и о вкладе других первооткрывателей — например, бельгийского астронома Жоржа Леметра, — которые, несмотря на выдвинутые ими поистине прорывные гипотезы, часто остаются в тени исторического открытия Хаббла. Несколько физиков на основе общей теории относительности Эйнштейна доказывали, что Вселенная расширяется. Одним из них и был Леметр. Закон Хаббла, который гласит, что расстояние до тел в пространстве пропорционально их скорости удаления от нас, иногда называют законом Хаббла — Леметра. Когда Леметр опубликовал свою новую радикальную теорию в 1927 году, то даже рассчитал скорость расширения Вселенной. Это число сейчас известно как постоянная Хаббла. Кстати, скорость расширения Вселенной в настоящее время такова, что отрезок пространства длиной миллион световых лет увеличивается на 22 км каждую секунду.

Темная энергия

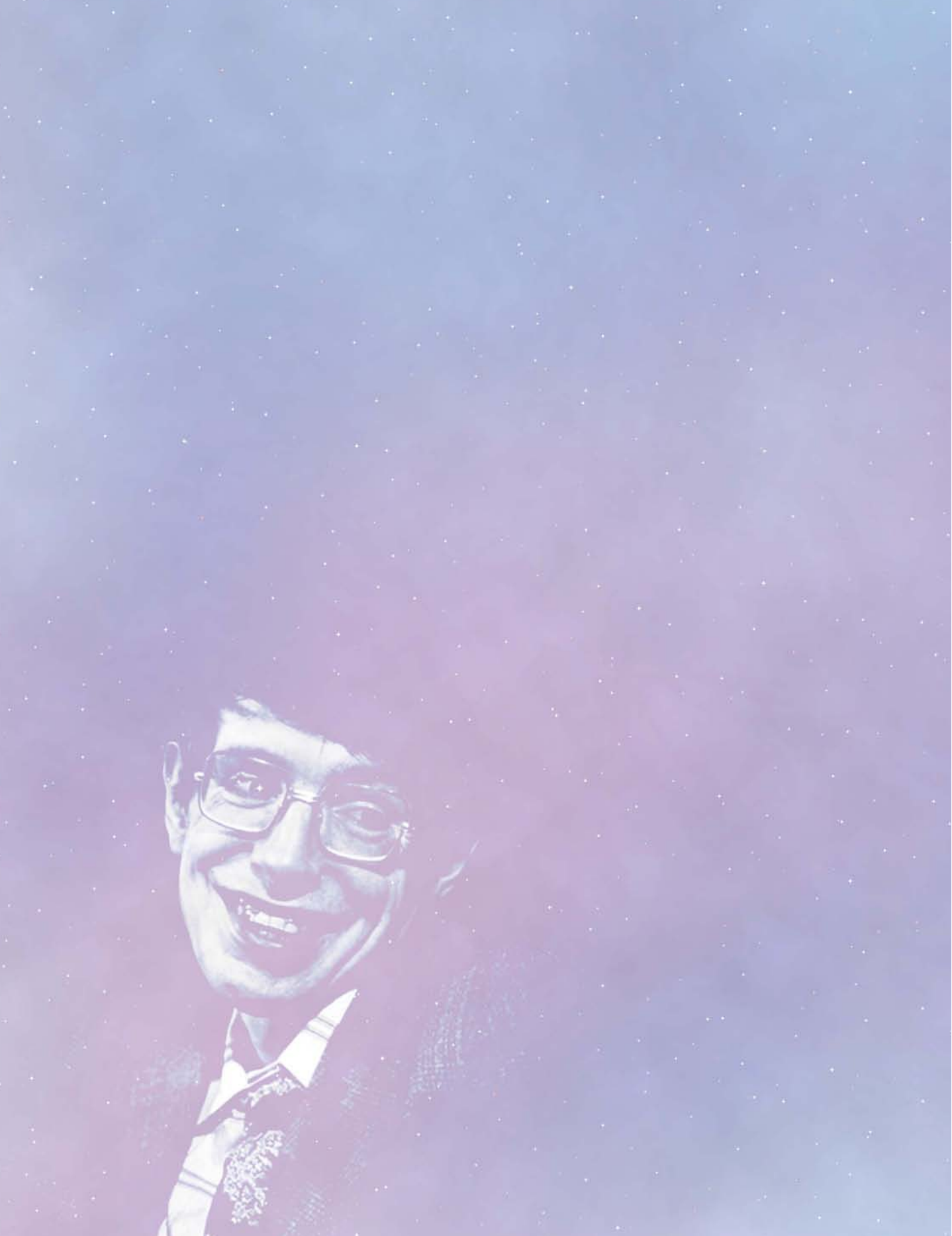
Учитывая, что мы живем в расширяющейся Вселенной, космологи были уверены, что скорость расширения замедляется под действием гравитации. Ведь массы всех звезд, планет, камней и газов из миллиардов галактик будут притягиваться друг к другу, тормозя расширение Вселенной. Однако результаты, полученные в конце 90-х годов, показали, что на самом деле все обстоит наоборот: расширение ускоряется!

В 1998 году американские астрономы Сол Перлмуттер и Адам Рисс, а также австралиец Брайан Шмидт пытались рассчитать, насколько замедлилось расширение Вселенной. Для этого они использовали данные наблюдений за взрывающимися звездами, известными как сверхновые типа Ia, в далеких галактиках. Сверхновые данного типа были выбраны из-за их невероятно высокой светимости, благодаря которой они видны даже в отдаленных галактиках. Кроме того, поскольку в максимуме блеска светимости все сверхновые типа Ia примерно одинаковы, их можно использовать в качестве «стандартных свечей» (объектов стандартной светимости), расстояния до которых оцениваются по их видимому блеску и известной светимости, а сравнение блеска с красным смещением позволяет установить, находится ли сверхновая на ожидаемом для данного красного смещения расстоянии.

С помощью космического телескопа Hubble астрономы смогли исследовать сверхновые в галактиках, расположенных гораздо дальше тех, что были доступны самому Хаббл, и полученные результаты были весьма неожиданными. Самые далекие и старые сверхновые оказались тусклее, чем предполагалось, а это значит, что они находятся дальше от нас, чем предсказывает их красное смещение, и, следовательно, расширение должно ускоряться. Во Вселенной существует таинственная расталкивающая всех сила.

До открытия ускоренного расширения Вселенной единственными известными формами материи-энергии были обычное вещество, темная материя и излучение; ни одна из них не могла объяснить всевозрастающую скорость расширения. Без введения совершенно новой формы энергии объяснить такое явление было невозможно. Ученые назвали ее темной энергией, поскольку она столь долго ускользала от нас, и до сих пор о ней мало что известно. Считается, что плотность темной энергии очень мала, гораздо меньше, чем плотность обычного вещества и темной материи внутри галактик. Однако галактики занимают ничтожную часть пространства во Вселенной, поэтому темная энергия, которая, как считается, является единой для всего мироздания, преобладает. По мере «размазывания» вещества по постоянно расширяющейся Вселенной ее общая плотность уменьшается, и свойства нашего мира во все большей степени начинают определяться давлением темной материи.





“

*Ничто
не существует
вечно*

”

Стивен Хокинг (1942–2018)

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ

210

РОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

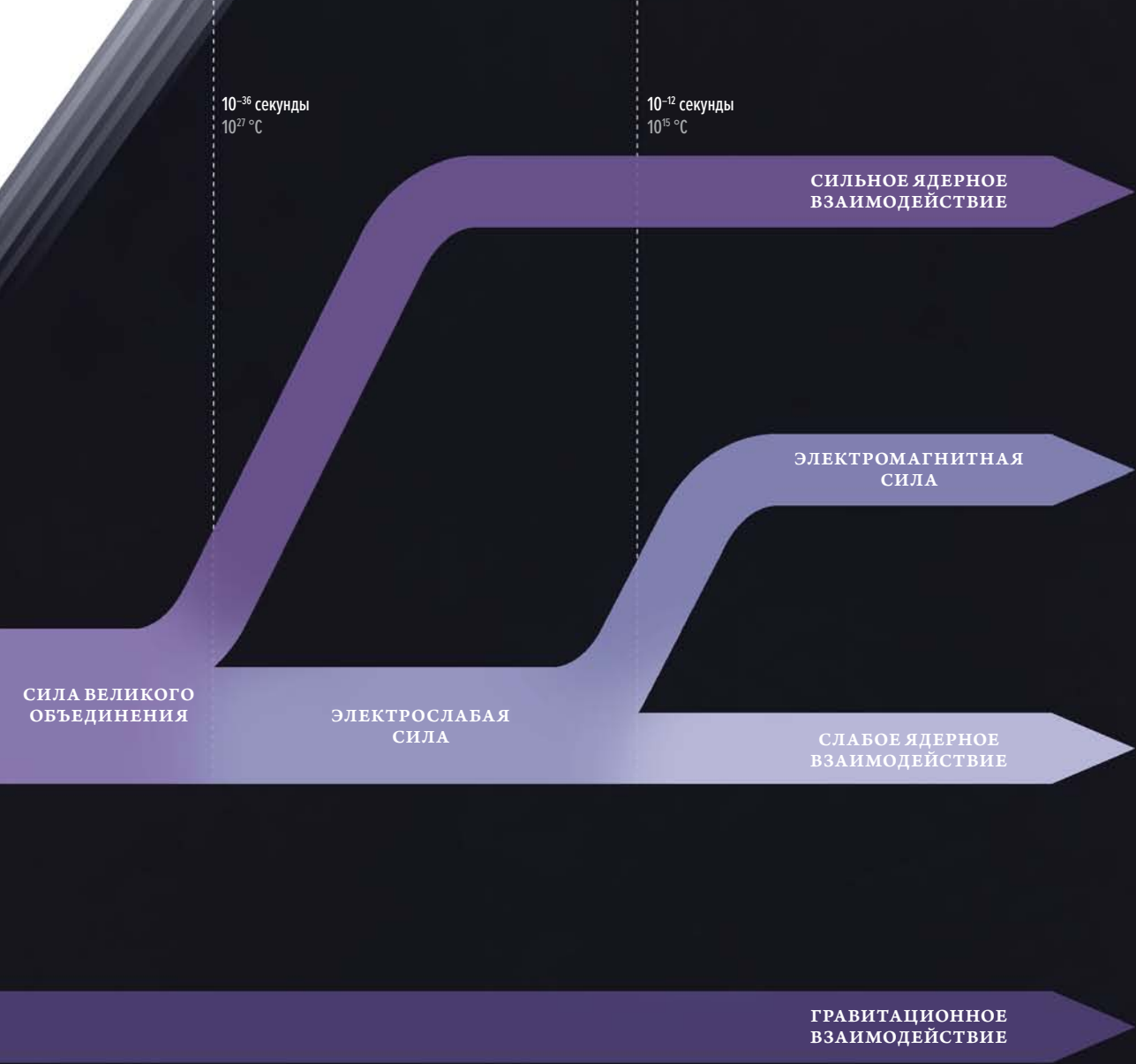
После изучения планет, астероидов, больших и малых звезд, туманностей, черных дыр и других объектов, которые разбросаны по космосу, без ответа остался один вопрос... Откуда все это взялось?

Теория Большого взрыва — общепринятая теория о том, как все началось. Она гласит, что вся Вселенная когда-то была заключена в бесконечно малой и плотной точке, сингулярности, которая мгновенно взорвалась, распространяя материю и энергию. Эта идея начала набирать популярность с тех пор, как Леметр пришел к выводу, что мы живем в расширяющейся Вселенной. Доведя эту идею до логического завершения, он предположил, что если

все во Вселенной стремительно удаляется от всего остального, то в какой-то момент в далеком прошлом все должно было возникнуть из одного и того же места. Эту невообразимо маленькую, плотную точку он назвал «первозданным атомом».

Большой взрыв стал не только источником всей материи и энергии, но также ответственен за силы, которые управляют самой Вселенной. В самые первые мгновения возникли фундаментальные законы физики. Без них материя, какой мы ее знаем, не смогла бы сформироваться, не было бы ни планет, ни звезд, ни вообще Вселенной — по крайней мере такой, в которой мы могли бы существовать.

Согласно точнейшим расчетам, Большой взрыв произошел 13,8 миллиарда лет назад. Но когда же он закончился? Ответ заключается в том, что на самом деле никакого «конца» Большого взрыва не существует. Мы живем в нем. Пронесясь сквозь пространство на нашем мокром каменном шаре, мы видим, как бесчисленное множество других тел разлетаются друг от друга, стремясь заполнить постоянно расширяющийся космос, и, как и наша планета, все они возникли из одной сингулярности.



СИЛЬНОЕ ЯДЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Сильное ядерное взаимодействие является сильнейшей из четырех сил, но действует только на невероятно малых расстояниях, около диаметра протона. Оно обеспечивает связь маленьких элементарных частиц (кварков), из которых состоят протоны и нейтроны. Данная сила удерживает вместе протоны и нейтроны внутри атомных ядер.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИЛА

Электромагнитная сила действует между электрически заряженными частицами, такими как отрицательно заряженные электроны и положительно заряженные протоны. Эта сила может быть либо отталкивающей, в случае зарядов одинакового знака, либо притягивающей, если заряды имеют противоположный знак. Как и гравитация, она имеет неограниченную дальность действия.

СЛАБОЕ ЯДЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Слабое ядерное взаимодействие отвечает за распад элементарных частиц и превращение их в другие частицы. Например, нейтрон распадается на протон, антинейтрино и электрон. Подобно сильному ядерному взаимодействию, слабое взаимодействие имеет очень короткий радиус действия — меньше диаметра протона.

Первая секунда

Здесь показана первая секунда существования Вселенной, разбитая на отдельные этапы. Несмотря на кратковременность этапов, их называют эпохами. К концу первой секунды Вселенная превратилась из невообразимо маленькой точки в тело диаметром 100 млрд км. Хотя кипящий суп из частиц, возникший к концу этого периода, был еще очень горячим, Вселенная уже остыла примерно в 100 000 триллионов раз.

Приведенная здесь шкала времени в какой-то степени перекрывается со шкалой времени на предыдущих страницах, посвященных возникновению четырех сил. Но на этот раз речь идет о физических характеристиках молодой Вселенной.

214



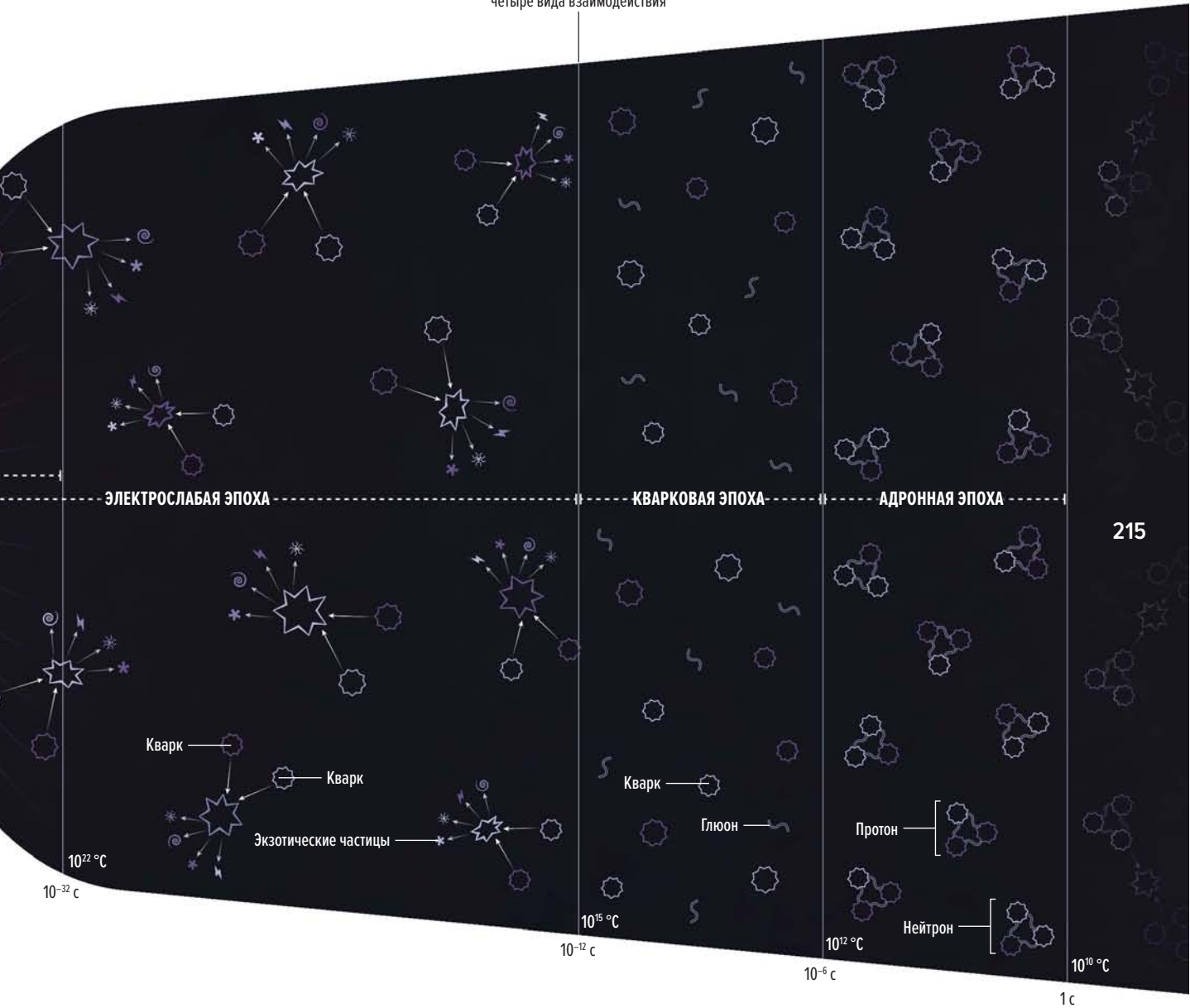
ЭПОХА ИНФЛЯЦИИ

Эпоха инфляции — период внезапного и экспоненциального расширения пространства. За тот период времени размеры Вселенной увеличились с одной миллиардной диаметра протона до размера грейпфрута. После той эпохи расширение Вселенной продолжается, но уже с постоянной скоростью. В результате расширения Вселенная остыла примерно в 100 000 раз.

ЭЛЕКТРОСЛАБАЯ ЭПОХА

Данная эпоха начинается одновременно с эпохой инфляции, но продолжается и после ее прекращения. Во время электрослабой эпохи некоторые из мельчайших элементарных частиц — так называемые кварки — образуют плазму. Столкновения между ними настолько часты и интенсивны, что они почти мгновенно аннигилируют друг с другом с образованием более «экзотических» частиц.

К концу электрослабой эпохи во Вселенной присутствуют все четыре вида взаимодействия



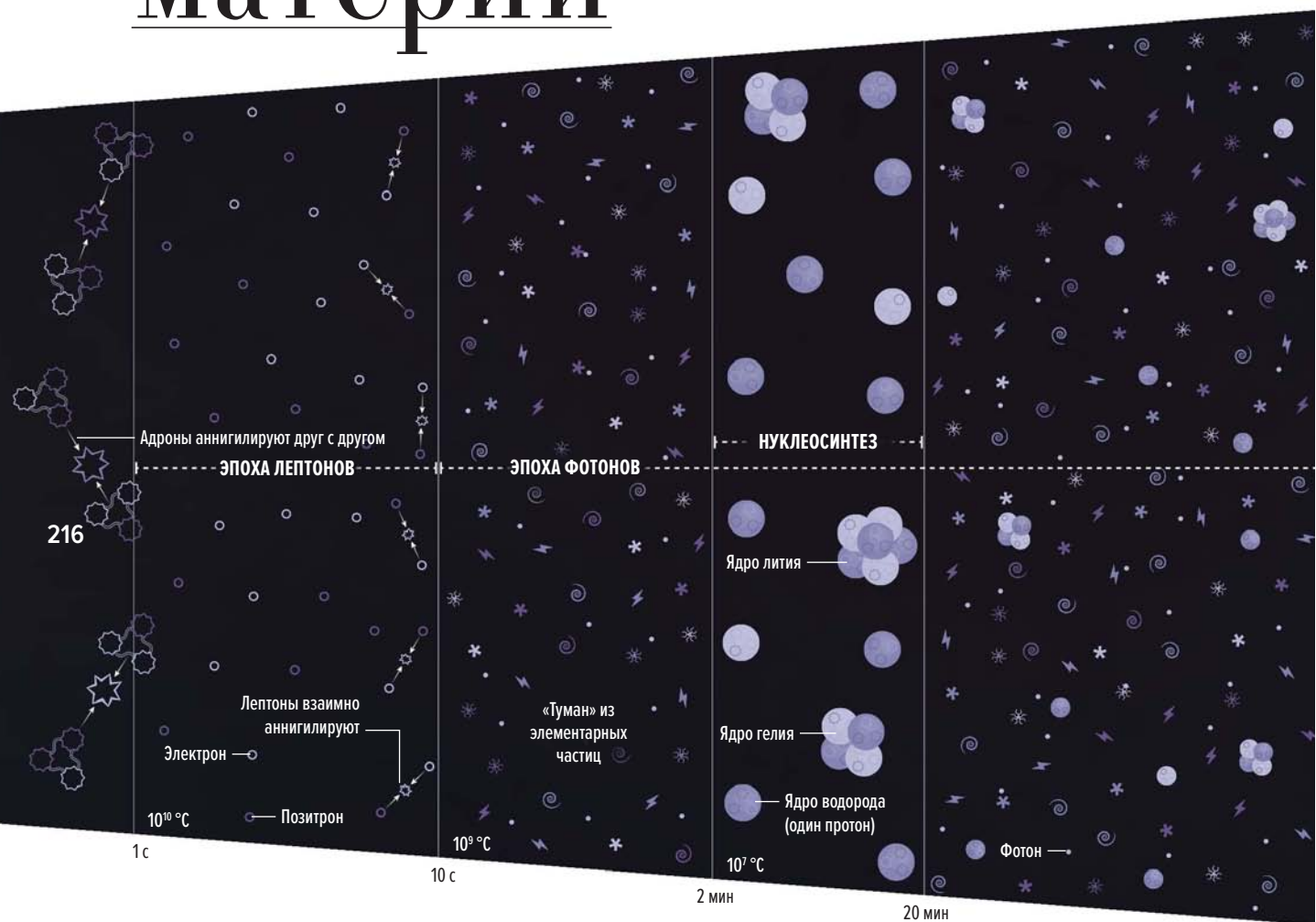
КВАРКОВАЯ ЭПОХА

Для образования материи все еще слишком горячо, но благодаря более низким температурам кварки могут существовать, не аннигилируя друг с другом. Посреди плазмы также возникают частицы, называемые глюонами.

АДРОННАЯ ЭПОХА

При более низких температурах сильное ядерное взаимодействие способно связывать кварки друг с другом при помощи глюонов. Образовавшиеся частицы называются адронами: это элементарные частицы, состоящие из двух или более кварков. Протоны и нейтроны являются разновидностями адронов, содержащих по три кварка. В эту эпоху в массе Вселенной преобладают адроны.

Возникновение материи



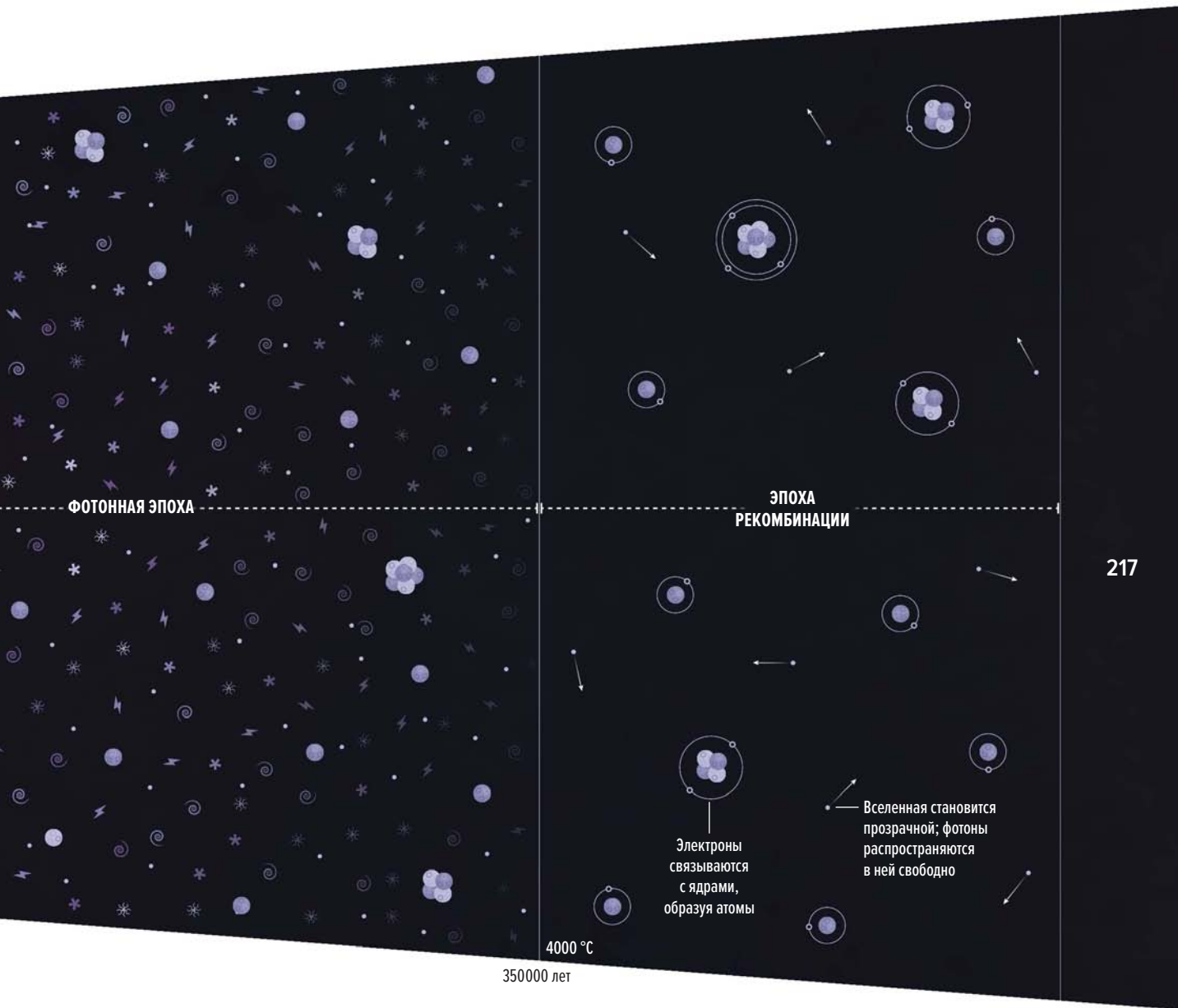
Разобравшись с Вселенной в возрасте 1 секунды, следующие несколько сотен тысяч лет мы пройдем с головокружительной скоростью, поскольку промежутки между основными вехами в истории сотворения нашего мира становятся гораздо длиннее. Точка, в которой заканчивается временная шкала, знаменует собой время появления первых полностью сформированных атомов.

ЭПОХА ЛЕПТОНОВ

В конце адронной эпохи большинство, хотя и не все, адроны и антиадроны успели взаимно проаннигилировать, и большая часть массы Вселенной теперь сосредоточена в лептонах. Лептоны — элементарные частицы, самой известной из которых является электрон. В конце этой эпохи большинство лептонов также аннигилируют, сталкиваясь с антилептонами (например, как электроны сталкиваются с позитронами).

ФОТОННАЯ ЭПОХА

В эту эпоху Вселенная представляла собой туман из элементарных частиц и энергии. Большая часть массы-энергии*, оставшейся во Вселенной, находится в форме фотонов, но Вселенная слишком плотная и поэтому непрозрачна для них. Иногда эту фазу называют эпохой непрозрачности из-за того, что космос был непроницаем для света.



НУКЛЕОСИНТЕЗ (СИНТЕЗ АТОМНЫХ ЯДЕР)

Температура во Вселенной упала до той точки, где могут образовываться атомные ядра. В результате нуклеосинтеза протоны и нейтроны соединяются, образуя ядра самых легких элементов — гелия и лития (ядра водорода с одним протоном уже и так имеются). Нуклеосинтез заканчивается, когда температура и плотность Вселенной становятся слишком низкими для термоядерных реакций слияния.

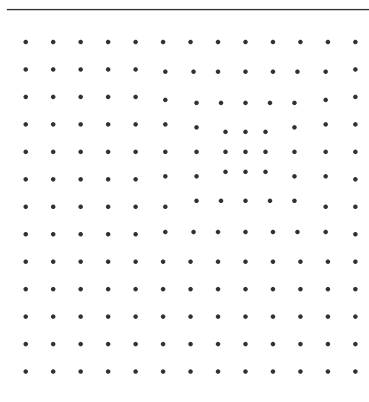
ЭПОХА РЕКОМБИНАЦИИ

Когда температура во Вселенной опустилась примерно до 4000 °С, что довольно близко к температуре поверхности Солнца, ядра-ионы смогли захватывать электроны, превращаясь в нейтрально заряженные атомы. По мере того как электроны связываются с атомами, Вселенная постепенно становится прозрачной для света, хотя по иронии судьбы на этом этапе она все еще остается темной, поскольку нет звезд, которые могли бы осветить ее.

* Масса-энергия. Как следует из знаменитого соотношения Эйнштейна $E = mc^2$ всякой массе соответствует определенное количество энергии, и наоборот. Космологи используют термин «масса-энергия», когда речь идет одновременно о массе и энергии.

Распределение вещества

218



С появлением атомов растущая Вселенная начала приобретать более привычный вид. По мере того как эти частицы притягивались друг к другу под действием неумолимой силы всемирного тяготения, во тьме начали возникать крупные структуры. Однажды в туманностях возникнут звезды, и здесь газовые облака служат наброском будущего строения космоса.

В 1964 году два сотрудника Лаборатории Белла, пытаясь измерить интенсивность далеких внегалактических радиоисточников, совершили важное открытие. Радиоастрономы Арно Пензиас и Роберт Вудро Вильсон с помощью большой рупорной антенны лаборатории обнаружили, что, куда бы они ни направили антенну, она регистрировала электромагнитный шум с длиной волны около 7,35 см. Предполагив, что помехи имеют наземное происхождение, ученые тщательно проверили свое оборудование, даже вычистили помет летучих мышей и птиц, скопившийся в большом рупорном приемнике. Но шум не прекращался ни днем, ни ночью. Устранив все возможные источники помех, они пришли к выводу, что те не были вызваны неисправным оборудованием, а их источник должен находиться за пределами нашей Галактики. Но значение их открытия стало очевидным, только когда они узнали, что группа астрофизиков из Принстонского университета тоже занята поисками космического микроволнового излучения.

Принстонская группа собиралась приступить к поиску излучения, возникшего сразу после Большого взрыва. Они предположили, что из-за расширения Вселенной любое излучение, пришедшее к нам с образования Вселенной, должно иметь очень сильное красное смещение и уж точно не может находиться в видимой части спектра. Они вычислили, что данное излучение можно зарегистрировать в микроволновом диапазоне, в той самой части

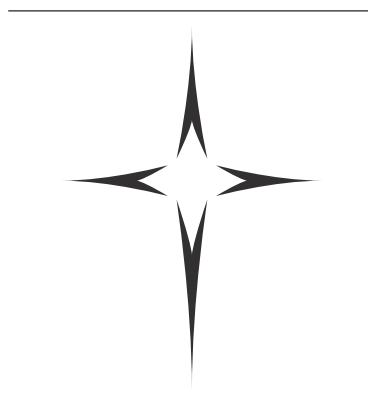
электромагнитного спектра, где его обнаружили сотрудники Лаборатории Белла, и что это излучение должно регистрироваться в любом направлении. Когда Пензиас и Вильсон узнали о работе другой группы, стало ясно, что они установили связь между своими результатами и гипотезой физиков из Принстона и обнаружили эхо Большого взрыва. Это излучение стало известно как реликтовое излучение (РИ), а его открытие принесло Пензиасу и Вильсону Нобелевскую премию по физике. РИ не только подтверждает модель Большого взрыва, но и считается одним из самых существенных доказательств этой модели.

РИ появилось в эпоху, когда Вселенная впервые перестала быть непрозрачной — примерно 350 000 лет назад, это предел возможностей для наших наблюдений. До того Вселенная была густым непроницаемым для света туманом из энергии и элементарных частиц. Именно в это время образовались первые атомы, поэтому РИ дает нам представление о распределении энергии и массы в ту раннюю эпоху. Хотя измерения Пензиаса и Вильсона свидетельствовали об однородности РИ и одинаковой его интенсивности по всему небу, более точные измерения, проведенные в 90-х годах XX века, выявили незначительные неоднородности в его распределении, — эти результаты также подтверждают теории эволюции ранней Вселенной. Если бы РИ было абсолютно однородно, распространяясь с одинаковой интенсивностью во всех направлениях, то это означало бы, что в результате Большого взрыва энергия и элементарные частицы распределены абсолютно однородно. Такая Вселенная, расширяясь, вечно сохраняла бы постоянную плотность, поскольку все частицы притягивались бы друг к другу с одинаковой силой и никакие сгустки не могли бы образоваться. Только благодаря обнаруженным мельчайшим неоднородностям РИ мы знаем, что Вселенная была распределена не совсем равномерно и эти крошечные флуктуации привели к тому, что более плотные области притягивали к себе больше массы из областей с более низкой плотностью, которые вследствие этого увеличивались в размере из-за потери вещества. Таким образом, если бы не присутствовавшие в Большом взрыве неоднородности, то в космосе не образовалось бы ни одного тела. В любом месте космоса содержится оставшееся после рождения Вселенной излучение в количестве около 500 миллионов фотонов на кубический метр.

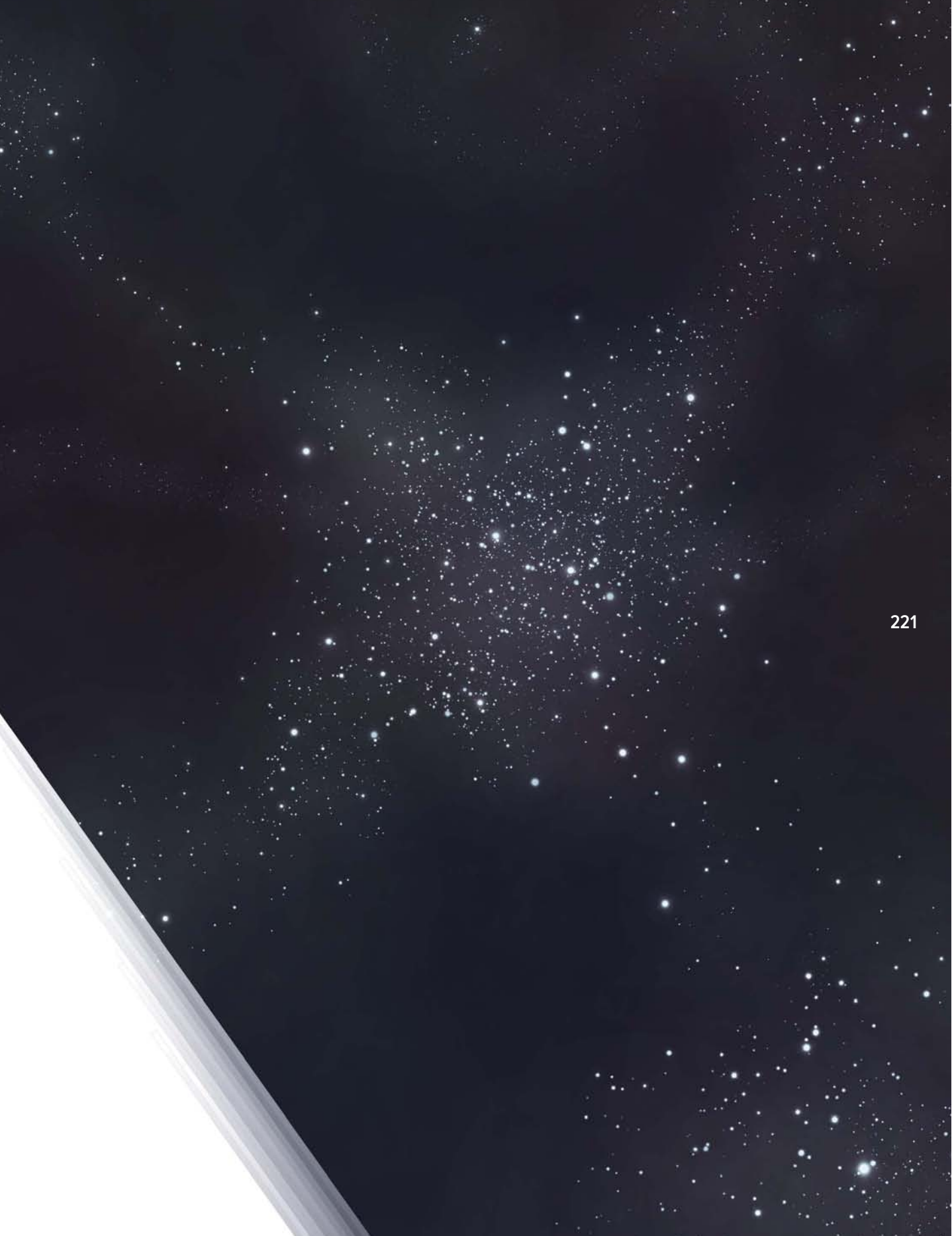
Первые звезды

Первые звезды начали светить, когда нашей Вселенной было около 100 миллионов лет, они появились из коллапсирующих газовых облаков. После достижения этими газовыми сгустками чрезвычайно высокой плотности в них стартовали термоядерные реакции, сопровождающиеся излучением, и образовались звезды. Одна за другой они зажигались, и в конце концов триллионы и триллионы их осветили космос, который долгое время был темным. Под действием взаимного притяжения эти раскаленные шары собирались в звездные скопления, которые, в свою очередь, притягивали другие скопления. Вскоре, примерно через 300 миллионов лет, эти скопления в массе своей собрались в первые галактики во Вселенной.

В начале существования Вселенной единственными доступными элементами были те, что образовались в результате Большого взрыва, и именно из них состояли первые звезды: примерно три четверти их массы составлял водород, около четверти — гелий с очень небольшой примесью лития. Считается, что большинство звезд первого поколения были массивнее современных, возможно, с массами в 100–1000 раз больше солнечной, и поэтому они сгорели всего за миллионы лет. В результате до наших дней не сохранилось ни одной звезды раннего периода. Те звезды первыми привнесли во Вселенную новые элементы. Большинство ранних звезд из-за своей большой массы заканчивали существование, взрываясь как сверхновые, и в ходе этого взрыва вырабатывались и выбрасывались в космос более тяжелые элементы. Оставшиеся после взрывов первых сверхновых разреженные газопылевые облака послужили сырьем для следующего поколения звезд с более богатым химическим составом. Благодаря звездам первого поколения следующее поколение оказалось также окружено каменистыми объектами: планетами, спутниками планет и астероидами — телами, которые вносят в космос некоторое разнообразие.

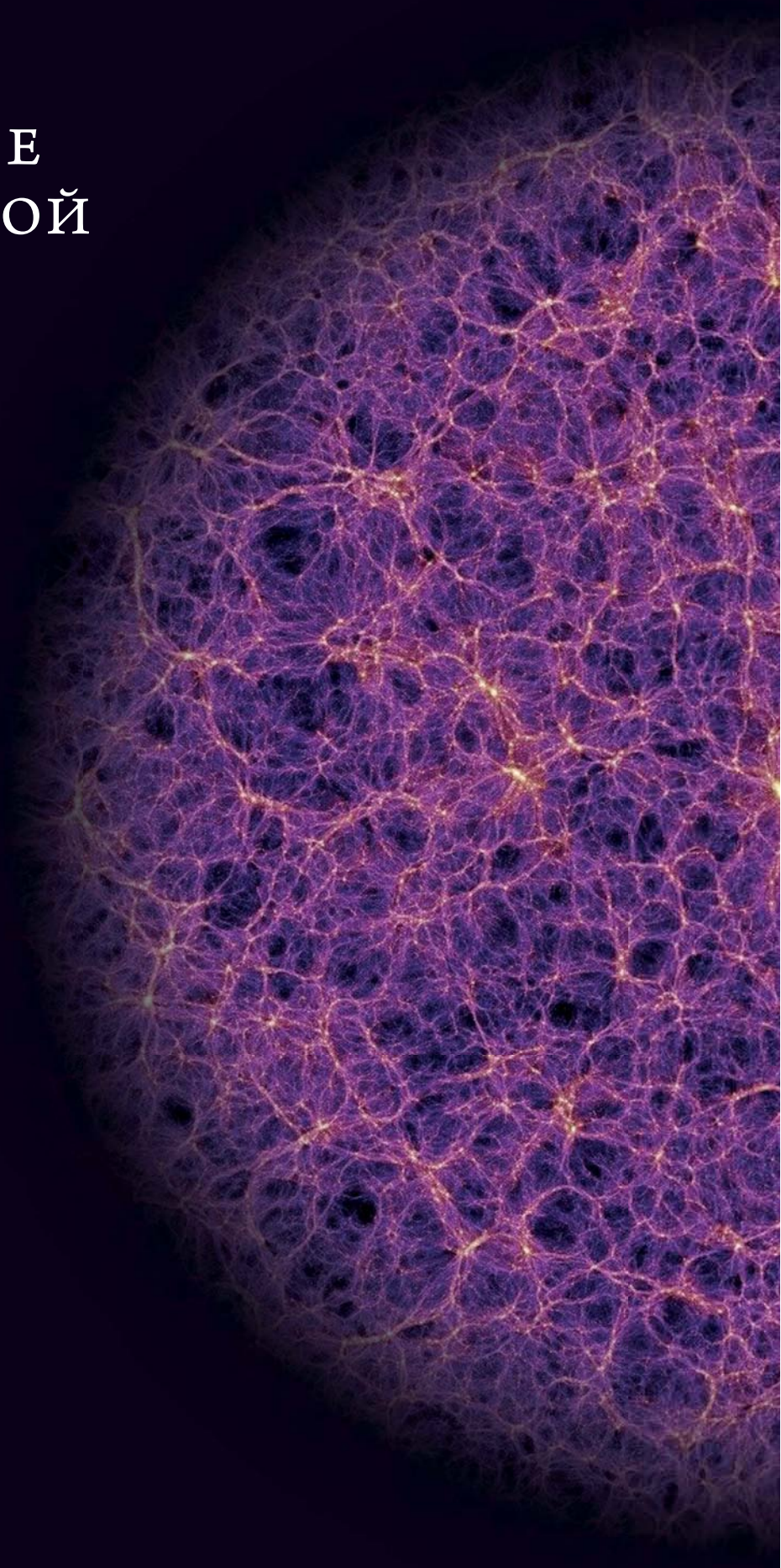


Хотя для нас с вами 100 миллионов лет — огромный срок, с точки зрения создания целой звезды практически из ничего это совсем немного. На самом деле это настолько краткий промежуток времени, что астрономы считают, что большую роль в раннем развитии Вселенной должна была сыграть темная материя. Если бы после Большого взрыва вокруг было только обычное вещество, то сила его гравитационного притяжения не смогла бы преодолеть быстрое расширение Вселенной. Все сущее оказалось бы разорвано на части так быстро, что для формирования звезд, не говоря уже о развитии галактик, просто не хватило бы времени. Присутствие темной материи, причем в 10 раз большем количестве по сравнению с обычным веществом, предотвратило рассеяние обычной материи и дало возможность сформироваться небесным телам.



СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

222

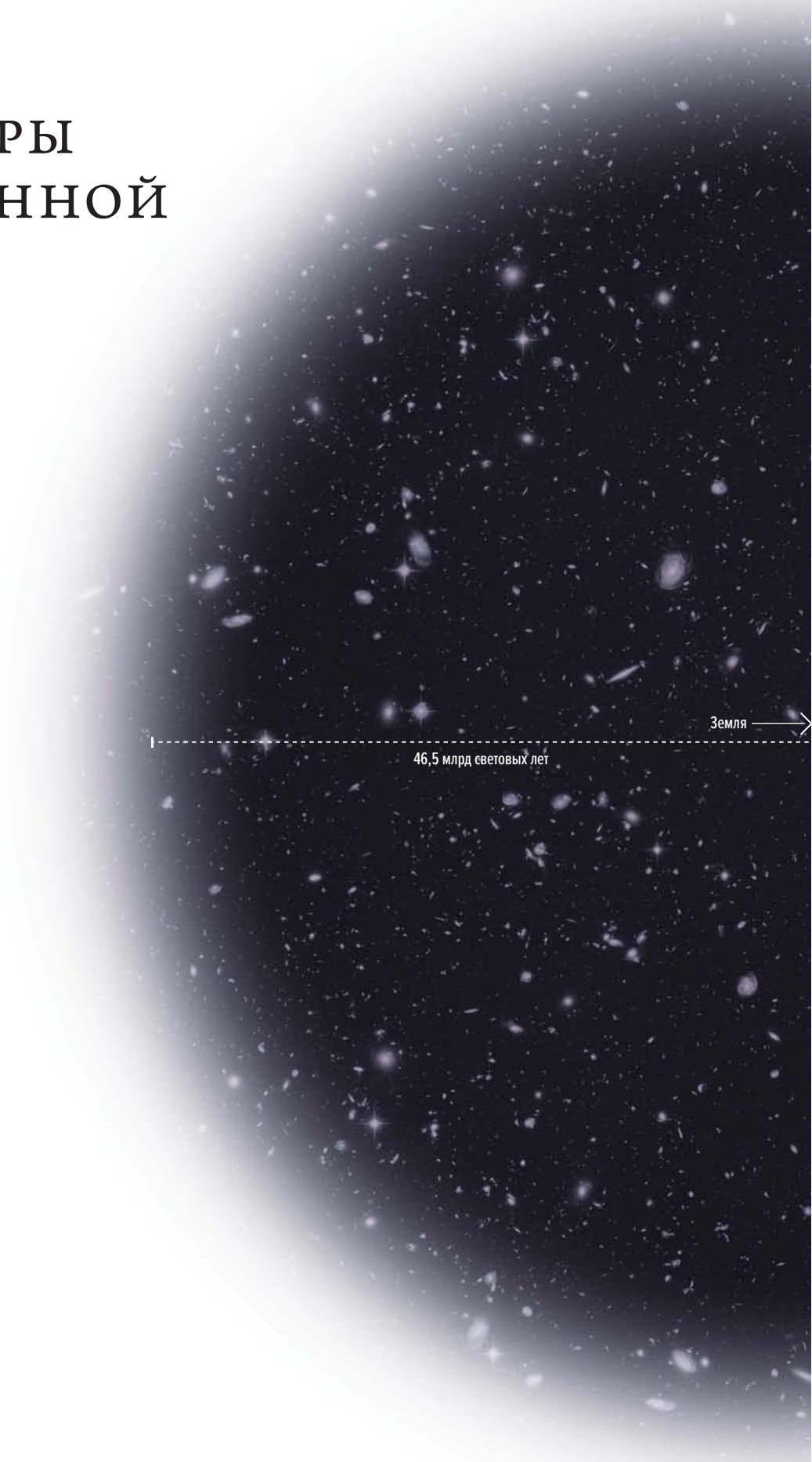


КОСМИЧЕСКАЯ ПАУТИНА

Вот результат компьютерного моделирования распределения вещества в нашей Вселенной. На данном развороте представлен миллиард световых лет пространства, содержащего области темной материи, показанной желтым цветом, и видимого вещества, показанного розовым цветом. Согласно теориям эволюции Вселенной, темная материя собралась в сгустки, вокруг которых скопилось обычное вещество. В узлах находятся скопления галактик, связанные друг с другом нитями из других скоплений галактик.

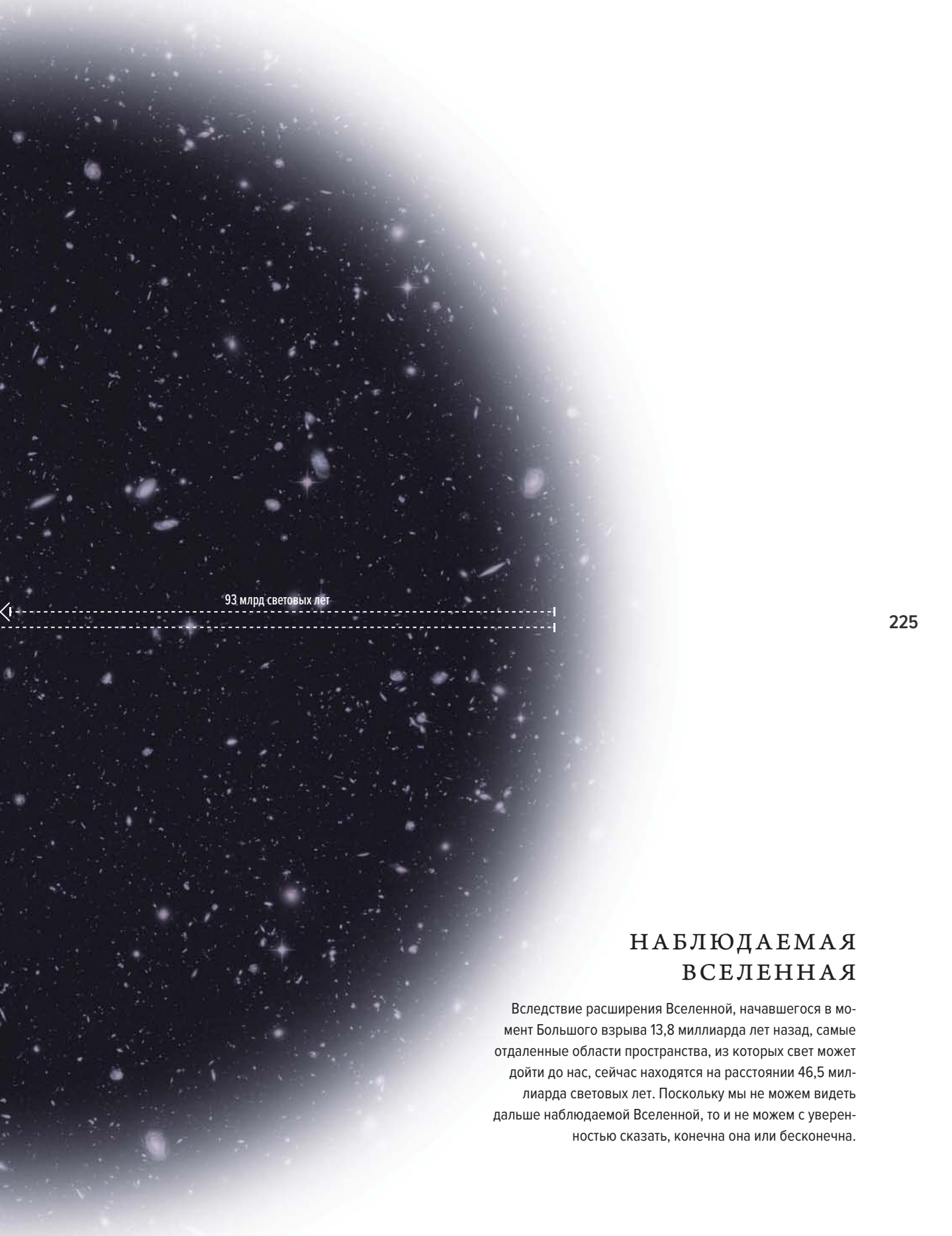
РАЗМЕРЫ ВСЕЛЕННОЙ

224



46,5 млрд световых лет

Земля



93 млрд световых лет

225

НАБЛЮДАЕМАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Вследствие расширения Вселенной, начавшегося в момент Большого взрыва 13,8 миллиарда лет назад, самые отдаленные области пространства, из которых свет может дойти до нас, сейчас находятся на расстоянии 46,5 миллиарда световых лет. Поскольку мы не можем видеть дальше наблюдаемой Вселенной, то и не можем с уверенностью сказать, конечна она или бесконечна.



“

*Стоя на остывшей
золе, мы видим,
как медленно
угасают солнца,
и пытаемся
воссоздать
исчезнувшее сияние
начала миров*

”

Жорж Леметр (1894–1966)

ГИБЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ

228

ГАСНЕТ СВЕТ

В жизненном цикле звезды рождаются, стареют и умирают, оставляя после себя материалы, которые однажды будут использованы будущим поколением звезд. Однако так не будет продолжаться вечно. Поскольку звезды не могут вторично перерабатывать все свое вещество, процесс этот конечен, и однажды новые звезды перестанут рождаться.

Трудно говорить о конце Вселенной без грусти. Во многих отношениях это кажется бессмыслицей, ведь это невообразимо далекое будущее, и наш биологический вид, несомненно, исчезнет задолго до этого, но именно неотвратимость конца

поражает. Конец истории Вселенной — это конец всех историй, ужасающе мрачный конец. Началось все сущее с Большого взрыва. А закончится торжественным финальным «ура»? Нет, Вселенная обречена на долгую и затяжную смерть.

После кажущейся вечностью жизни в свете звезд Вселенная однажды померкнет, так как последние из них догорят. Но, несмотря на триллионы лет, в течение которых космос был освещен, большая часть его истории еще впереди. Ядра последних оставшихся звезд будут остывать в течение триллионов лет, и галактики ослабят свою власть над ними. Некоторые из них

будут поглощены черными дырами, а другие бесцеремонно выброшены в пустоту. По мере расширения Вселенной становится все холоднее, и любые взаимодействия происходят все более редко и слабо. «Размазанные» небесные тела в конце концов исчезнут в эфире, поскольку частицы, необходимые для существования их атомов, постепенно растворятся в излучении. Единственное, что будет избавлено от этой участи, так это черные дыры, которые продолжают существовать еще очень долго после гибели всего остального, но даже они не беззащитны перед лицом судьбы.

Варианты развития событий

230

БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

Еще не так давно астрономы считали, что под действием тяготения расширение Вселенной замедляется. До того как они узнали, что расширение ускоряется, считалось, что только один фактор будет определять будущее Вселенной: плотность массы-энергии. Если средняя плотность Вселенной превысит определенную величину, то ее ждет Большое сжатие. В этом случае сила тяготения замедлит расширение, которое в некоторый момент совсем прекратится, а затем Вселенная «повернет вспять» — расширение сменится сжатием. В итоге все сколлапсирует. Вселенная будет становиться все меньше и горячее, пока снова не превратится в сингулярность — как в начале своего существования. Что произойдет дальше, неизвестно, хотя теория так называемого Большого отскока гласит, что может произойти еще один Большой взрыв. Если это так, то Вселенная может быть циклической, бесконечно взрываться и потом коллапсировать. Хотя теория Большого отскока не пользуется популярностью среди астрономов, такой вариант развития событий не исключен. Мы мало знаем о темной энергии, которая является движущей силой расширения, и считается, что она могла иметь другие свойства на заре Вселенной. Кто скажет, будет ли она вести себя по-другому в далеком будущем?



БОЛЬШОЕ ЗАМЕРЗАНИЕ

Наиболее признанной теорией гибели Вселенной является теория «Большого замерзания». Еще до того, как последние звезды израсходуют все свое топливо, галактики потеряют друг друга из виду. Из-за быстрого расширения они начнут удаляться друг от друга так быстро, что свет от одной галактики никогда не достигнет другой. В конце концов новые звезды перестанут рождаться, старые угаснут, и останутся лишь их сгоревшие остатки, а также нейтронные звезды и черные дыры. Непрекращающееся расширение Вселенной также приведет к ее охлаждению, поскольку материя и энергия будут все «тоньше» размазаны в пространстве; температура во всем космосе устремится к абсолютному нулю, но никогда не достигнет его. В очень отдаленном будущем вся материя, не связанная в черные дыры, сама распадется, растворившись в энергию. В очень-очень далеком будущем погибнут даже черные дыры, поскольку они также будут медленно испаряться, превращаясь в излучение.

Звезды гаснут

Примерно через пять миллиардов лет наше Солнце приблизится к концу своей активной жизни. При этом оно сбросит большую часть своей массы в космос, от него останется лишь сгоревшее ядро в виде белого карлика. Несмотря на большую интенсивность процесса, результат гибели более массивных звезд почти такой же: они взрываются в виде сверхновой, выбрасывая в космос вещество и оставляя после себя плотные ядра в виде нейтронных звезд или черных дыр. Газ и пыль, которые звезды выбрасывают в космос в момент гибели, смешиваются с межзвездной средой, и со временем наиболее плотные области межзвездной среды сгущаются в туманности. Из этих туманностей возникнут новые звезды, все повторится снова. Само собой разумеется, что это не может продолжаться бесконечно, поскольку хотя с каждой смертью звезды часть ее вещества возвращается в космос и может быть снова использована для звездообразования, другая часть звездного вещества остается запертой в образовавшемся ядре.

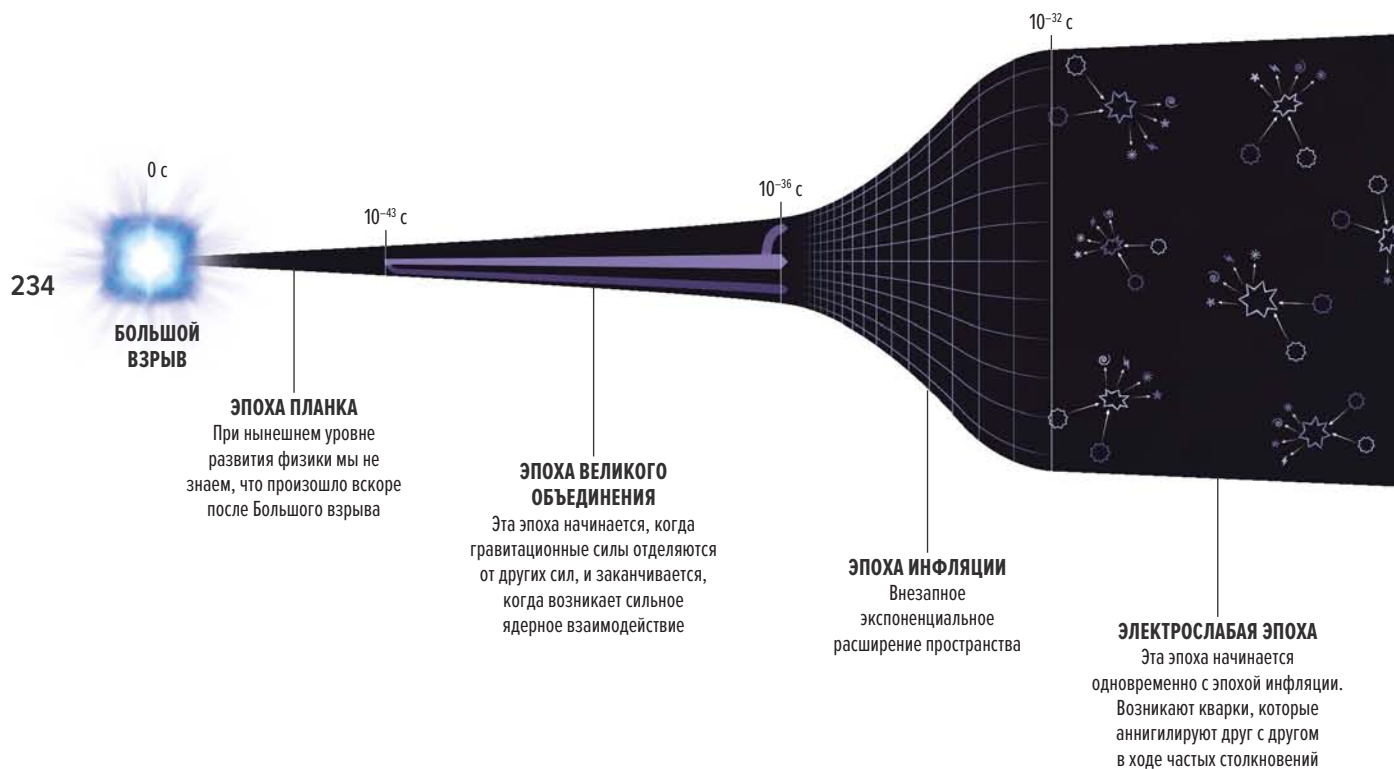
Ожидается, что образование звезд продолжится по крайней мере в течение следующего триллиона лет, хотя скорость данного процесса будет постоянно уменьшаться. Из-за постепенного истощения запасов газа и пыли в галактиках образование каждой туманности занимает все больше времени, а новые звезды появляются все реже. Когда звезд не останется совсем, Вселенная медленно погрузится во тьму, поскольку одна за другой оставшиеся звезды израсходуют свое топливо и исчезнут во мраке. Последними из оставшихся горящих звезд будут красные карлики, продолжительность жизни которых достигает 10^{12} (10 триллионов) лет. Когда и они окончательно погаснут, во Вселенной останутся лишь темные звездные остатки: белые карлики, медленно остывающие и превращающиеся в черных карликов, а также нейтронные звезды и черные дыры, оставшиеся от более массивных звезд.

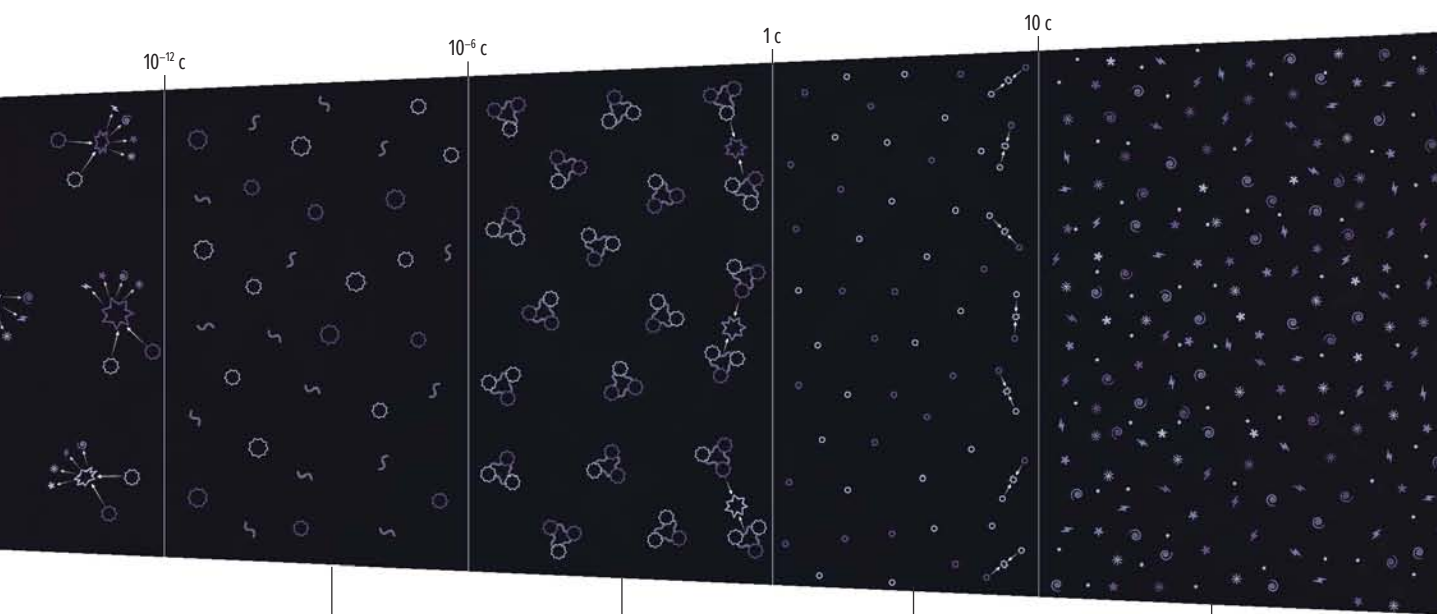
Что касается дальнейшего пути к вымиранию, то, согласно математическим моделям, когда возраст Вселенной достигнет около 10^{19} лет, галактики больше не смогут сохраняться в связанном состоянии. Взаимодействие между остатками звезд, вероятно, приведет к тому, что более мелкие тела будут отброшены на пути к черным дырам, которым впоследствии предстоит поглотить их, в то время как другие мелкие тела окажутся

выброшены за пределы галактики. Предполагается, что большая часть массы галактик, от 90 до 99%, будет рассеяна в межгалактическом пространстве, а оставшаяся окажется внутри центральных сверхмассивных черных дыр.

Наконец, считается, что сама материя может прекратить свое существование примерно через 10^{33} лет, когда протоны и нейтроны распадутся на составляющие их частицы и излучение. Все, что находится за пределами черных дыр, распадется на части и исчезнет. Последним, что останется во Вселенной, будут сами черные дыры, но тут за дело возьмется излучение Хокинга. Маленькие черные дыры начнут исчезать через 10^{66} лет, а самые большие — через 10^{100} лет. После их исчезновения Вселенная опустеет... Хотя, быть может, не совсем. Фотоны, нейтрино, электроны и позитроны будут летать по ней, но редко сталкиваться друг с другом. Такова судьба Вселенной.

Хронология Вселенной





КВАРКОВАЯ ЭПОХА

Благодаря дальнейшему остыванию Вселенной кварки уже могут существовать, не аннигилируя друг с другом. Также появляются глюоны

АДРОННАЯ ЭПОХА

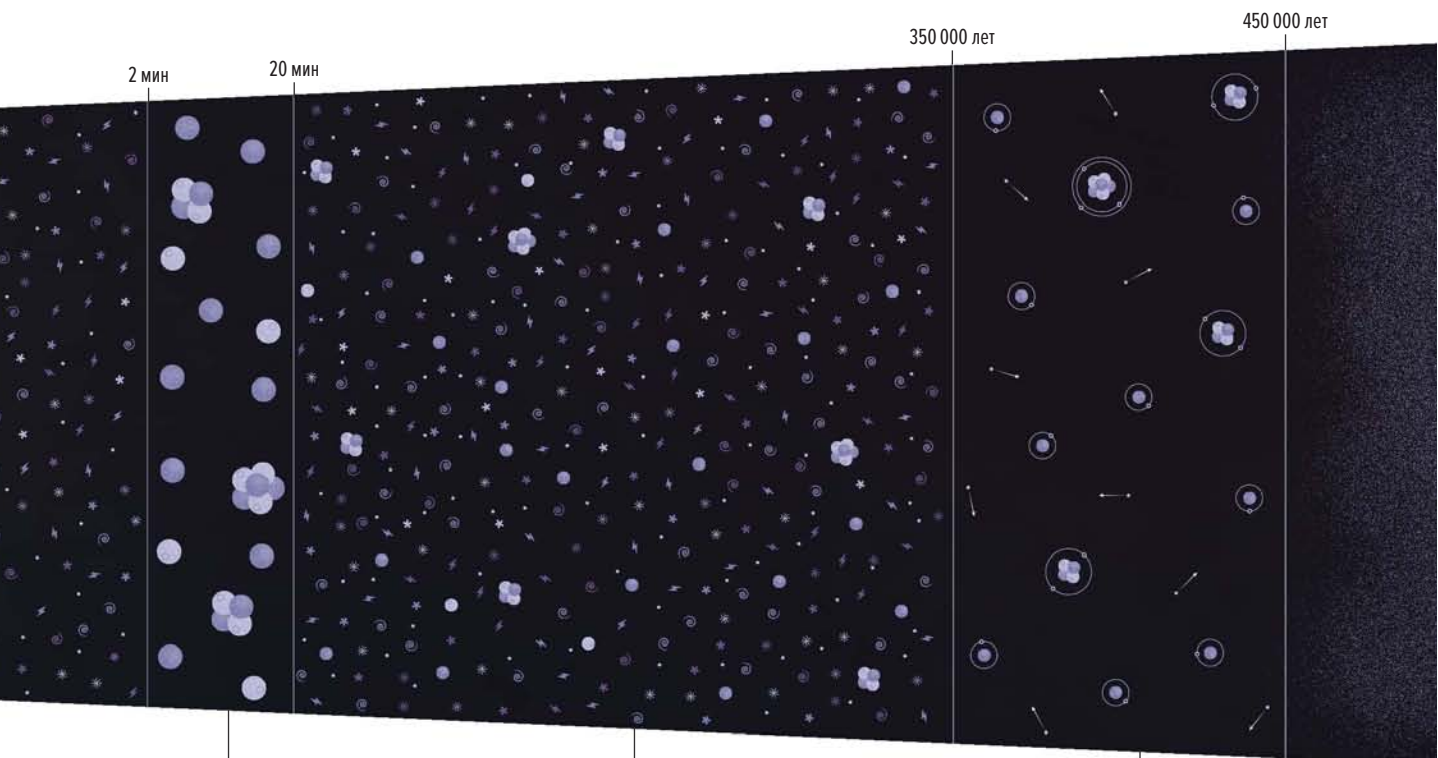
Кварки соединяются друг с другом, образуя адроны — протоны и нейтроны

ЛЕПТОННАЯ ЭПОХА

Основная часть адронов и антиадронов аннигилирует, и остаются пары: лептон-антилептон.

ФОТОННАЯ ЭПОХА

Большая часть массы-энергии во Вселенной находится в форме фотонов, которые не могут пробиться сквозь густой туман частиц и энергии. Также известна как эпоха непрозрачности



2 мин

20 мин

350 000 лет

450 000 лет

НУКЛЕОСИНТЕЗ

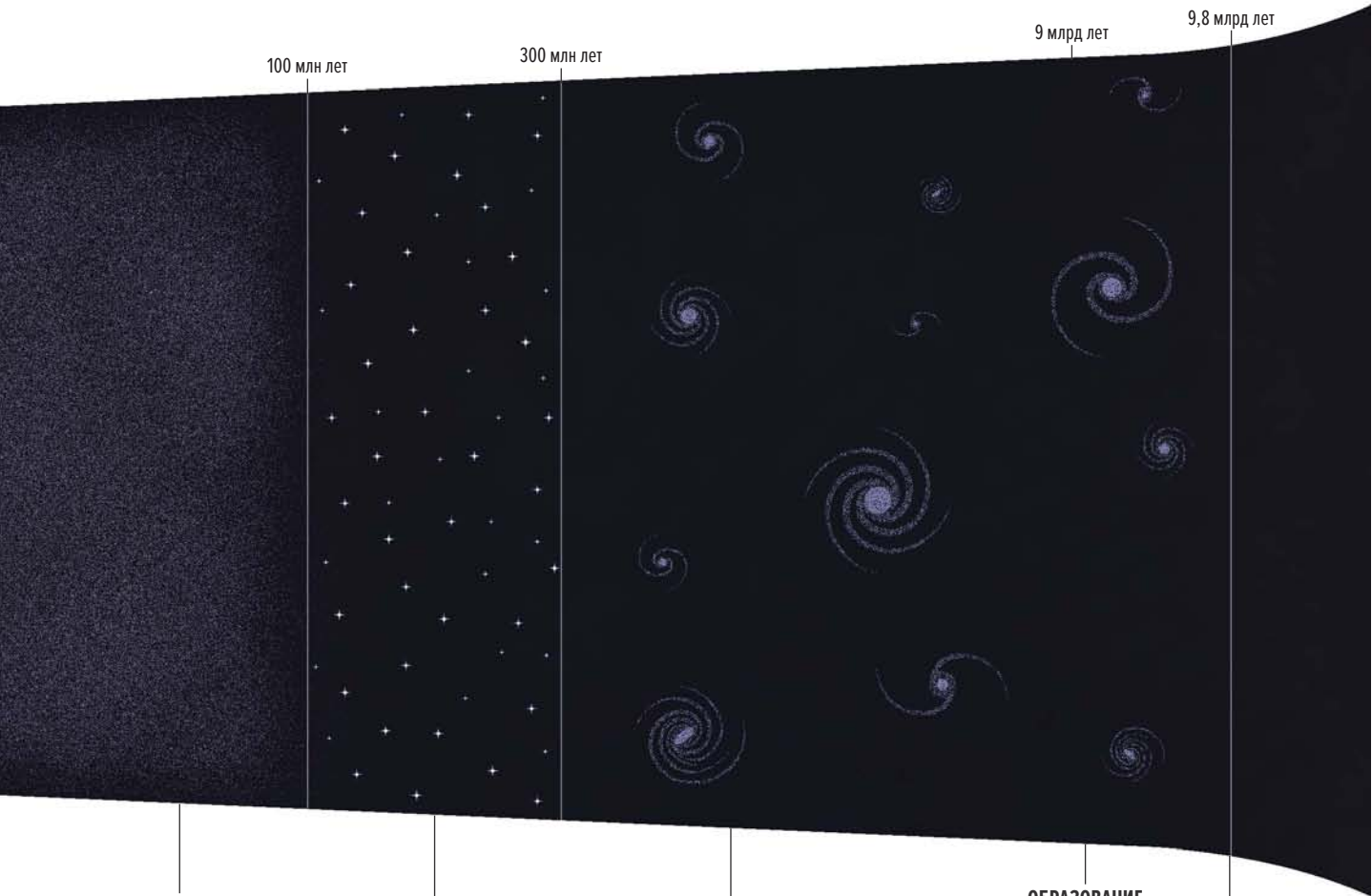
Начинают формироваться ядра атомов

ПРОТОННАЯ ЭПОХА

Синтез гелия, дейтерия, следов лития. Начало преобладания вещества над излучением

ЭПОХА РЕКОМБИНАЦИИ

По мере остывания Вселенной атомные ядра захватывают электроны, образуя первые атомы. Фотоны могут свободно перемещаться, и Вселенная становится прозрачной



100 млн лет

300 млн лет

9 млрд лет

9,8 млрд лет

ТЕМНЫЕ ВЕКА

После образования атомов, но до того, как зажглись первые звезды, Вселенная была темной

ПЕРВЫЕ ЗВЕЗДЫ

«СБОРКА» ГАЛАКТИК

ОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ УСКОРЯЕТСЯ

Темная энергия пересиливает гравитацию

10¹² лет

10¹⁹ лет

20 млрд лет

13,8 млрд лет

10 млрд лет

**НА ЗЕМЛЕ
ЗАРОЖДАЕТСЯ
ЖИЗНЬ**

**НАСТОЯЩЕЕ
ВРЕМЯ**

**СОЛНЦЕ
ПРЕВРАЩАЕТСЯ
В КРАСНОГО ГИГАНТА**

**ПРЕКРАЩАЕТСЯ
РОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД**
Вселенная постепенно
погружается во тьму, так
как звезды больше не
рождаются

РАЗРУШАЮТСЯ ГАЛАКТИКИ
Расширение Вселенной
продолжается,
и гравитационно связанные
системы — скопления звезд
и галактик — распадаются

10^{33} лет

10^{40} лет

10^{100} лет

РАСПАД ПРОТОНОВ
За пределами черных дыр протоны и нейтроны распадаются на составляющие их частицы и излучение

ЭРА ЧЕРНЫХ ДЫР
Остались только черные дыры, которые тоже постепенно исчезают в процессе излучения Хокинга

ГИБЕЛЬ
После того как исчезнут последние черные дыры, останутся лишь элементарные частицы, дрейфующие в огромной Вселенной, почти не взаимодействуя друг с другом

ИСТОЧНИКИ

Hawking S. A Brief History of Time. Penguin Random House, 1988.
Bryson B. A Short History of Nearly Everything. Doubleday, 2003.
Krauss L. M. A Universe from Nothing. Simon & Schuster, 2012.
Lowe S., North C. Cosmos The Infographic Book of Space. Aurum Press Ltd, 2015.
Sagan C. Cosmos: The Story of Cosmic Evolution, Science and Civilisation. Sphere, 1996.
Dickinson T. Hubble's Universe: Greatest Discoveries and Latest Images. Firefly Books Ltd, 2017.
Trefil J. Space Atlas: Mapping the Universe and Beyond. National Geographic, 2018.
Hawking S., Mlodinow L. The Grand Design. Bantam Books, 2010.
Lang K. R. The Life and Death of Stars. Cambridge University Press, 2013.
Aderin-Pocock M. The Planets. Dorling Kindersley Limited, 2014.
Cox B., Cohen A. The Planets. HarperCollins Publishers, 2011.
Murdin P. The Secret Lives of Planets. Hodder & Stoughton, 2019.
Galfard C. The Universe in Your Hand: A Journey Through Space, Time and Beyond. Macmillan, 2015.
Rees M. Universe The Definitive Visual Guide. Dorling Kindersley Limited, 2005.
deGrasse Tyson N., Strauss M. A., Gott J. R. Welcome to the Universe. Princeton University Press, 2016.
Cox B., Cohen A. Wonders of the Universe. HarperCollins Publishers, 2011.

ФОТОМАТЕРИАЛЫ

Сокращения в скобках обозначают расположение на странице: t — вверху, b — внизу, c — в центре, l — слева, f — на заднем плане, m — на переднем плане.

18(tl) © Wikimedia Commons: NASA
31(tl) © Wikimedia Commons: NASA
38(bl) © Wikimedia Commons: NASA
40–41(m) © 123rf.com: 1xpert
46–47(fb) © Wikimedia Commons: NASA
47(br×2) © Wikimedia Commons: NASA
51(t×5) © Wikimedia Commons: NASA
54(все изображения) © Wikimedia Commons: NASA
54(t) © Wikimedia Commons: NASA
58(bl) © Wikimedia Commons: NASA / ESA
63(r) © Wikimedia Commons: NASA
66(bl) © Wikimedia Commons: NASA
67(tr) © Wikimedia Commons: NASA
71(t×5) © Wikimedia Commons: NASA
71(tr) © 123rf.com: 1xpert
85(br) © Wikimedia Commons: NASA
88(t) © Wikimedia Commons: NASA
89(tr) © Wikimedia Commons: NASA
98–99(m) © FoxGrafy / Shutterstock.com
107(m) © Wikimedia Commons: NASA
109(tr) © Wikimedia Commons: NASA
109(tr) © Wikimedia Commons: NASA
109(bl) © Wikimedia Commons: NASA
120(br) © Wikimedia Commons: NASA
125(tr) © DSS 2/ESO / Wikimedia Commons
137(m) © Wikimedia Commons: NASA
143(m) © Lia Koltyrina / Shutterstock.com
155(bl) © Wikimedia Commons: NASA
173(br) © Wikimedia Commons: European Southern Observatory
182–183(m) © 123rf.com: Vadim Sadovski
184–185(m) © 123rf.com: alexmstudio
186(×3) © Wikimedia Commons: NASA
186(t×3) © Wikimedia Commons: NASA
189(m) © Wikimedia Commons: European Southern Observatory
192(m) © Wikimedia Commons: NASA
193(tr) © Wikimedia Commons: NASA
193(bl) © Wikimedia Commons: NASA
196(m) © Lia Koltyrina / Shutterstock.com
201(m) © NASA images / Shutterstock.com
202(cl) © Wikimedia Commons: NASA
202(m) © Wikimedia Commons: NASA
203(m) © Wikimedia Commons: European Southern Observatory

Все прочие изображения и диаграммы, которые не перечислены в списке, принадлежат автору. Мы приложили все усилия для того, чтобы связаться с правообладателями материалов, использованных в этой книге. Однако, если что-то было пропущено, издатель с радостью укажет источник в будущих изданиях.