КОСМОС
БОЛЬШОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ
ПО ВСЕЛЕННОЙ
Джайлс Спэрроу
Предисловие Дэйвы Собел

КОСМОС

ДЖАЙЛС СПЭРРОУ

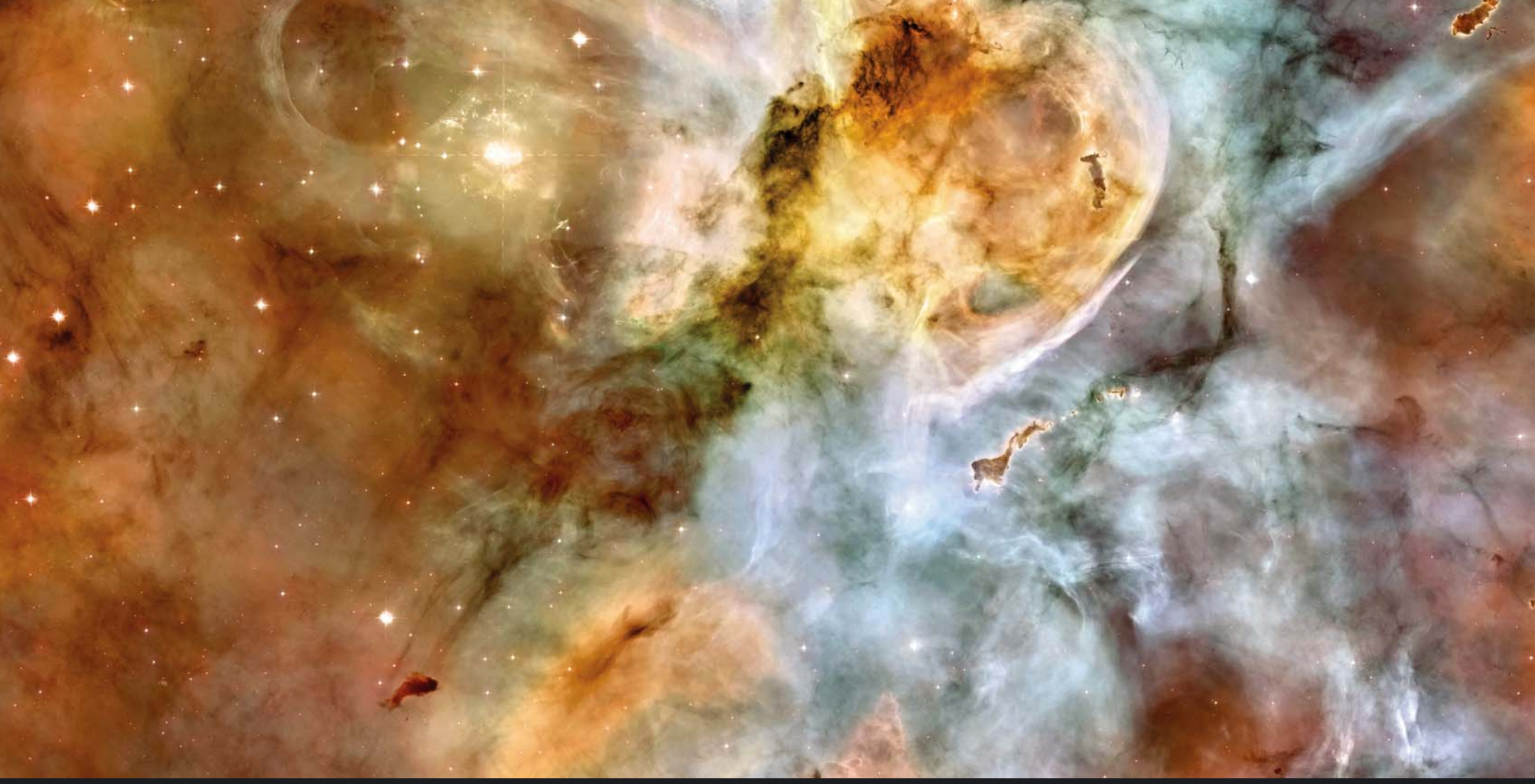
КОСМОС

Предисловие

ДЭЙВЫ СОБЕЛ

БОМБОРА™

Москва 2021



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 6

МЕЖПЛАНЕТНЫЙ МИР

Внутренние планеты 10

Земля 12
Тектоническая активность 14
Воздух и вода 18
Жизнь 20

Луна 22

Венера 28
Венера после «Магеллана» 30

Меркурий 34

Солнце 36
Солнечный цикл 38

Марс 40
Марсианские вулканы 42
Долина Маринера 44
Вода на Марсе 46

Астероиды 50

Внешние планеты 52

Юпитер 54
Луны Юпитера 58
Ио 60
Европа 62
Ганимед 64
Каллисто 65

Сатурн 66
Кольца Сатурна 68
Луны Сатурна 69
Телесто, Пандора, Эпиметей, Мимас 70
Энцелад 72
Тефия, Диона, Рея 74
Титан 76
Гиперион 78
Япет, Феба 79

Уран 80
Луны Урана
Титания, Оберон, Умбриэль 82
Ариэль, Миранда 83

Нептун 54
Луны Нептуна
Тритон 86

Дальние окраины 88

Плутон, Эрис 90

Квавар, Седна 91

Кометы 92

[Вверху] Панорама туманности Киля. Снимок сделан космическим телескопом «Хаббл»

МЕЖЗВЕЗДНЫЙ МИР

Среди звезд 96

Жизнь звезд 104

- Рождение звезд 106
- Молодые звезды 112
- Кратные звезды 114
- Внесолнечные планеты 115
- Рассеянные скопления 116
- Шаровые скопления 118
- Переменные звезды 120
- Красные гиганты 122
- Планетарные туманности 124
- Белые карлики 136
- Сверхгиганты 138
- Сверхновые 140
- Останки звезд 144
- Млечный Путь 148
  - Ядро Галактики 150

МЕЖГАЛАКТИЧЕСКИЙ МИР

Местная Группа 156

- Большое Магелланово Облако 158
- Малое Магелланово Облако 160
- Галактика в Андромеде 162
- Галактика в Треугольнике 164
- Галактика Барнарда 165

Галактики 166

- Спиральные галактики 168
  - Разнообразие спиралей 170
- Эллиптические и линзообразные галактики 178
- Неправильные галактики 180
- Активные галактики 182
- Радиогалактики 184
- Галактики Сейферта 186
- Квазары и блазары 187

Эволюция галактик 186

- Взаимодействующие галактики 192
- Сталкивающиеся галактики 198

ГЛУБИНЫ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

- Скопления галактик 204
  - Скопления и гравитационное линзирование 206
- Волокна и войды 208
- Темная материя 210
- Взгляд вглубь 212
- Да будет свет 214
- Большой взрыв 216
- Конец? 218

Глоссарий 220

Предметный указатель 222

МЕЖПЛАНЕТНЫЙ МИР

Предисловие

Дэйвы Собел

Мне хочется рассказать вам о том, что происходит с моей головой, когда я пытаюсь представить себе глубину космоса. Людям кажется, что мне это легко дается, потому что я пишу о планетах и езжу наблюдать солнечные затмения. Однако Солнечная система — всего лишь уютное гнездышко по сравнению со всей нашей Галактикой. Но и сама Галактика не более, чем точка в бесконечной протяженности пространства-времени, которое образует Вселенную. И когда я пытаюсь заставить мой мозг вообразить эти гигантские масштабы, он просто отказывается работать. От тишины закладывает уши, как будто в безграничной пустоте, которую мои мысли стараются охватить, им недостает воздуха. И в то же время я чувствую, что падаю куда-то, как часто случается, когда засыпаешь, и уже впадая в забытье, вдруг вскидываешься от неожиданного образа — частью из сна, частью из глубины памяти. Летишь то ли с качелей, то ли с лестницы, и все тело судорожно напрягается, чтобы спастись.

Хотя эти внутренние ощущения, связанные с тишиной и падением, выглядят довольно интимными, подозреваю, что они навеяны каким-нибудь кинофильмом или телепередачей со спецэффектами. Подумайте только, как часто в фантастических фильмах и смонтированных в NASA имитациях космического полета момент выхода за пределы земной атмосферы обозначается наступлением внезапной тишины. Это резкое исчезновение звуков после рева стартовых двигателей сообщает нам о нашем прибытии во внешний, потусторонний мир. А что до падения — что ж, научные телевизионные программы предлагают нам сценарий безвозвратного спуска в бездонные глубины черной дыры. Только перешагни через горизонт событий одного из этих монстров, и ты тут же распростишься не только со светом и жизнью, но и со всей прошлой историей — и с самой Вселенной. По крайней мере, так мне рассказывали и показывали в анимациях и рисунках. Но, по правде сказать, я так и не смогла обзавестись ментальным устройством для понимания этого явления. И я не в большей степени способна вызвать в воображении представление о черной дыре, чем какой-нибудь муравей способен был бы к ней подползти.

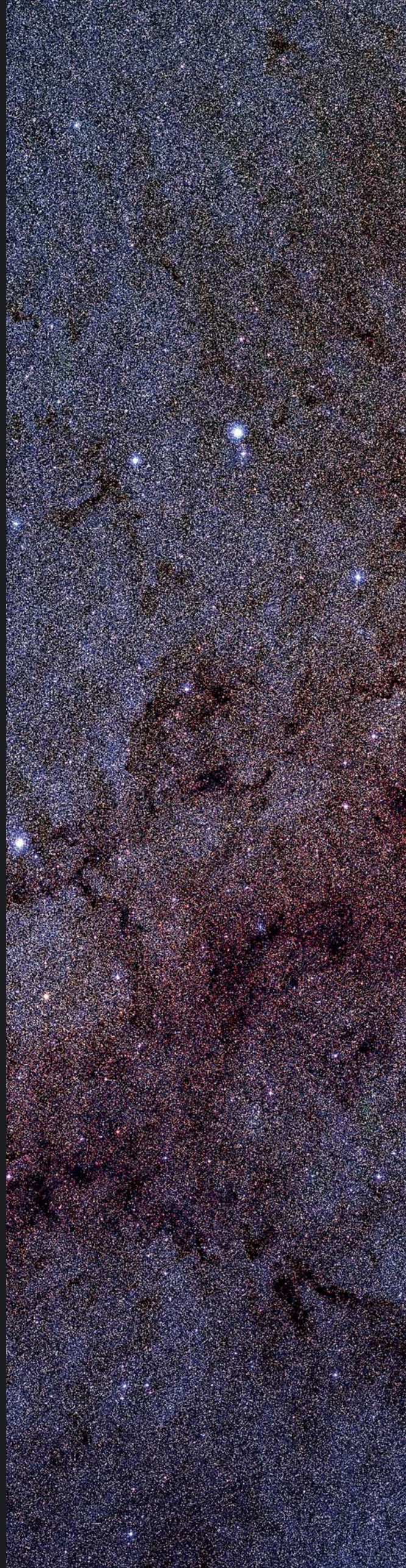
Возможно, будь я лучше подкована в математике, мне было бы легче освоиться в межзвездном мире. А ведь меня едва ли можно назвать полной тупицей в этой области. Я хорошо считаю в уме, алгебра, геометрия, тригонометрия и матанализ давались мне без усилий. Но все это не помогает мне освоиться с астрономическими величинами — скажем, с тем чтобы вообразить стомиллиардное звездное население Млечного Пути или два миллиона световых лет расстояния до туманности Андромеды (а это, между прочим, больше двенадцати миллионов триллионов миль — но от этого ничуть не легче). В моей работе мне регулярно случается встречаться с астрономами, которые с легкостью жонглируют такими цифрами, нанизывая одну степень десятки на другую. Я никогда не скрываю, как сильно я им завидую.

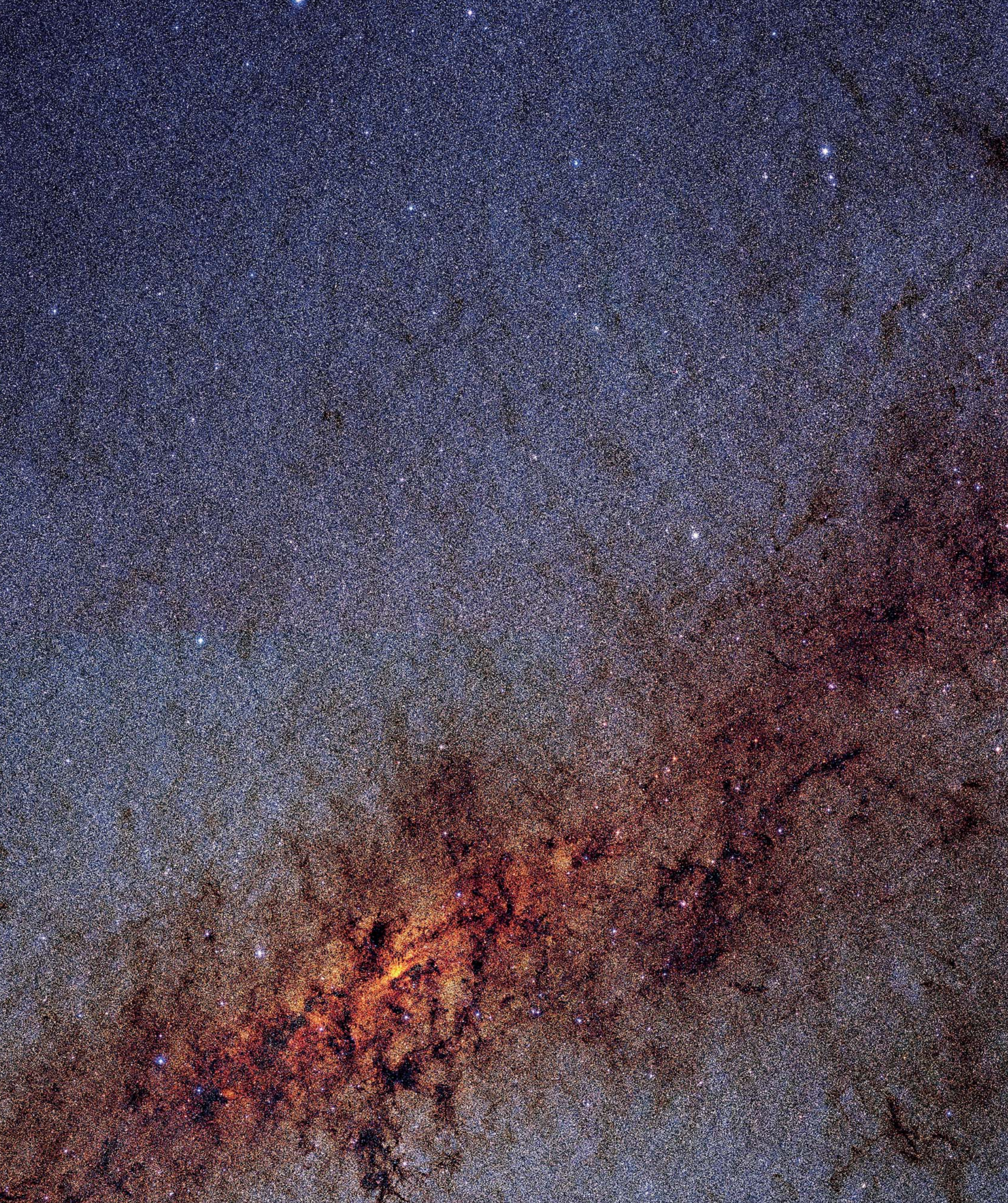
С другой стороны, мне приходится встречаться и с людьми, которые доверительно сообщают мне, как им становится страшно, когда они думают о космосе, — настолько страшно, что они предпочли бы о нем вообще не думать. Когда я в первый раз услышала такое признание, я подумала, не может ли страх перед космосом быть неким новым болезненным синдромом, травматическим воздействием новостей науки. В конце концов, для многих апокалиптическая угроза столкновения с астероидом стала казаться столь же реальной, как угроза террористической атаки, а о том, что Солнце истощит свое ядерное горючее, некоторые сокрушаются как о неизбежной предстоящей им катастрофе. Но в результате я убедилась, что страх космоса, как страх темноты, — первобытный, иррациональный. Еще в древности он легко мог появиться, просто когда человек оказывался ночью под звездным небом и остро осознавал свою малость под его гигантским шатром.

На протяжении последних пятисот лет каждое крупное открытие в астрономии делало Землю все меньше и меньше по мере того, как осознавались все большие и большие размеры Вселенной. А ведь каждый раз, когда твоя родная планета уменьшается, соразмерно сокращается и представление о человеческой значимости. Этот затянувшийся урок смирения теперь, похоже, достиг кульминации: ведь астрономы обнаружили, что вся видимая Вселенная составляет лишь малую часть реального мира. Другими словами, все, что мы видим в нашем мире, как внутри нашей Галактики, так и во всех отдаленных галактиках, обнаруживаемых самыми дальнозоркими космическими телескопами, — все это лишь нечто вроде пены на каком-то таинственном основании. Доминирующие компоненты Вселенной, прозванные «темной материей» и «темной энергией», таятся повсюду, они окружают нас со всех сторон, но по-прежнему остаются ненаблюдаемыми и непонятными.

Вам могло бы показаться, что вот тут-то, на размытой границе между темной материей и темной энергией, люди вроде меня, с их ограниченным воображением и провалами в интеллекте, и должны окончательно признать свое поражение. Совсем наоборот — я чувствую себя в космосе как дома, как на чудесном лугу, заросшем прекрасными цветами. Пульсары и магнетары, квазары, блазары и другие экзотические растения вокруг меня объединены одной и той же раскинувшейся во все стороны безграничной средой, а может быть, и одним и тем же источником. Ведь и моя собственная родословная восходит от моих родителей и прародителей к предшествовавшим формам жизни, и дальше, через поколения звезд, к рассеянным в пространстве остаткам взрывов сверхновых, к связывающей все на свете силе тяготения. В конечном счете я просто хочу сказать, что трудности в осмыслении Вселенной не должны лишать человека радости ощущать свою принадлежность к ней.

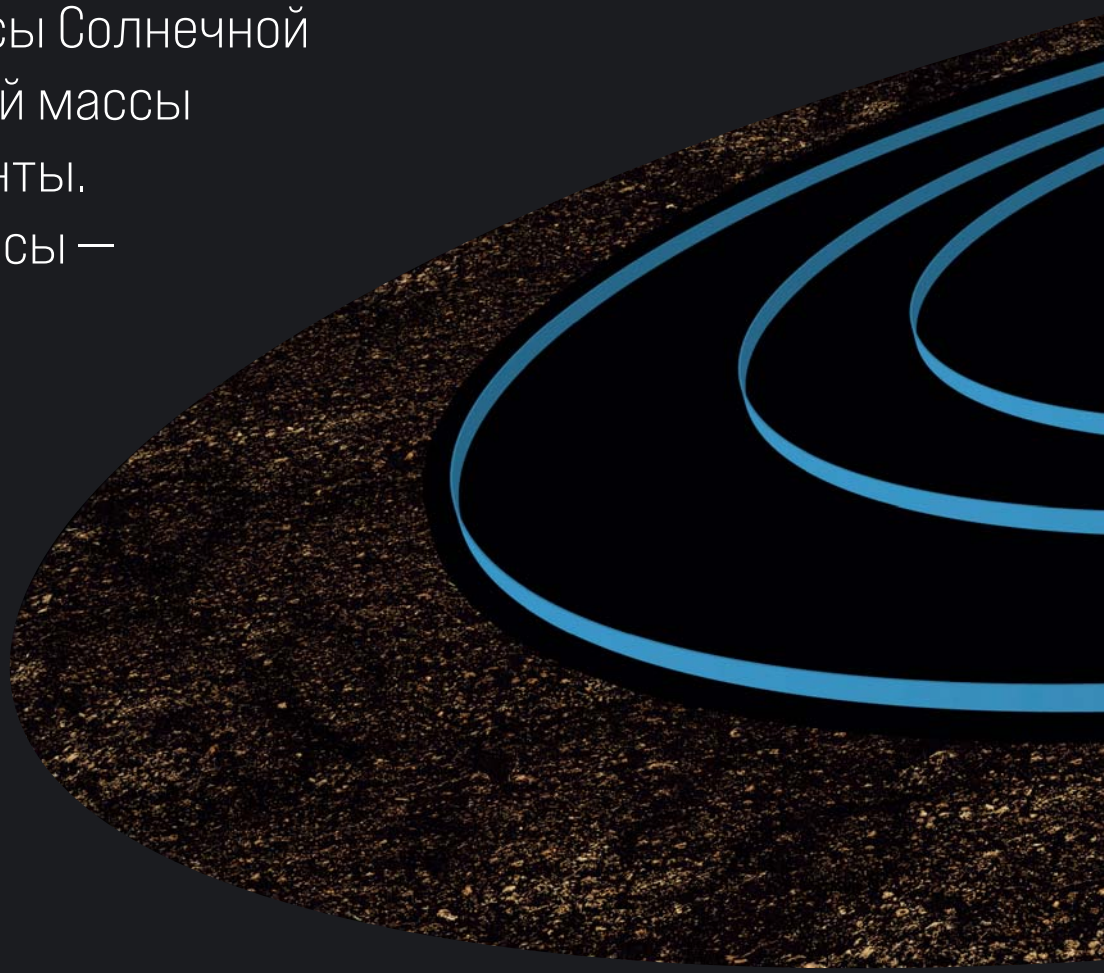
Даже у темной материи и темной энергии, этих пресловутых страшилищ, таящихся в космической тьме, есть своя светлая, манящая сторона. Сама простота этих названий, кажется, противостоит гигантскому масштабу тайны, окружающей их природу. Подобно тому, как в первые дни библейского космоса «был Вечер, и было Утро», подобно «Большому взрыву» и «Большому холоду», современным техническим терминам, обозначающим способ рождения Вселенной и наиболее вероятный сценарий ее смерти, слова «темная материя» и «темная энергия» звучат в космосе призывным свистом, называя ненаблюдаемое и обозначая человеческое присутствие в поистине безграничном мире.





Внутренние планеты

Солнце содержит 99,86 процентов массы Солнечной системы. Более 90 процентов остальной массы приходится на планеты — газовые гиганты. Оставшаяся крохотная доля общей массы — это еще четыре очень разные планеты.



Солнечная система четко делится на три основные области. Во внутренней зоне, в центре которой находится и само Солнце, вокруг него обращаются относительно маленькие каменные планеты земного типа. За ней начинается мир гигантских планет — огромных газовых шаров, каждый со своей миниатюрной «Солнечной системой» спутников. И еще дальше лежит внешняя зона — безбрежное пустое пространство, в котором рассыпаны большие и малые ледяные миры.

Земля — третья от Солнца планета, самая крупная из планет земного типа. Наш космический дом совершает оборот вокруг Солнца за 365,25 дня — мы называем этот промежуток времени годом. Как и все планеты, Земля одновременно вращается и вокруг своей оси — поэтому, если смотреть с земной поверхности, Солнце движется по небу и освещает различные части планеты. Земля находится от Солнца на расстоянии примерно 150 000 000 км — чуть ближе в январе, чуть дальше в июле. Наша планета единственная из внутренних планет имеет большой естественный спутник — Луну.

Приближаясь к Солнцу, мы сначала увидим Венеру — планету почти такого же размера, как Земля. Год на ней длится 225 земных дней, а оборот вокруг оси — 243. При ее среднем расстоянии от Солнца в 108 000 000 км относительно небольшие различия между Землей и Венерой за время их развития привели к поразительно разным результатам, и теперь у Венеры с Землей нет почти никакого сходства.

Еще ближе к Солнцу Меркурий. Это самая маленькая из планет (меньше нее только Плутон, находящийся на противоположном краю Солнечной системы и переведенный в категорию карликовых планет). Меркурию хорошо подходит его имя «гонца богов» — он обращается вокруг Солнца всего за 88 дней. Его поверхность выжжена палящим солнечным светом, под которым он медленно оборачивается вокруг оси за каждые 58,67 земных дня. За меркурианский год планета совершает вокруг оси ровно три оборота.

Орбита Меркурия довольно необычна. Она вытянута в эллипс, в то время как у большинства планет орбиты почти круговые. В точке наибольшего сближения с Солнцем — перигелии, Меркурий находится от него на расстоянии всего в 46 000 000 км, а в самой далекой точке орбиты, афелии — уже в 70 000 000 км. Кроме того, орбита Меркурия на целых семь градусов наклонена к главной плоскости Солнечной системы, вблизи которой лежит большинство планетных орбит.

Если же лететь с Земли не к Солнцу, а от него, там лежит Марс. По размерам он между Меркурием и Венерой. Из всех планет он больше всего похож на Землю. Его орбита тоже эллиптическая — расстояние Марса от Солнца меняется от 207 000 000 км в перигелии до 249 000 000 в афелии. Полный оборот вокруг Солнца он совершает за 687 земных дней, но период осевого вращения у него — 24 часа 38 минут, и ось вращения наклонена к плоскости орбиты примерно под тем же углом, что и у Земли. Поэтому на Марсе примерно такая же, как на Земле, долгота дня и смена времен года.

Внутреннюю область Солнечной системы окружает кольцом каменная гряда — лежащий между Марсом и Юпитером пояс астероидов, малых каменных миров. У крупнейших астероидов поперечник около 1 000 км, но большинство их гораздо меньше. Не все они обречены находиться внутри пояса астероидов — у многих вытянутые эллиптические орбиты, которые иногда приводят их в окрестности Земли, а то и еще ближе к Солнцу. Для астероидов, подлетающих близко к Земле, существует специальное название «околоземные астероиды» или «астероиды, сближающиеся с Землей» (АСЗ).

Образование каменных планет

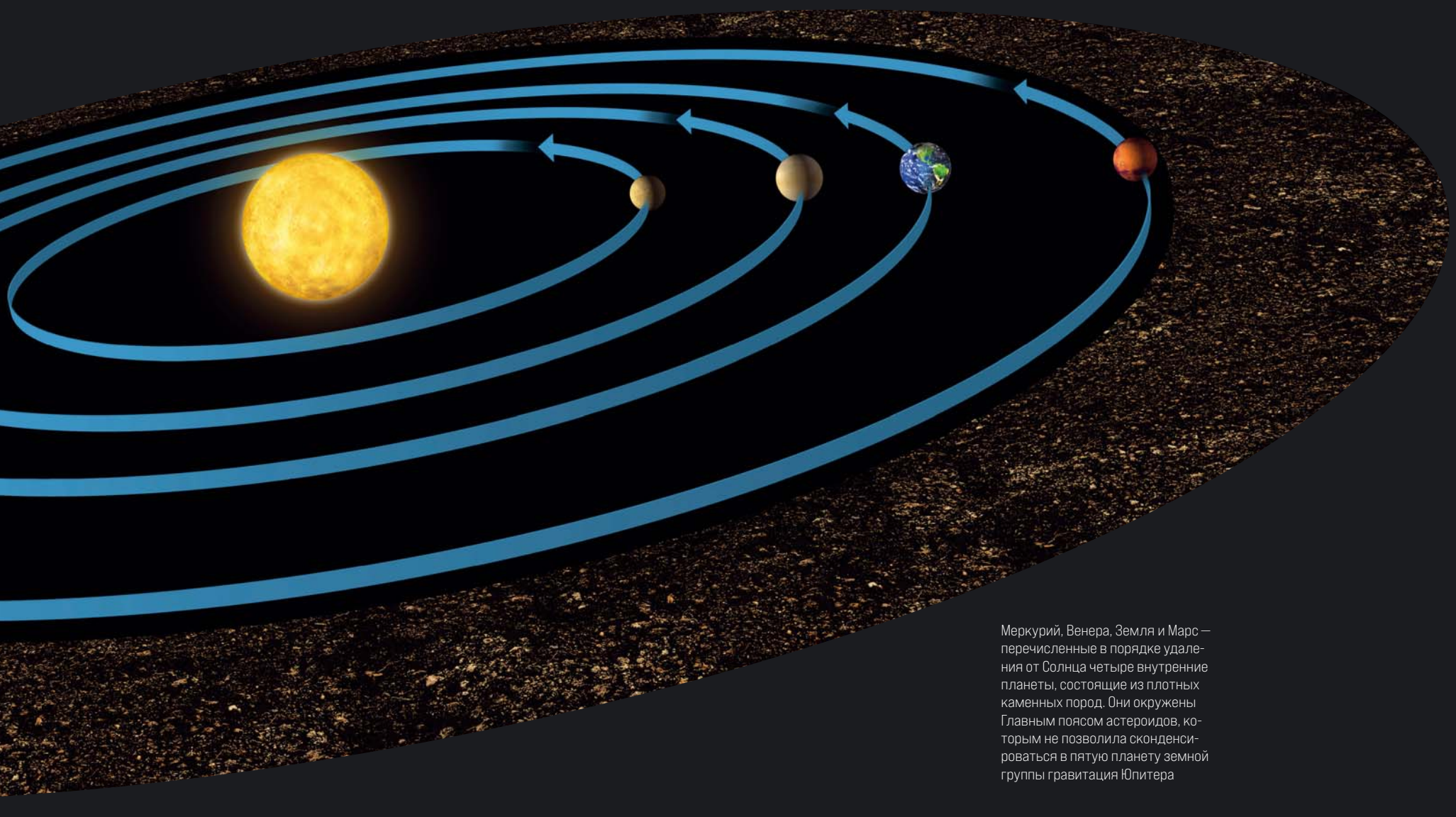
Каждая из планет земной группы уникальна, у каждой есть черты, которых мы больше нигде в Солнечной системе не встречаем. Однако, сравнивая их друг с другом, мы можем сделать кое-какие выводы об их геологической истории. В эпоху после образования Солнца температура в этой области Солнечной системы была высокой. Устоять могли только тугоплавкие вещества, а летучие льды, состоящие из воды и других химических соединений, должны были превратиться в пар и смешаться с газом, оставшимся вокруг Солнца после его образования. Этот газ в конце концов либо притягивался к Солнцу могучей силой его гравитации, либо, что было более вероятно, разлетался в разные стороны под влиянием мощного солнечного ветра.

А жароустойчивые частицы, обращавшиеся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам с различными наклонениями, должны были образовать вокруг него кольцо в форме неровного блика. Столкновения между частицами были очень частыми, и частицы постепенно сбивались в кучки. За десятки миллионов лет таким путем сформировались первые планетезимали — объекты, достаточно большие для того, чтобы обладать заметной силой притяжения. Они стягивали к себе все больше вещества, быстро росли и приобретали размеры малых планет. Вероятно, несколько десятков планетезималей сумело преодолеть стадию быстрого роста, не развалившись на части и сделавшись планетоидами — телами, сила гравитации которых была уже такой большой, что они приобрели примерно сферическую форму.

В течение следующих нескольких миллионов лет большинство планетоидов, сливаясь друг с другом, образовало те самые планеты, которые мы видим сегодня. Пара последних крупных столкновений такого рода оставила во внутренней Солнечной системе — для тех, кто знает, куда смотреть — свои знаки. Одно из них оторвало от Меркурия большое количество легких веществ; второе породило нашу Луну.

Примерно 4,55 миллиарда лет назад внутренние планеты уже выглядели очень похожими на те, какими мы их знаем. Однако, внутренняя Солнечная система была все еще заполнена обломками, оставшимися после их образования. Еще больше вещества выбрасывалось в направлении Солнца при событиях во внешней Солнечной системе (см. стр. 52 и 88). Несколько сот миллионов лет на поверхности планет постоянно выпадал каменный дождь; кульминацией этой эпохи стал относительно краткий период, получивший название «Поздней тяжелой бомбардировки» — в беззащитную поверхность планет врезались крупные астероиды, вызывая катаклизмы планетарного масштаба. К этому периоду относятся все большие ударные кратеры на Луне — они образовались на протяжении нескольких десятков миллионов лет около 3,9 миллиарда лет назад.

В результате формирования внутренних планет в недрах каждой из них образовался источник внутренней энергии, которая определяла геологическую активность на их поверхности. Вначале этой энергией было просто тепло, порожденное бесчисленными столкновениями в процессе формирования планет. Но это тепло накапливалось и соединялось с энергией радиоактивного распада веществ в глубине каменных недр планеты. И в том, и в другом случае ясно, что чем больше планета, тем более мощный и длительно действующий источник энергии таится



Меркурий, Венера, Земля и Марс — перечисленные в порядке удаления от Солнца четыре внутренние планеты, состоящие из плотных каменных пород. Они окружены Главным поясом астероидов, которым не позволила сконденсироваться в пятую планету земной группы гравитация Юпитера

в ее глубинах. Размер дает еще одно преимущество: большая планета имеет относительно меньшую площадь поверхности, через которую происходит утечка тепла.

Все это помогает объяснить различную активность, которую мы наблюдаем сегодня у разных планет. Наибольшую геологическую активность различного вида проявляет Земля, за ней идет Венера (хотя на ней, эти процессы идут как будто рывками); несколько менее активен Марс. И Меркурий, и Луна давно уже растеряли большую часть своего внутреннего тепла и остаются геологически неактивными на протяжении миллиардов лет; на рельеф их поверхностей оказывали влияние только постоянные метеоритные удары.

Малые миры

Кроме пяти главных тел внутренней Солнечной системы (четырех планет земной группы и Луны), наша область пространства наполнена множеством объектов меньших размеров. Самые значительные среди них — астероиды, орбиты большинства которых лежат в поясе астероидов между Марсом и Юпитером. Они отмечают границу внутренней Солнечной системы — зону, в которой гравитация близлежащего Юпитера достаточно сильна, чтобы помешать формированию любой мало-мальски крупной планеты. Даже если бы можно было собрать все астероиды вместе, их суммарная масса оказалась бы гораздо меньше массы Меркурия, так что старая идея, что астероиды являются остатками разрушенной пятой планеты, не очень правдоподобна. Считается, что большинство астероидов со времени своего образования изменилось очень мало — даже у крупнейших из них, обладающих достаточной гравитацией, чтобы выглядеть приблизительно круглыми, на поверхности не заметно признаков геологической активности. Исключения из этого правила — Веста и горсточка астероидов, по-видимому, связанных с ней. Этот носящий следы бесчисленных ударов мир покрыт чем-то вроде застывшей магмы.

Хотя астероиды разделены огромными пространствами, в астрономической шкале времени сближения и даже столкновения между ними неизбежны. Иногда в результате таких столкновений астероид разлетается на куски, которые постепенно рассеиваются вокруг первоначальной орбиты. В других случаях взаимодействие между астероидами и без столкновения может выдавить астероид на новую орбиту. Точно такое же влияние оказывают и тесные сближения с Юпитером — астероиды выбрасываются из пояса на новые пути. За миллиарды лет эти механизмы оказались столь эффективными, что в поясе астероидов на определенных расстояниях от Солнца образовались отчетливые просветы — «люки Кирквуда», отмечающие положения орбит, на которых астероиды регулярно тесно сближаются с Юпитером.

Некоторые «беглецы» из пояса астероидов рассеиваются по внутренней Солнечной системе и пополняют группу астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Об этой группе малых планет мы, наверное, знаем больше всего. Если уж астероид выброшен на эллиптическую орбиту, которая приводит его в окрестности главных планет земной группы, шансы на то, что орбита этого астероида испытает дальнейшие гравитационные искажения под их воздействием, резко возрастают. В результате образовались три основные группы АСЗ, каждая из которых названа по имени первого открытого члена «семейства».

Астероиды группы Аполлона («аполлоны») подходят к Солнцу ближе, чем сама Земля, хотя в наиболее удаленной от Солнца точке своей орбиты (афелии) они снова оказываются в Главном поясе астероидов, откуда и произошли.

«Амуры» (астероиды группы Амура) дальше от Солнца, чем «аполлоны». Часть времени они проводят между Марсом и Солнцем, но с Землей тесно не сближаются, а в афелии тоже возвращаются в Главный пояс.

Пересекающие орбиту Земли астероиды группы Атона полностью расстались с Главным поясом. На определенной стадии своей жизни они должны были принадлежать к семейству «аполлонов», но тесные сближения с Землей заставили их перейти на гораздо более вытянутые орбиты. Теперь «атоны» пересекают земную орбиту только близ афелия, а большую часть времени проводят ближе к Солнцу.

Хотя у многих из астероидов семейства Аполлона орбиты пересекают земную, лишь несколько из открытых на сегодня «аполлонов» могли бы реально угрожать нашей планете. Орбиты большинства из них заметно наклонены к плоскости орбит главных внутренних планет; у многих в результате возмущений периоды обращения стали такими, при которых они ни с одной планетой не сближаются. И все же, в космической шкале времени такие сближения и даже столкновения неизбежны — и наш земной мир, и другие миры носят следы этих катастроф, которые проявляются на физическом, а на Земле еще и на эволюционном и палеонтологическом уровне.

Впрочем, и на более коротких временных масштабах малые столкновения случаются почти постоянно. Межпланетное пространство никак не назовешь пустым — оно заполнено мелкими камнями и пылевыми частицами. Многие из этих камней — это обломки разрушенных астероидов, а большая часть пыли оставлена кометами во время их визитов из внешней части Солнечной системы. Все это вещество, как правило, не находится на круговой орбите вокруг Солнца, поэтому большие планеты постоянно на него натыкаются. Большая часть выпадающей на Землю космической пыли сгорает в атмосфере в виде метеоров, но каменные осколки могут перенести нагрев, испытываемый ими при полете сквозь земную атмосферу, и долететь до поверхности в виде метеоритов — ценных образцов первобытной материи, по всей видимости, оставшихся неизменными с ранних дней существования Солнечной системы. Атмосфера Венеры, более плотная, чем земная, оказывается еще более труднопроходимым барьером — сквозь него могут проникнуть только самые крупные метеориты. Даже тонкая воздушная прослойка над поверхностью Марса дает ему какую-то защиту. Остальные два мира внутренней Солнечной системы — Луна и Меркурий — не имеют никакой атмосферы. Ничто не спасает их от бомбардировки. Ни эрозия, ни тектонические процессы не сглаживают их изрезанной кратерами поверхности, глядя на которую мы можем наглядно представить себе, какое огромное количество метеоритов на нее обрушилось.

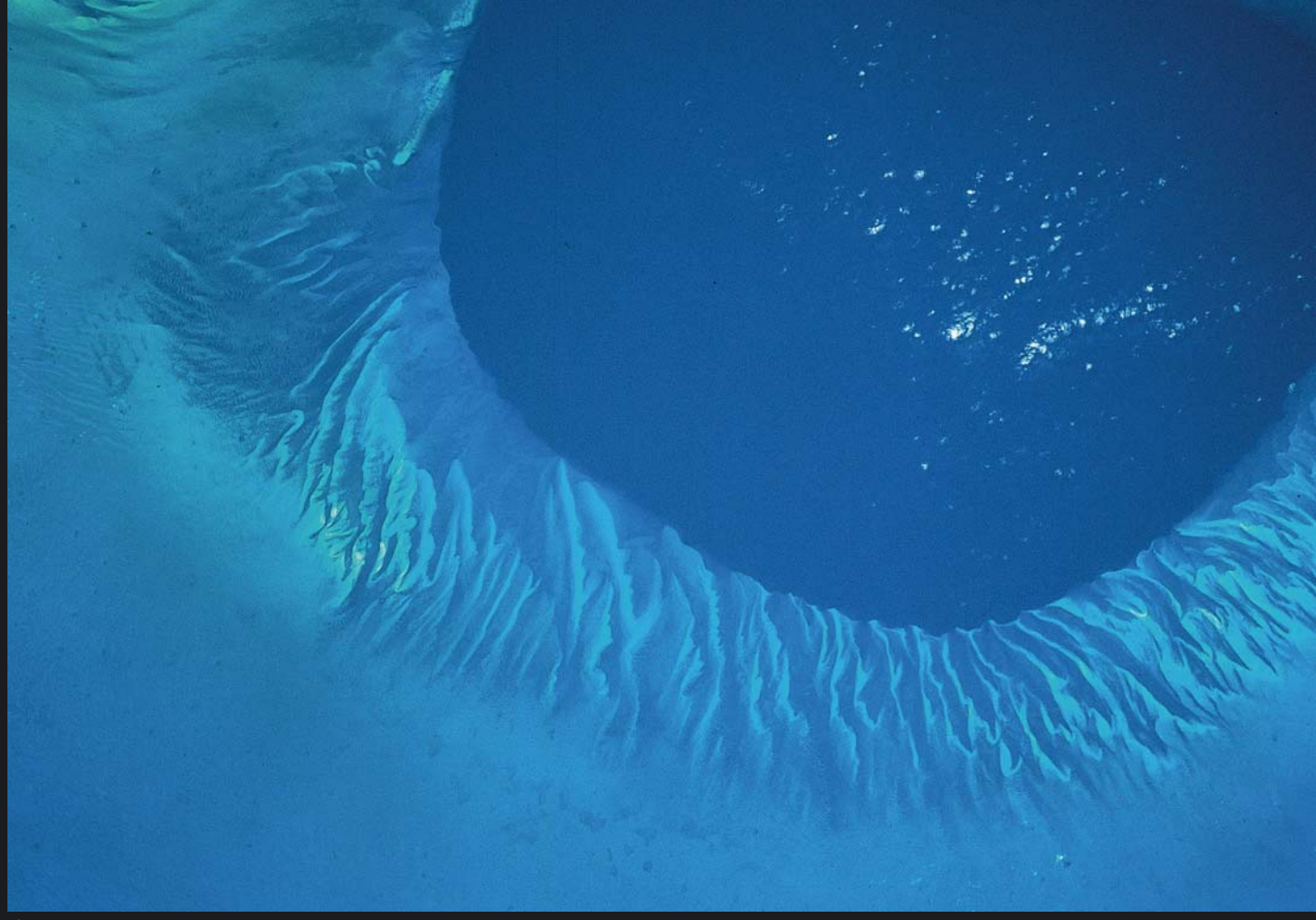
Земля

Главные цвета Земли — голубой, зеленый и белый. У нашей планеты активная геология, гигантские океаны и буйное разнообразие жизни.

Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
0	12 756	1	24	365	0	23,45	15	1
световых минут	км	масса Земли	часа	дней	градусов	градуса	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)

Земная кора глубиной в несколько десятков километров состоит в основном из силикатных (кремниевых) пород. Под ней залегает мантия из твердых, но подвижных каменных пород, еще ниже — железо-никелевое ядро, расплавленное снаружи, но твердое внутри.

[1]



[2]

[4]

[3]

[1] Вблизи Голубая планета выглядит разноцветной. До 20 процентов ее суши покрыто пустынями. Эти пейзажи могут показаться вечными, но всего 5000 лет назад оазис Теркези в Чаде был покрыт плодородными лугами

[2] Вода покрывает две трети поверхности Земли. Если бы исчезли континенты, океан покрывал бы планету слоем воды глубиной 2500 м. На фото — «Язык океана», глубокая и обрывистая подводная впадина, надвое рассекающая мелководные моря вокруг Багамских островов

[3] Где текут воды, обычно цветет и жизнь. Вокруг великой реки Конго находится четверть всех тропических лесов земного шара. По объему воды, которую она переносит, Конго уступает только Амазонке

[4] Вода и лед определяют рельеф поверхности на планете Земля, украшая ее причудливой резьбой. На крайнем северо-востоке Сибири почва промерзает на сотни метров в глубину, но, когда на короткое время сюда возвращается лето, здесь снова текут реки, покрывая землю абстрактными узорами

Наша материнская планета — удивительное место. Она возникла как ничем не примечательный каменный шар, обращающийся вокруг вполне заурядной звезды, но стечение целой серии счастливых совпадений превратило ее в гостеприимный, постоянно развивающийся мир, полный разнообразных пейзажей и населенный множеством обитателей.

Земля — крупнейшая из внутренних планет Солнечной системы и единственная из них, обладающая крупным спутником. Последнее обстоятельство — одна из нескольких уникальных особенностей, которые, как мы увидим, могли в прошлом защитить нашу планету от самых страшных угроз из космоса. За 23 часа 56 минут Земля совершает один оборот вокруг своей оси, положение которой определяет северный и южный географические полюса нашей планеты. Земля обращается вокруг Солнца по почти круговой орбите на среднем расстоянии от него в 150 миллионов километров (93 миллиона миль) и за 365,25 дня совершает полный оборот.

Как и у многих других планет, ось вращения Земли наклонена к плоскости ее орбиты. Вместо того, чтобы при обходе вокруг Солнца сохранять вертикальное положение, ось нашей планеты отклоняется от вертикали на угол 23,5 градуса. Этот наклон сохраняет неизменное направление в пространстве независимо от того, в какой точке своей околосолнечной орбиты находится Земля. Поэтому на протяжении года различные области планеты получают разное количество солнечного света. Этим объясняется смена времен года: в июне Северный полюс Земли обращен к Солнцу и Северное полушарие освещается более щедро (мы называем это летом), а Южному полушарию в это время достается меньше света — там зима. Спустя шесть месяцев, в декабре, наблюдается обратная ситуация.

Большая часть земной поверхности покрыта водой — температурные условия на Земле позволяют ей существовать в жидком состоянии, а атмосфера не дает испаряться и рассеиваться в космическом пространстве. Океаны покрывают две трети поверхности планеты. Вокруг полюсов, в областях, которые по нескольку месяцев в году скрыты от солнечного света, образовались полярные шапки — северная плавает на поверхности холодного океана, а южная покрывает обледеневший континент.

Выступающие из волн континенты и острова — всего лишь самые высокие части покрывающей весь земной шар коры. Толщина коры под океанским дном составляет всего несколько километров, но в древних «кратонах» — платформах, на которых стоят континенты, — она уходит вглубь планеты на десятки километров. Земная кора медленно, но неуклонно меняет свою форму и распределение масс под воздействием процесса, называемого тектоникой плит (см. стр. 14). В то время, как тектонические процессы ведут к образованию новых участков суши и возникновению горных цепей, ветер, дожди и жара безжалостно стирают их с лица Земли, постепенно превращая в песок даже высочайшие горные массивы.

Главные силы, формирующие облик нашей планеты, соответствуют четырем «элементам», или первичным стихиям, древних: тектоника представляет силы земли и огня, эрозия — воздуха и воды. Но в этом уравнении есть и еще один важнейший элемент — жизнь. Развитие сложных форм жизни отличает нашу планету от всех остальных миров Солнечной системы. За почти четыре миллиарда лет жизнь стала неразрывно связана с остальными механизмами, определяющими строение нашего мира. Ученые, исследующие окружающую среду, уподобляют нашу планету единому гигантскому саморегулирующемуся организму, в котором переплетаются биологические и геологические процессы, и в такой точке зрения есть глубокий смысл.

[1]

[2]

[1] Анды — величайший в мире вулканический горный массив, возникший в результате бурных тектонических процессов, которые бушуют в километрах под ним и вызваны тем, что литосферную плиту Наска (восточный участок дна Тихого океана) подминает под себя Южноамериканская плита. На этом инфракрасном снимке спутника — вулканическая область Пампа Лукзар в Боливии.

[2] Мауна Лоа — действующий вулкан в Гавайской вулканической цепи, возвышающийся на 8 км (5 миль) над уровнем морского дна. Эти вулканы не отмечают границу тектонического сдвига — они расположены в тех точках тихоокеанского бассейна, где «горячее пятно» в мантии Земли прожгло земную кору. В ходе происходящего на протяжении миллионов лет дрейфа плиты, расположенной над этим горячим пятном, одни вулканы один за другим затихают, а на смену им появляются новые.

[на соседней странице] Каждый горный массив хранит память о геологической истории Земли: хребет Анти-Атлас в Марокко когда-то находился на дне древнего океана Тетис, пока при столкновении Африки с Евразией из донных осадочных пород не поднялись горные пики.

Тектоника

Земля отличается от других планет — ее соседок по Солнечной системе, и одно из самых важных отличий лежит в области геологии. Наша планета — единственная из внутренних планет, в недрах которой существует развитая система тектонических плит. Тектоника плит — сила, которая поддерживает континенты Земли в непрерывном движении и постоянно обновляет земную кору.

Кора разделена на семь основных плит поперечником в несколько тысяч километров; кроме них, есть еще много плит меньших размеров. Толщина плит варьирует от всего нескольких миль под океанским дном, до примерно 110 км (70 миль) под континентами, причем самые высокие области земной поверхности имеют и самые глубокие «корни» в земной коре, напоминая айсберги с их подводной частью. Под корой на большой глубине располагается мантия, в которой частично расплавленные каменные породы постоянно перемешиваются, образуя гигантские конвекционные потоки, переносящие тепло из недр Земли к ее поверхности. На границе между мантией и корой имеется тонкий и гораздо более текучий слой, называемый астеносферой. На его поверхности и плавают плиты, уносимые в разных направлениях конвективными потоками из лежащей под ними мантии.

Когда плиты сталкиваются, возможно несколько сценариев их дальнейшего движения. Если они будут дрейфовать прочь друг от друга, между ними образуется разрыв, через который поднимется расплавленная магма и образует новый участок коры. Так появляются рифтовые долины и ущелья — такие, например, как долина, пересекающая Восточную Африку, — и глубоководные вулканические горные цепи, такие, как Срединно-Атлантический хребет.

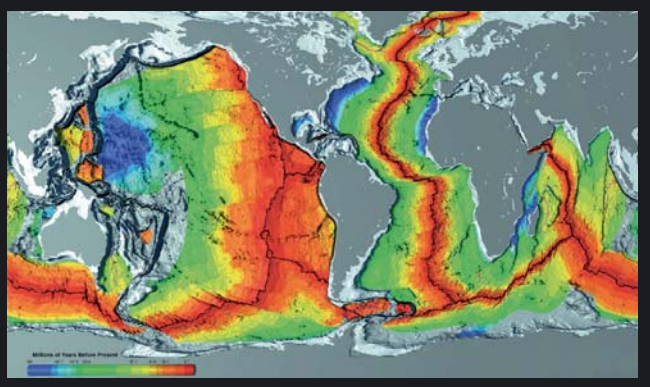
Там, где плиты движутся друг мимо друга по касательной, они формируют зоны землетрясений. Такие плиты могут и уткнуться друг в друга, долго оставаясь неподвижными, а потом внезапно начать скользить вперед. В этом случае последствия бывают катастрофическими. Вероятно, наиболее известным примером такого стыка плит является разлом Сант-Андреас в Калифорнии.

Наконец, когда плиты движутся друг другу «в лоб», какая-то из них должна уступить. Если встречаются океанская и континентальная плиты, подается обычно тонкая океанская плита. Часто случается, что континентальная плита ее подминает — это называется субдукцией. При этом плиты плавятся и в верхней мантии выделяется огромное количество тепла, которое, поднимаясь, может привести к образованию вулканической горной цепи или дуги, такой, как Тихоокеанское огненное кольцо.

К еще более эффектным результатам приводит столкновение двух континентальных плит. Одна из них обычно взгромождается на другую, вследствие чего образуется гигантская зона деформации и между сталкивающимися плитами вырастают горные цепи. Именно такое столкновение между индийским субконтинентом и плитой азиатского материка привело к образованию самой крупной сейчас горной структуры мира — Гималаев.

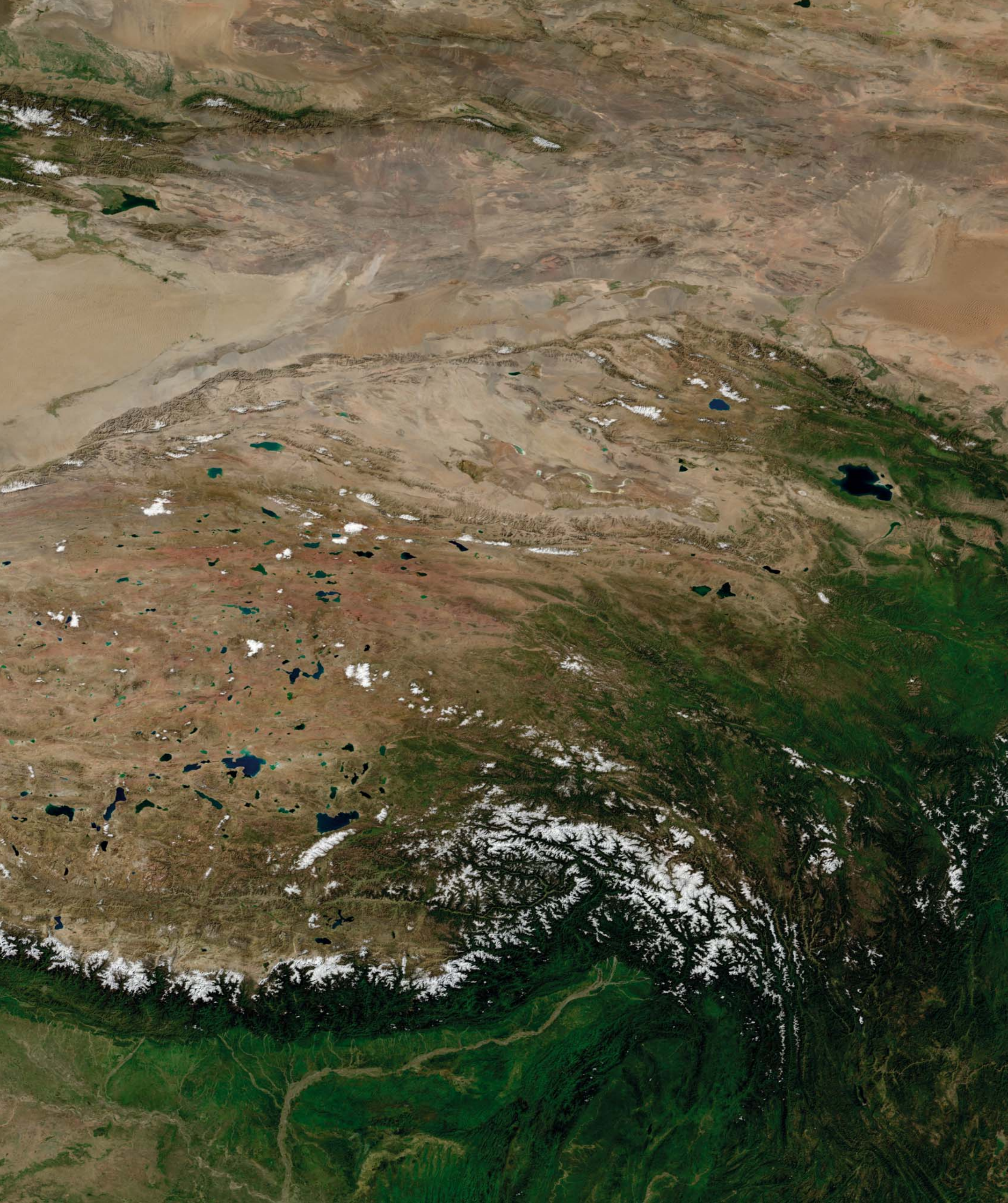
Хотя тектоника приводит к образованию гор, постоянно действуют и процессы эрозии, стирающие эти горы в порошок. 300 миллионов лет назад Аппалачский хребет на северо-востоке Соединенных Штатов был Гималаями палеозойского мира — теперь от них осталась лишь тень былого величия.

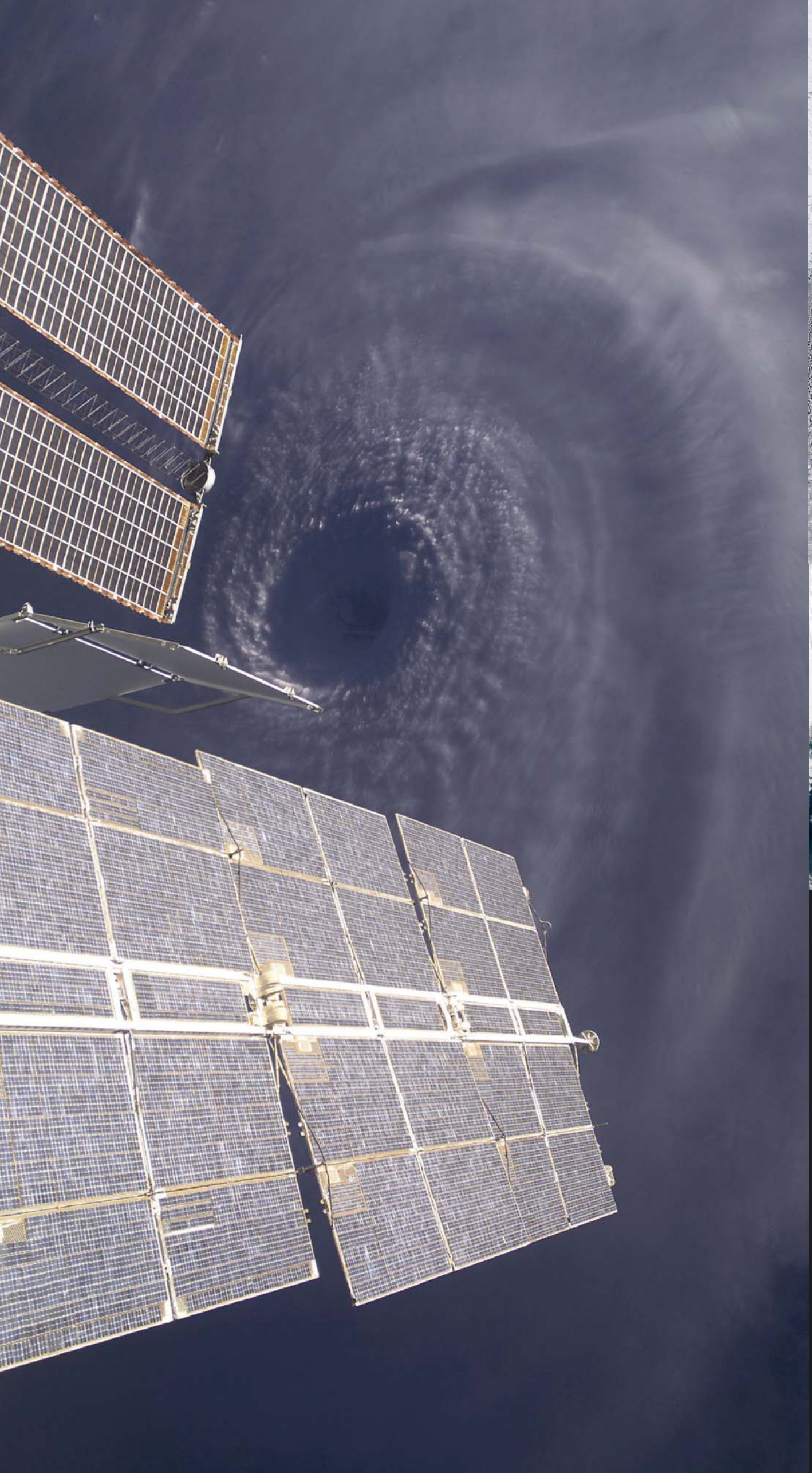
Откуда же у Земли могучая тектоническая система, которой нет у соседних планет? Отчасти ответ может быть связан с размерами нашей планеты — как у крупнейшей планеты земной группы, у нее самые горячие недра и больше тектонической энергии. Однако воде тоже может принадлежать ключевая роль. Когда при наползании одной плиты на другую вода попадает в верхнюю мантию, она, возможно, обеспечивает «смазку» астеносферы, в то время как способность процессов выветривания изменять плотность каменных пород может предотвращать сцепление континентов друг с другом и их стагнацию.



• Идея дрейфа континентов была предложена немецким ученым Альфредом Вегенером в начале 1900-х. Он обратил внимание на бросающееся в глаза сходство береговых линий на противоположных сторонах Атлантического океана и на сходство некоторых окаменелостей, найденных в удаленных друг от друга частях света. Однако во времена Вегенера еще не был известен геологический механизм движения континентов, поэтому его предположение осталось без внимания, а порой над ним открыто издевались. Только в 1950-х геологи начали открывать пересекающие на большой глубине океанское дно магнитные «полосы», которые, во-первых, свидетельствовали о том, что в горных хребтах в глубине океанов постоянно образуется новая кора, во-вторых, представляли собой сохранившуюся «запись» магнитного поля Земли в процессе ее затвердевания. Эти открытия привели к возрождению идей Вегенера в виде модифицированной теории «тектоники плит», которая быстро доказала свою правильность, объяснив много геологических загадок.

Гималаи — величайшая горная цепь на Земле. Горный массив длиной 3000 км образовался при столкновении Индии с Евразией, которое началось около 100 миллионов лет назад и продолжается по сей день: каждый год Гималаи становятся выше примерно на 5 мм





[2]
[3]

[1] Международная космическая станция пролетает над «глазом» урагана Иван в Карибском море. Этот ураган, разразившийся в сентябре 2004 года, был одним из сильнейших за всю историю наблюдений: скорость ветра в нем превосходила 260 км/ч

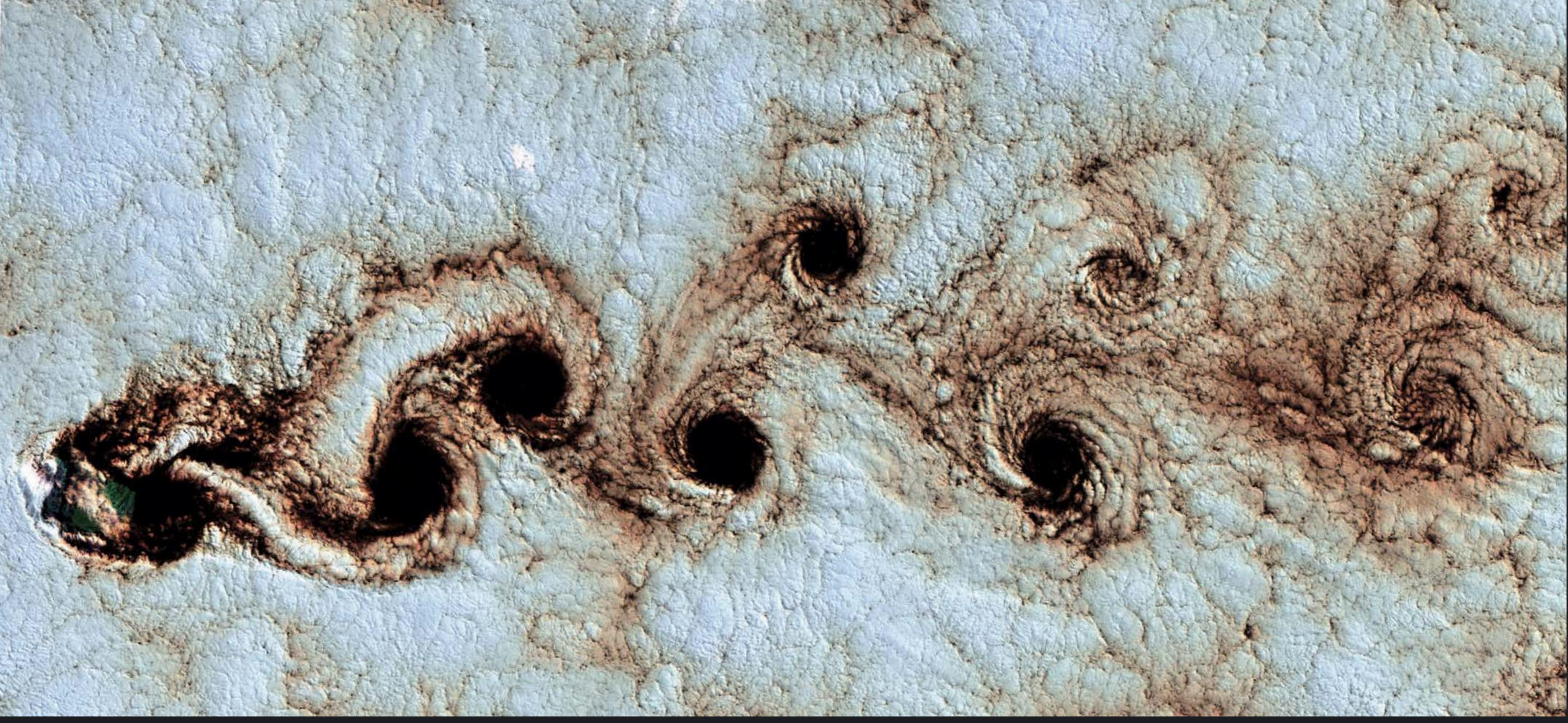
[2] Холодные приземные ветры, дующие с арктического ледяного щита, выкачивают из Гренландского моря тепло и влагу, выстраивая кучевые облака в параллельные ряды

[3] Когда облачность втягивается в область пониженного давления, она под влиянием обусловленной вращением Земли силы Кориолиса приобретает спиральную структуру. В Северном полушарии, как видно на этом снимке атмосферного фронта над Исландией, спираль закручена против часовой стрелки и образует антициклон. В Южном полушарии спирали циклонов закручены по часовой стрелке

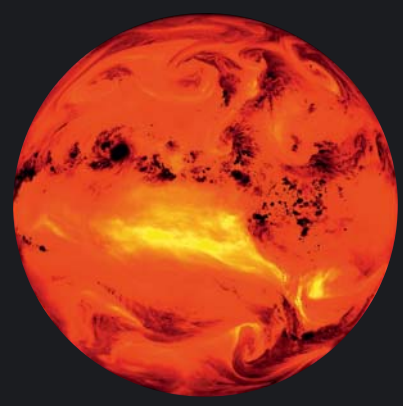
[4] Сложные взаимоотношения между погодой и земной поверхностью демонстрируются на примере острова Александра Селькирка в южной части Тихого океана. Когда облачные фронты проходят над этим маленьким, но гористым островом, они разрываются, а затем снова смыкаются, образуя ряды вихрей сложной структуры — так называемые вихревые дорожки Кармана

[5] Атмосфера Земли буквально кипит энергией. Даже самое легкое облачко связано с каскадом конвекционных потоков: нагреваемые Солнцем сгущения водяного пара поднимаются, охлаждаются, конденсируются и снова падают. Инфракрасные снимки выявляют такие потоки в глобальном масштабе: они окружают кольцом всю планету, перераспределяя тепло от экватора к полюсу, перемешивая высотные струйные течения и направляя течения в океане

[1]



[4]



[5]

Воздух и вода

В то время как большая часть нашей планеты состоит из каменных пород, подобных тем, из которых состоят и другие внутренние планеты, снаружи земной шар окружен уникальным тонким слоем воды и газа — гидросферой и атмосферой. Они формируют окружающую среду на нашей планете в той же степени, что и тектонические силы.

Атмосфера Земли и вода на ней могут существовать только благодаря уникальному положению нашей планеты. Мы живем в «зоне Златовласки» — на устойчивой круговой орбите вокруг спокойной и долгоживущей звезды. Умеренная частота вращения не дает ни одной стороне планеты ни слишком разогреться, ни чересчур замерзнуть, а наклон оси позволяет полюсам получать достаточное количество солнечных лучей, чтобы ледяные полярные шапки не слишком распространялись. Сочетание этих факторов позволяет температуре на Земле в среднем держаться между точками замерзания и кипения воды.

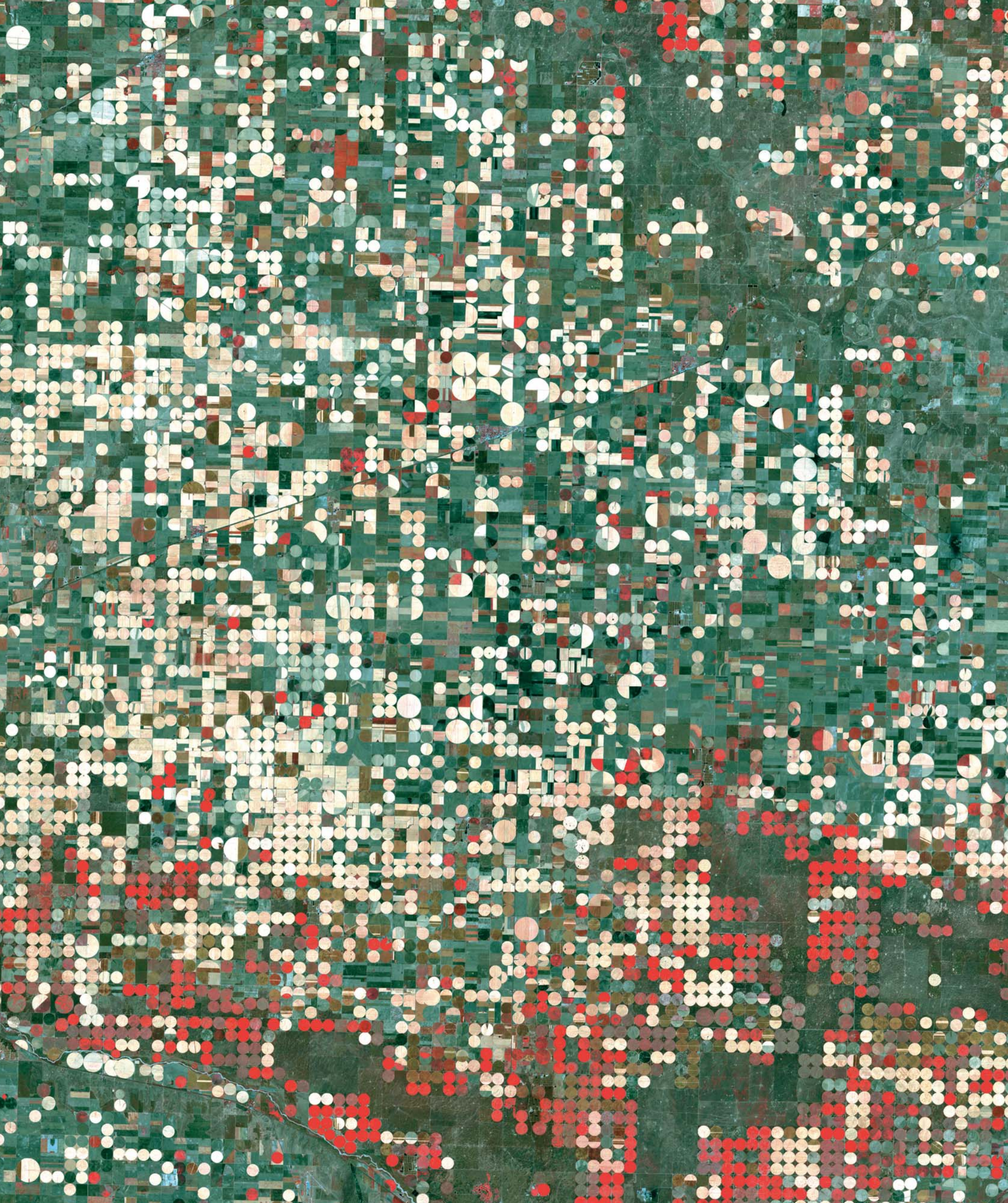
Но эта благоприятная температура не имела бы значения, если бы у Земли не было атмосферы: без нее жидкая вода просто испарилась бы и рассеялась в космическом вакууме. К счастью, тот же баланс условий, который позволяет воде существовать на земной поверхности, поддерживает и достаточно низкую температуру воздуха: молекулы газа не улетают в космос, а удерживаются земным тяготением, образуя воздушный ореол.

Химический состав атмосферы со временем очень изменился, хотя давление осталось примерно тем же. На заре истории Земли в ее атмосфере, возможно, преобладали соединения водорода, например метан — такая атмосфера сейчас наблюдается у Титана, спутника Сатурна. На изменения состава атмосферы за миллиарды лет повлияли различные процессы, в том числе развитие жизни и сложный круговорот воды.

Вода на Земле постоянно переходит из одного состояния — твердого, жидкого, газообразного — в другое. Богатая минеральными солями океанская вода испаряется в атмосферу, конденсируется в облака и выпадает на земную поверхность в виде дождя. Под воздействием дождей поверхность континентов подвергается эрозии, их ландшафт смягчается; дождевая вода поддерживает жизнь растений и животных. Она также меняет химический состав камня, поглощая атмосферный углекислый газ и способствуя образованию углеродных минералов. На высоких широтах вода выпадает в виде снега, восстанавливая полярные шапки, края которых непрерывно тают, растворяясь в океане.

Циркуляция атмосферных и океанских течений переносит тепло из жарких районов экватора и тропиков в холодные полярные зоны. Восходящие и нисходящие воздушные структуры в атмосфере образуют между тропиками и полюсами так называемые ячейки Хэдли, взаимодействие которых с силами Кориолиса, связанными с вращением Земли, формирует розы ветров в различных частях планеты. В океане подобные силы образуют водовороты и преобладающие течения. На более высоком уровне сложности находятся процессы, связанные с влиянием больших масс суши.

• Остается без ответа вопрос, откуда на Земле появилась вода. Хотя внутренняя область первичной околосолнечной туманности была, вероятно, богата льдом и водяным паром, при высокой температуре на рождающейся Земле летучие соединения должны были, казалось бы, испариться и рассеяться в пространстве. Согласно одной противоречивой идее, большая часть существующей сейчас на Земле воды была принесена сюда позже — на нашу планету буквально обрушился вал ледяных комет из окраин Солнечной системы. Однако кометы богаты не только водой, но и органическими соединениями — возможно, и семена жизни были занесены к нам в ходе этой грандиозной кометной бомбардировки? Если это так, повышается вероятность существования жизни и на соседних планетных системах, где должно было происходить нечто подобное.



Жизнь

Благодаря чудесному стечению счастливых случайностей на нашей маленькой каменистой планете возникло удивительное многообразие сред, способных поддерживать различные формы жизни и даже разума. Жизнь в множестве обликов колонизировала почти все природные ниши на поверхности нашей планеты. Жизнь на Земле не только проявляет чудеса приспособляемости, но и сама формирует облик нашей планеты и готовит его к своим нуждам.

Критический фактор существования жизни на Земле — обилие воды. Там, где много воды, кипит жизнь. Самые влажные области суши на Земле, где вода, испарившаяся из океанов, снова выпадает на поверхность в виде проливных дождей, — это тропические джунгли, кишащие животными и растениями. Там, где дождей нет, вскоре образуются пустыни, а жизнь замирает. Океаны тоже населены множеством живых организмов, хотя и в них есть громадные «пустыни», которых жизнь избегает. Может быть, жидкая вода когда-то была главным фактором развития жизни — это идеальный растворитель для сложных соединений на основе углерода, позволяющий им не только растворяться, но и образовывать соединения, вступать в реакции с образованием более сложных форм.

Еще недавно существенным элементом «стартового набора» жизни считался и солнечный свет, но сейчас биологи уже не так в этом уверены. Жизнь на поверхности Земли полностью зависит от Солнца. Но недра Земли тоже полны энергии — это тепло, сохранившееся от первичных столкновений в процессе ее образования, и энергия радиоактивного распада тяжелых элементов — небольшой, но существенной части ее химического состава. Эта энергия питает тектонические процессы, которые поддерживают нашу планету в состоянии постоянного изменения, но она важна и для жизни. В 1970-х биологи обнаружили на дне глубоководных океанских впадин оазисы жизни — экосистемы, использующие тепло и химические соединения, выбрасываемые подводными вулканами, и полностью независимые от того, что происходит на поверхности. Недавно геологи обнаружили, что в раскаленных породах в глубине земной коры живет множество так называемых экстремофильных бактерий. Присутствие живых организмов в столь причудливых и суровых условиях заставляет в корне пересмотреть наши представления о возможности существования жизни в Солнечной системе и на далеких планетах.

Каким бы ни был сценарий возникновения жизни на Земле, можно сказать определенно: она зародилась в океане около 4 миллиардов лет назад. Древнейшие ископаемые организмы — строматолиты — колонии одноклеточных, плававшие в морской воде в районе современной Австралии. В течение почти всей истории Земли микроорганизмы были единственной формой жизни. За миллиарды лет они постепенно полностью изменили земную атмосферу, преобразовав метан, водород и углекислый газ в кислород.

Чуть более 600 миллионов лет назад появились первые многоклеточные (более точное время их зарождения — предмет жарких дебатов). Жизнь как будто выжидала, словно набираясь сил для того, чтобы рывком начать эволюционную гонку. И вот примерно 550 миллионов лет назад произошел так называемый «кембрийский взрыв»: внезапный расцвет многообразных форм жизни. Развитие многих из них можно проследить до организмов сегодняшнего дня, другие же кончились эволюционным тупиком.

Около 425 миллионов лет назад жизнь начала завоевывать сушу, постепенно адаптируя окружающие условия, результатом чего стала знакомая нам современная среда обитания. Растения заменили большую часть углекислого газа в атмосфере кислородом и создали тем самым условия для процветания животного мира. Первыми совершили скачок из океана на сушу беспозвоночные, которые в кислородной атмосфере вырастали до громадных размеров: похожий на гигантского скорпиона эвриптерус достигал длины 2 м. Их вскоре сменили рыбы-полуамфибии, ставшие предками всех современных наземных позвоночных, в том числе и нас.

• Настроенные на жизнь?

На первый взгляд приспособленность Земли для жизни кажется результатом причудливого ряда совпадений. Не говорит ли это о «руке Создателя»? С другой стороны, если бы история Земли оказалась иной, о ней, вероятно, некому было бы сейчас рассуждать. Сам факт нашего присутствия требует выполнения на Земле некоторых условий. Значит, мы не можем использовать случайный характер нашего возникновения как аргумент за внешнее вмешательство или против него.

Это справедливо и для жизни во Вселенной в целом. Если мы в конце концов узнаем, что жизнь распространена повсеместно — возможно, даже на других планетах и лунах Солнечной системы — то вполне может оказаться, что при химических и физических законах нашей Вселенной жизнь есть относительно простой химический трюк. И все же, хотя законы Вселенной могут показаться необъяснимо благоприятными для жизни, мы не должны забывать, что, если бы они таковыми не были, не было бы и никого, кто мог бы их наблюдать.

[слева] На этом космическом фото Канзаса пикселевидные точки отражают влияние человека на среду. Каждый кружок — искусственно орошаемое поле зерновых. Цветом обозначено присутствие воды. Красные точки обозначают поля, на которых зерновые еще растут, белые — где они уже убраны.

[1] Огромные массы фитопланктона окрашивают море у западного побережья Исландии. Крошечные создания из холодных океанских глубин собираются у поверхности в гигантские скопления, заметные из космоса. В океане фитопланктон лежит в основе почти любой пищевой цепочки, поддерживая жизнь многих крупнейших существ на Земле.

[2] Бассейн Амазонки — море зеленой листвы, которое покрывает весь северо-запад Южной Америки и является средой обитания невероятного количества видов растений и животных. На нашей планете тропические леса — области проливных дождей и малых сезонных изменений — являются очагами биологического разнообразия.

[3] Примерно половина населения мира живет в городах, которые занимают 3% суши. На этом инфракрасном космическом фото хорошо видны газоны и поля для гольфа в самой быстрорастущей агломерации Соединенных Штатов — Лас Вегасе в штате Невада.

[1]

[2]

[3]

Луна

Луна намного превосходит размерами все остальные спутники планет внутренней Солнечной системы. Это единственное небесное тело, на котором побывали люди.

У Луны довольно простое внутреннее строение, какое и должно быть у быстро остывшей и затвердевшей маленькой планеты. Под корой из вулканических пород, которая толще на дальней стороне Луны, чем на ближней, глубоко залегает каменная мантия, возможно, с маленьким твердым металлическим ядром в центре.

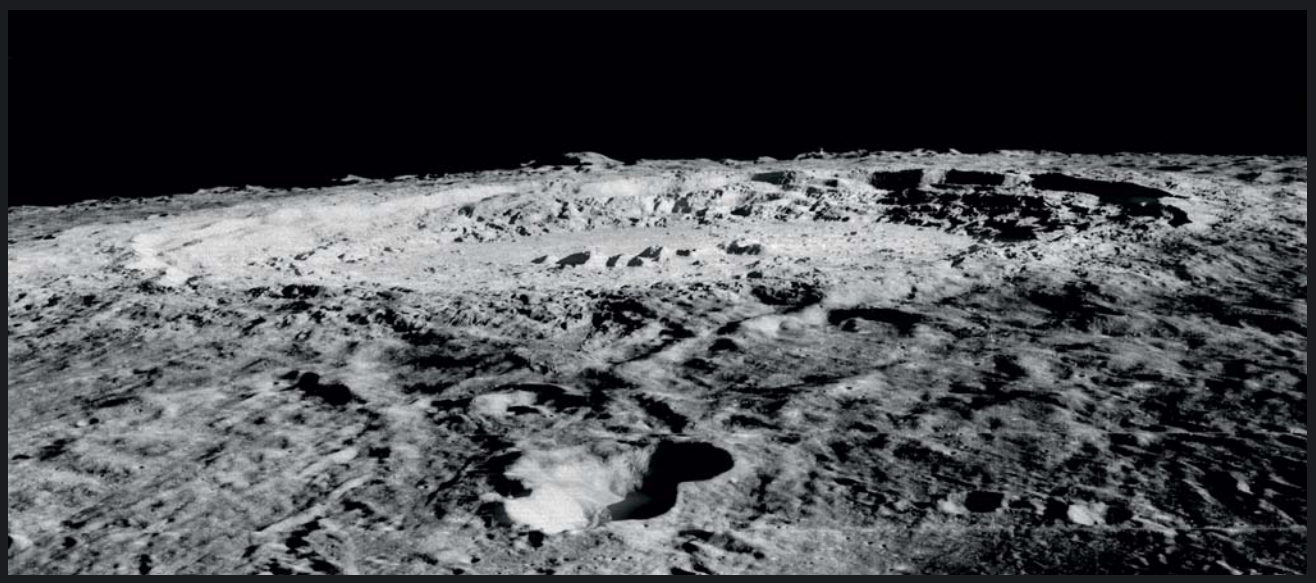
[3]

[1] Это знаменитое фото запечатлело величественный восход Земли над лунным горизонтом, каким его увидели астронавты из командного модуля «Америка» космического корабля «Аполлон-17». Ландшафт, видимый внизу, отмечает границу между обратной и лицевой стороной Луны.

[2] Коперник — яркий, хорошо заметный кратер средних размеров (91 км в поперечнике) вблизи центра обращенного к Земле лунного полушария. Стены кратера возвышаются над его дном на 3.7 км, посредине — центральная горка.

[3] Это мозаичное фото южного лунного полюса подчеркивает масштаб гигантского бассейна Южный полюс — Эйткен, крупнейшего ударного кратера в Солнечной системе. Внутрь глубоких кратеров вокруг центра бассейна никогда не попадает солнечный свет.

[1]



[2]

Луна — спутник нашей планеты, чужой мир, достаточно большой и близкий к Земле, чтобы изо дня в день оказывать на нашу планету значительное влияние на всем протяжении ее истории.

Для спутника Земли размеры Луны огромны — ее диаметр 3 475 км, более четверти земного. Только у Харона, спутника Плутона, сравнительные размеры больше. Орбита Луны находится на среднем расстоянии 400 000 км от нас, а оборот вокруг Земли она совершает за 27,3 дня. Луна, как и все остальные объекты Солнечной системы, исключая само Солнце, светит только отраженным солнечным светом. В разных точках ее орбиты освещены различные области ее поверхности, и освещенная часть, видимая с Земли, меняется день ото дня. Поэтому у Луны на земном небе ежемесячно меняются фазы — от новолуния (когда на стороне Луны, обращенной к Земле, полночь) до полнолуния (когда на видимой стороне Луны полдень), и обратно.

Гравитационные силы между Землей и Луной давно замедлили вращение нашего спутника настолько, что он оборачивается вокруг оси за время одного оборота вокруг Земли. То же самое произошло почти со всеми остальными лунами Солнечной системы: спутник всегда направлен к материнской планете одной и той же стороной. Обратная сторона Луны была скрыта от наших глаз, пока в конце 1950-х ее не сфотографировали первые космические зонды.

Те же гравитационные силы действуют и на Землю, и это наиболее очевидно проявляется в приливах — вспучивании океанских вод, притягиваемых Луной, и уравновешивающем вспучивании на противоположной стороне Земли. Приливные волны обходят планету вслед за Луной за один месяц, но так как Земля сама вращается относительно Луны, прилив и отлив случаются ежедневно.

За достаточно долгое время приливы могли бы замедлить и вращение самой Земли, пока и она не зафиксируется в положении, когда к Луне будет обращена одна и та же ее сторона. Тогда Земля и Луна стали бы поистине двойной планетой. Палеонтологические исследования показывают, что около 300 миллионов лет назад, еще до эры динозавров, Земля вращалась значительно быстрее: сутки продолжались всего 21 час. Если бы наша планетная система могла пережить гибель Солнца и существовать еще миллиарды лет после этого, Земля замедлила бы вращение настолько, что сутки на ней длились бы целый лунный месяц.

Загадка происхождения Луны волнует астрономов на протяжении столетий. Как Земля, небольшая планета, смогла обзавестись таким большим спутником? Ведь у остальных внутренних планет Солнечной системы спутников нет (если не считать двух крохотных астероидов, захваченных Марсом). Предложено множество теорий — по одной из них Луна образовалась из вещества, оторвавшегося от быстро вращающейся Земли на заре ее истории, по другой это планетоид из отдаленной части Солнечной системы.

Образцы породы, доставленные с Луны, свидетельствуют, что обе эти теории в чем-то справедливы. Лунные камни оказались уникальными гибридами — в чем-то они очень похожи на земные, а в чем-то очень от них отличаются. Это не может быть совпадением, и астрономы разрешили этот парадокс, придумав похожую на сценарий фильма-катастрофы теорию космического катаклизма — «большого плюха».

На заре истории Солнечной системы, еще до того, как Земля затвердела, ее орбиту пересекла блуждающая планета размером с Марс (иногда ее называют Тейя, по имени матери Селены, богини Луны из греческих мифов). Свершилось неизбежное — Тейя врезалась в Землю, и превратилась в пар вместе с изрядной долей коры и мантии молодой Земли. Облако раскаленного вещества было выброшено на орбиту вокруг того, что осталось от Земли. В результате наша планета, оправившись от удара, могла бы, наподобие Сатурна, обзавестись системой колец. Однако на этот раз действие гравитации привело к тому, что за относительно короткое время — возможно, всего за несколько десятилетий — тороидальное облако вокруг Земли сконденсировалось в крупный спутник.

Минимальное расстояние до Земли	Максимальное расстояние до Земли	Диаметр поверхности	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
363 тыс. км	406 тыс. км	3476 км	0,012 массы Земли	27,3 земных дня	-20 градусов Цельсия	0,17 g (ускорение свободного падения)

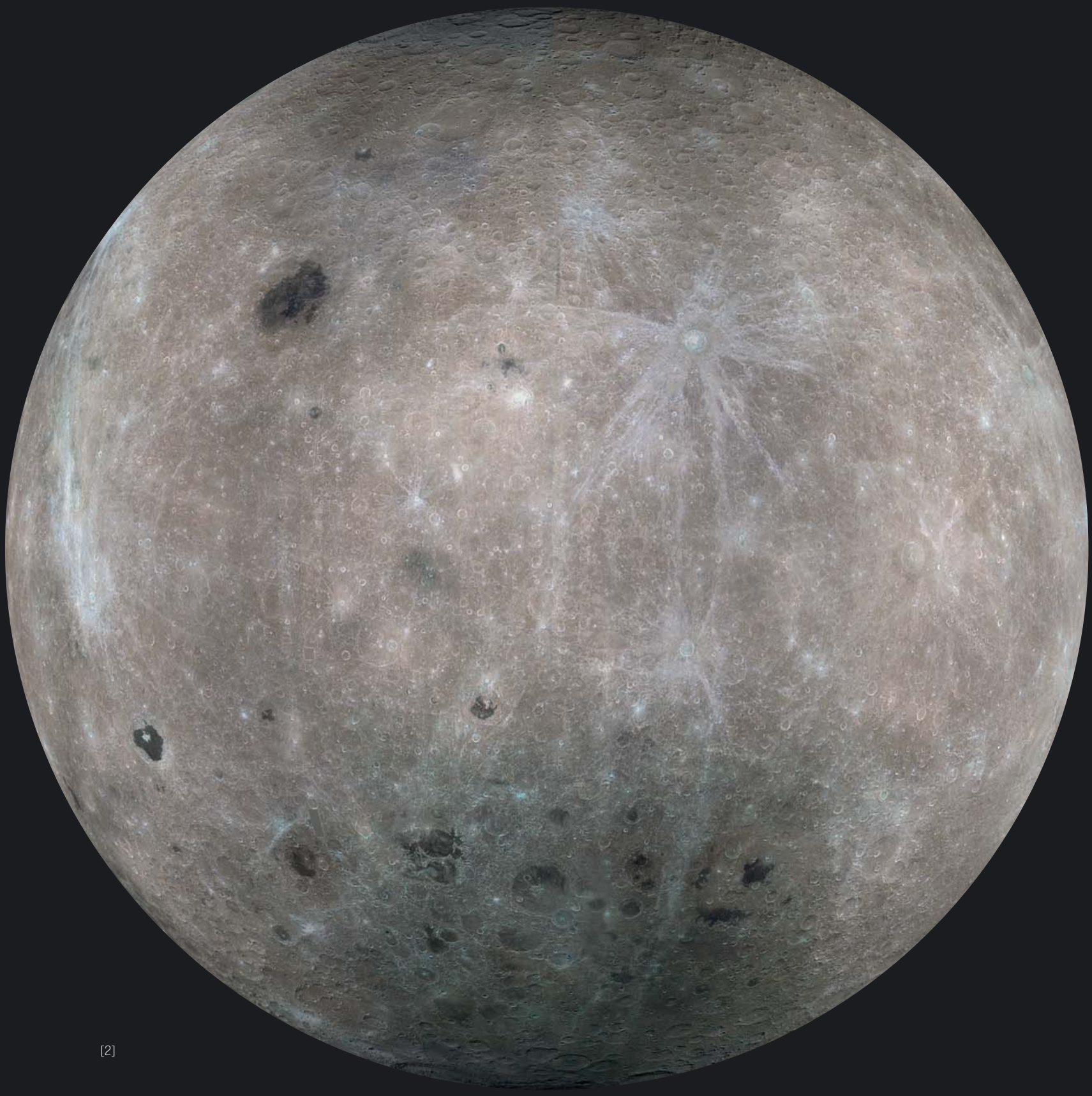
[1]

Даже невооруженным глазом видно, что для лунной поверхности характерны два вида рельефа: темные, ровные «моря» и яркие, изрытые кратерами возвышенности. По-видимому, эти горные плато — самые старые области лунной поверхности: большинству кратеров на них больше миллиарда лет, они возникли, когда молодая Солнечная система была полна обломков, бомбардировавших планеты. Самый бурный период образования кратеров — «Поздняя тяжелая бомбардировка» — случился 3,9 миллиарда лет назад. В это время в результате ряда мощных метеоритных ударов на лунной поверхности и возникли гигантские кратеры. Возможно, именно эти события привели к выбросу расплавленной магмы из лунных недр, и дно ударных бассейнов покрылось слоем темной базальтовой лавы. Медленно затвердевая, лава образовала поверхность «морей».

Впоследствии метеоритные удары стали гораздо слабее и реже, но все же гладкость «морей» при взгляде с Земли иллюзорна: вблизи видно, что «моря» покрыты множеством малых ударных кратеров и еле различимых глазом микрократеров. Луна была первым из миров Солнечной системы, где астрономы использовали кратеры для датировки. Если допустить, что после «Поздней тяжелой бомбардировки» образование кратеров шло медленно и равномерно, то относительный возраст участка поверхности можно вычислить просто из числа кратеров, накопившихся за время его существования.

Хотя кратеры — самая яркая деталь лунной поверхности, у нее есть и другие заметные геологические черты. На поверхности «морей» часто, особенно на рассвете и на закате, видны складки в виде морщин. Считается, что они появились там, где кора формировалась поверх слоя лавы и, прежде чем окончательно затвердеть, местами деформировалась. Повсюду заметны признаки маломасштабного вулканизма: кратеры явно вулканического происхождения и извилистые борозды — русла, по которым вязкая лава когда-то текла из жерл вулканов.

Обратная сторона Луны довольно сильно отличается от видимой — там лишь несколько небольших морей, а преобладает горный рельеф. Это различие не случайно — те же гравитационные силы, которые замедлили вращение Луны, сместили ее ядро на несколько километров от центра планеты в сторону Земли. Поэтому на заре истории Луны, когда ее ядро еще было расплавленным, лава легче достигала поверхности на ближней к Земле стороне. На обратной стороне Луны не меньше ударных кратеров, чем на видимой, просто они легче различимы на фоне темного базальта морей, которых больше на видимой стороне. Яркий пример — крупнейший кратер в Солнечной системе, бассейн Южный полюс — Эйткен, почти незаметный глазу.



[2]

• Лунные кратеры

Пока первые космические зонды не обнаружили на Луне малые кратеры, астрономы не могли прийти к согласию в вопросе о происхождении кратеров — многие считали, что они имеют вулканическую природу. На деле, на Луне всего несколько вулканических кальдер, а подавляющее большинство кратеров образовалось в результате метеоритной бомбардировки. Образование ударных кратеров было главным фактором формирования рельефа на всех телах Солнечной системы, но Землю защищала от бомбардировки атмосфера, а когда кратеры все же образовывались, их относительно быстро стирали с лица Земли тектоника и эрозия.

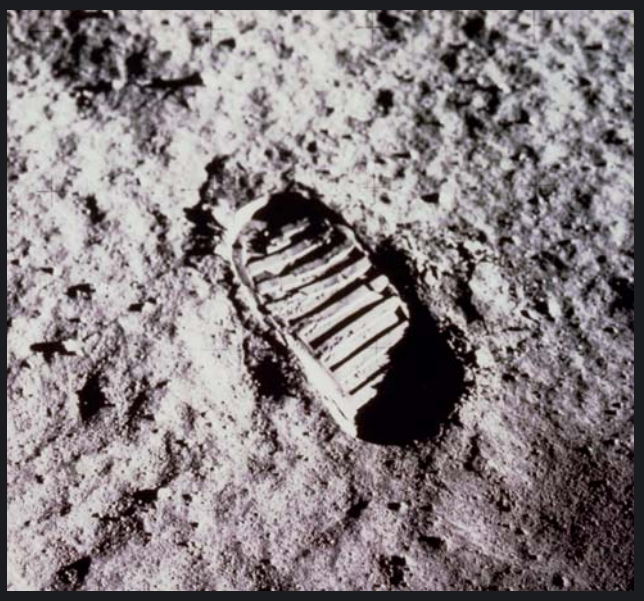
На Луне, однако, атмосфера отсутствует, и самые древние кратеры остаются на ней неизменными миллиарды лет. Чем больше кратер, тем сложнее его структура. Самые маленькие кратеры имеют идеальную форму чаши — ударная волна падающего метеорита превратила в пыль и сам метеорит, и лунный грунт под ним, выбросив это вещество в виде конуса, после чего оно выпало на окружающую поверхность.

У кратеров средних размеров часто есть центральная горка, образовавшаяся в результате «отдачи» дна. Чем выше стенки кратера, тем вероятнее, что они обвалятся под собственной тяжестью, образуя террасы. Вокруг самых крупных ударных бассейнов могут возникнуть целые горные цепи, а свежие кратеры часто бывают окружены светлыми «лучами» выброшенного вещества, тянущимися иногда на многие сотни километров.

[1] Видимая сторона Луны нам хорошо знакома — ровные темные моря и светлые шершавые горы. Заметнее всех очертания морей Спокойствия и Ясности, к северо-востоку от центра (справа вверху), и малого овала Моря Кризисов между ними и краем (лимбом) Луны. Среди ярких кратеров — Коперник, к северо-западу от центра, за ним — Аристарх, посредине на юге — Тихо.

[2] Обратная сторона Луны совсем другая — здесь преобладают светлые горы и бесчисленные кратеры. Самые заметные моря — Море Москвы в северо-западном квадранте и компактный кратер Циолковский, вблизи западного лимба. Светлый кратер с обширными лучами, к северо-востоку от центра, назван в честь физика Кокрофта.

[1]



[2]

Хотя посадка на Луну «Аполлонов» в конце 1960-х и начале 1970-х была настолько же инспирирована холодной войной, насколько научными идеями, она позволила узнать о нашем спутнике много нового.

Луна была очевидной первоочередной целью завоевания космоса. Первые снимки ее обратной стороны присланы советским космическим зондом в октябре 1959 г., спустя всего два года после того, как на низкую орбиту вокруг Земли вышел первый спутник. Соревнование за высадку человека на Луну должно было стать последним актом космической гонки, в которую Америка втянулась с целью в десятилетний срок догнать и перегнать Советский Союз в космосе.

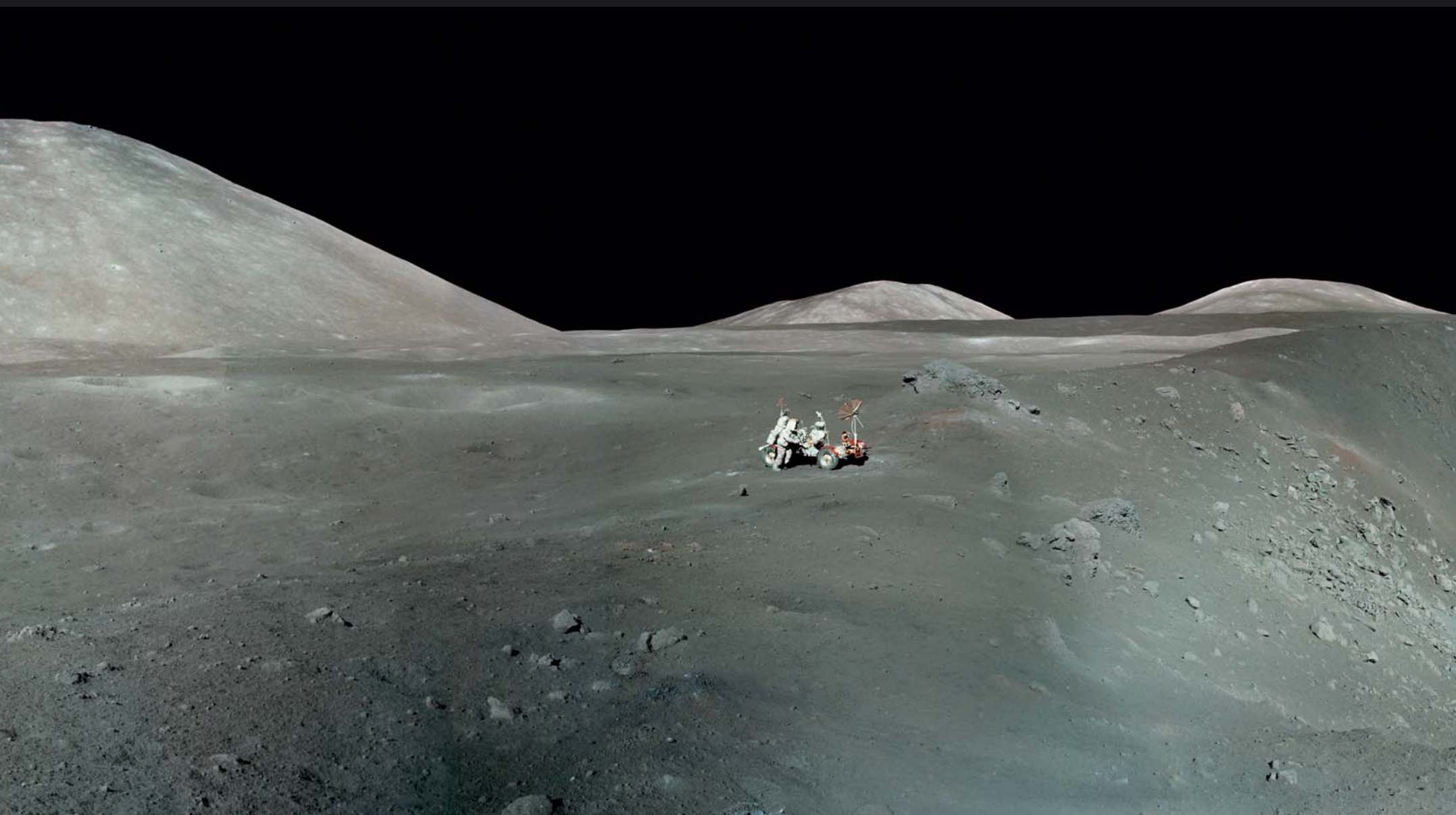
Чтобы подготовиться к высадке людей, сначала к Луне был послан целый ряд автоматических спускаемых и орбитальных аппаратов для подробного обследования и составления точных карт потенциальных мест посадки. Когда же на Луну стали прибывать «Аполлоны», перед их экипажами была поставлена задача исследовать все основные типы лунной поверхности.

«Аполлон-11» совершил свою прославленную посадку в центре Моря Спокойствия — месте, относительно легком для высадки и позволявшем собрать образцы камней в древнем лунном море. «Аполлон-12» приземлился в Океане Бурь — еще одном море, на этот раз усыпанном материалом, выброшенным из нескольких больших кратеров. После чуть не закончившегося катастрофой полета «Аполлона-13» следующая успешная миссия «Аполлона-14» была нацелена на область Фра Мауро — гряду холмов, образовавшуюся от удара, создавшего гигантское Море Дождей. «Аполлон-15» сел вблизи лавовой трубки под названием Борозда Хэдли, а «Аполлон-16» оказался единственным кораблем, прилунившимся в горах, близ кратера Декарт. Целью последней миссии, «Аполлона-17», была Долина Таурус-Литтров, где к подножию лунных гор когда-то выплеснулась лава, образовавшая Море Ясности.

Девять космических кораблей «Аполлон» совершили рискованное путешествие на Луну и обратно. Шесть из них прилунилось. Двенадцать американских астронавтов ходили по лунной поверхности. В ходе своей миссии они не только собирали образцы камней, но и выполнили серию научных экспериментов, в том числе установили отражатели световых сигналов для точного определения расстояния между Землей и Луной, сейсмические приемники для измерения лунных землетрясений и панели для сбора солнечного ветра.

Измерения расстояния дали очень интересные результаты: они показали, что Луна постепенно отдаляется от Земли. Дрейф оказался очень малым: около 3 см (1,2 дюйма) в год, но за сотни миллионов лет это составляет заметную величину. Это удаление — результат действия тех же приливных сил, которые затормозили вращение Луны.

Сейсмологические приборы зарегистрировали много малых землетрясений, которые позволили геологам прозондировать внутреннюю структуру Луны. Некоторые из колебаний почвы могут быть



[3]

вызваны падением малых метеоритов, но большая их часть связана с приливными силами: они максимальны, когда Луна находится в точках максимального удаления от Земли и сближения с ней.

Некоторые астрономы предполагают, что «лунотрясения» могут быть связаны еще с одной из тайн Луны — «кратковременными лунными явлениями». Это короткоживущая светлая дымка, часто с оранжевым оттенком, иногда вдруг закрывающая детали лунной поверхности. Эти явления крайне неустойчивы и в основном наблюдаются астрономами-любителями, но считаются реальными. Часто они концентрируются вокруг относительно молодых кратеров. Большинство астрономов считают, что дымка появляется, когда лунные оползни в этих неустойчивых областях высвобождают скопившийся подпочвенный газ, который вместе с поднятой им пылью рассеивает солнечный свет.

[1] Лунный модуль «Сокол» (Falcon) стоит на своих паукообразных опорах во время миссии «Аполлон-15» в 1971 г. На заднем плане: склоны Лунных Апеннин. Главным предметом исследования была обрушившаяся лавовая трубка древнего вулкана.

[2] Нил Армстронг сделал свой исторический первый шаг по Луне 20 июля 1969 г. Если сюда не упадет случайный метеорит, посадочная площадка «Аполлона-11» в Море Спокойствия может сохраниться нетронутой еще миллиарды лет.

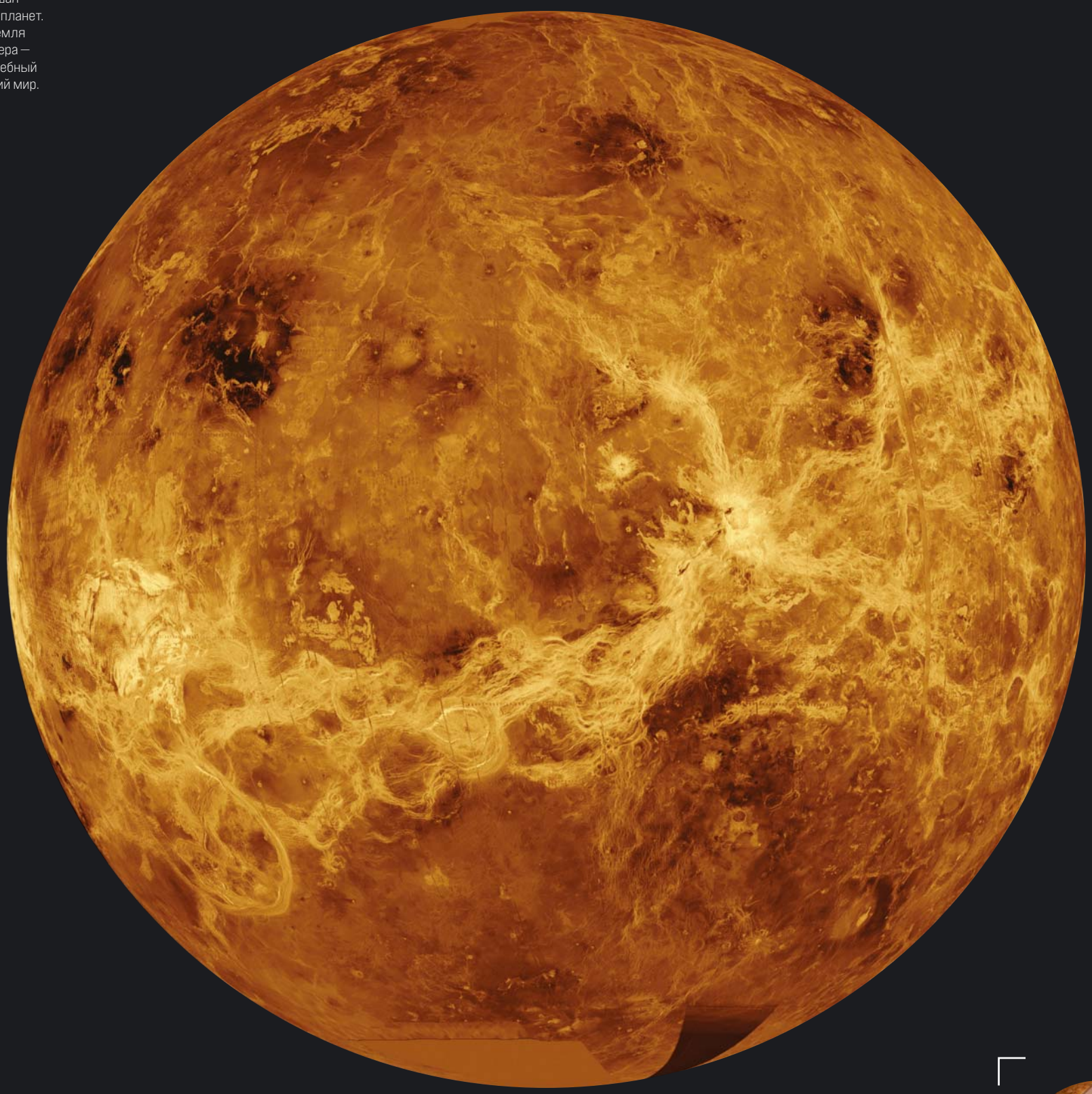
[3] Астронавт с «Аполлона-17» Харрисон Шмитт торопится к лунному роверу после рекордной по продолжительности прогулки по Луне: он провел вне посадочного модуля более 7,6 часа и преодолел расстояние в 23 км.

[4] Снова астронавт Шмитт, на сей раз на краю маленького, но глубокого кратера Шорти. Геолог Шмитт был единственным ученым среди астронавтов, летавших на «Аполлонах». Тем не менее эти полеты в огромной степени расширили наши представления о Луне и всей Солнечной системе.

[4]

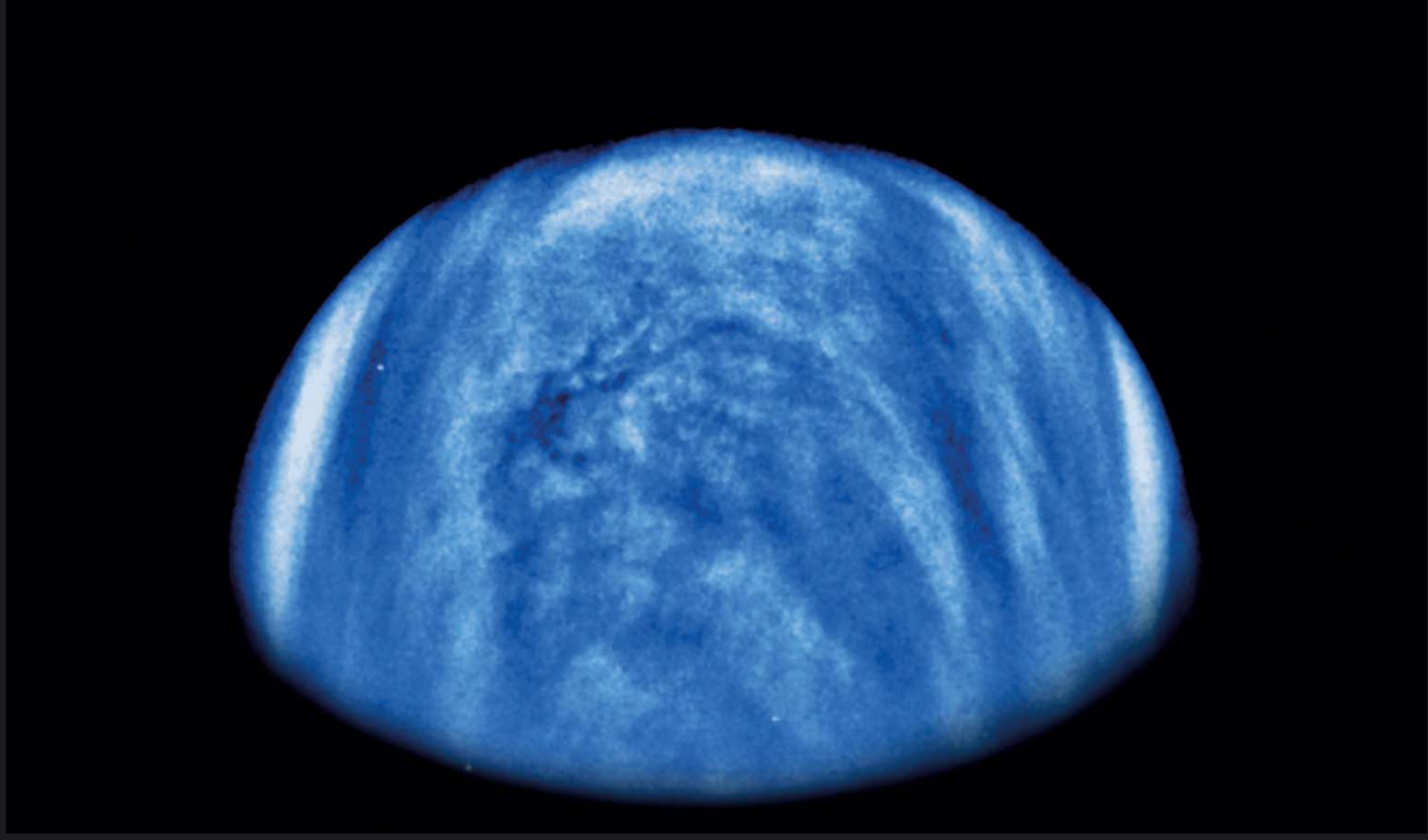
Венера

Эта планета — ближайшая соседка Земли из всех планет. По размеру Венера и Земля — почти близнецы. Венера — адски горячий и враждебный человеку вулканический мир.

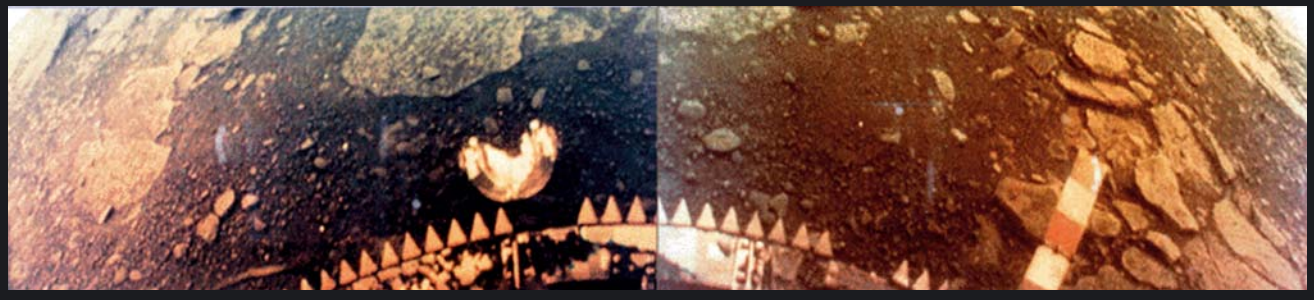


Венера почти одного размера с Землей. Их внутренние структуры тоже довольно похожи: тонкая силикатная кора, глубокая каменистая мантия, ядро из никеля и железа. Однако в ядре Венеры больше замерзшего вещества.

Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
2,3	12 104	0,82	243	225	3,4	177,3	464	0,9
световых минуты	км	масс Земли	дня	дней	градуса	градуса	градуса Цельсия	g (ускорение свободного падения)



[1]



[2]

[1] Направляющийся к Юпитеру космический зонд «Галилео», пролетая мимо Венеры, сфотографировал ее. Обычно детали атмосферы зарегистрировать невозможно из-за сильного блеска, но фильтры на камерах «Галилео» и обработка изображения выявили голубые облачные структуры размером до 20 км.

[2] Первые цветные снимки венерианского пейзажа прислал на Землю советский космический зонд «Венера-13» в 1982 г.: вулканический ландшафт с плоскими пластинчатыми камнями, разбросанными по темной почве. Несмотря на тяжелую броневую обшивку, «Венера-13» продержалась на поверхности планеты всего 2 часа.

Венера, вторая планета от Солнца, — сияющий бриллиант на ночном небе Земли. Мы иногда называем ее «вечерней» или «утренней» звездой и часто ярче нее бывает только Луна. Но древние астрономы, назвавшие ее именем богини красоты, не знали, что эта красота обманчива.

Венера сплошь покрыта плотной непроницаемой атмосферой, которая полностью скрывает от нас ее истинное лицо. Плотный слой желто-белых облаков отражает 70% солнечного света: у Венеры едва ли не самая высокая отражающая способность во всей Солнечной системе, что объясняет ее ослепительное сияние на небе.

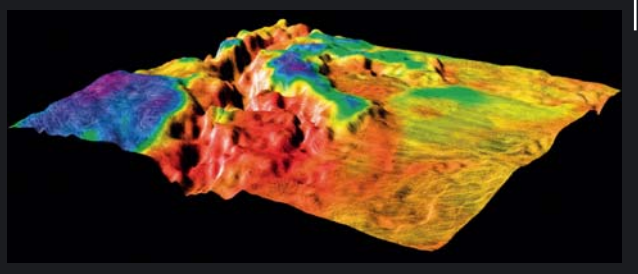
Столетиями астрономы гадали, что скрывается под венерианскими облаками. А вдруг там гостеприимный мир — не может же быть, чтобы всего 42 миллиона километров между орбитами Венеры и Земли сделали эту планету совершенно необитаемой? Некоторые полагали, что Венера покрыта джунглями; другие — что «пепельный свет» (до сих пор не объясненное свечение, иногда наблюдаемое на ночной стороне планеты) — это отблеск костров, зажигаемых венерянами по праздникам.

Наступление космической эры положило конец этим фантазиям. Первые же космические зонды, пролетевшие мимо планеты, измерили ее невероятно высокую температуру: 464 °C, что даже выше, чем на подсолнечной поверхности лишенного воздуха Меркурия. Другие зонды прошли сквозь атмосферу и опустились на поверхность: они сообщили, что атмосфера Венеры — раскаленный и удушливый углекислый газ, облака состоят из серной кислоты, а поверхность — горячие вулканические породы.

Космические зонды решили и наболевший вопрос о вращении планеты. Облачные структуры обходят вокруг Венеры за пару дней, но многим казалось, что день и год на этой планете сравнялись в результате действия тех же приливных сил, из-за которых Луна постоянно обращена к Земле одной стороной. Прямое измерение движения поверхности выявило нечто более странное: планета обращается вокруг оси за 243 земных дня, а вокруг Солнца всего за 225. День на Венере длиннее года! Но этого мало: аномально медленное вращение Венеры еще и происходит в направлении, противоположном тому, которому следуют почти все другие планеты — Венера вращается «вверх тормашками». Выходит, на Венере от рассвета до рассвета проходит 177 земных суток.

Венера полна сюрпризов. Но как могли астрономы так ошибаться? Ответить на этот вопрос нельзя было, не составив мало-мальски подробную карту планеты. А это потребовало использования новой техники — радаров.

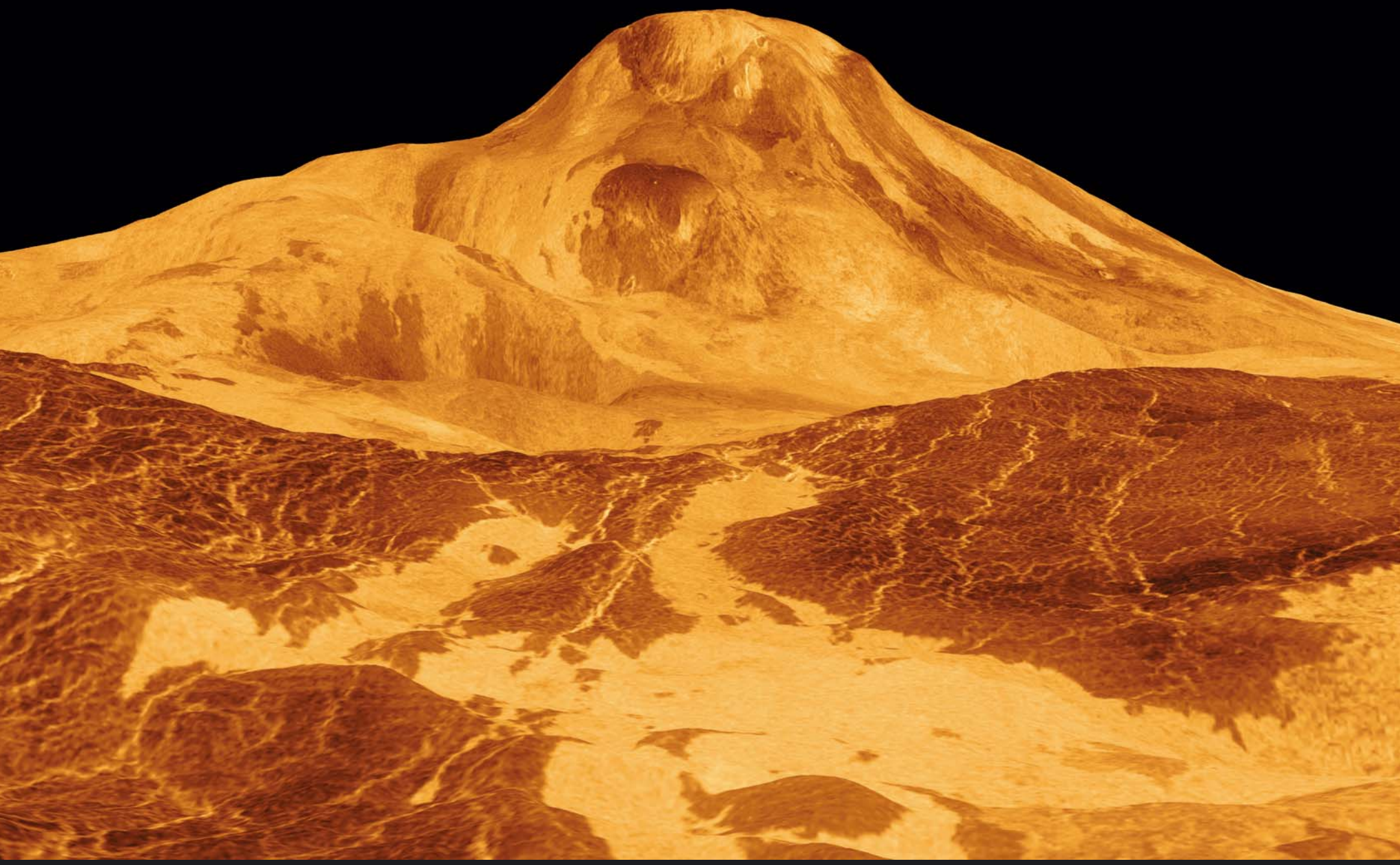
Первые оборудованные радаром космические зонды облетели Венеру еще в 1970-х, но разрешение их приемников было таким низким, что дало лишь смутные очертания ее поверхности — нескольких равнин и горных областей, наиболее заметной из которых были горы Максвелла вблизи экватора. Однако, в 1989 г. на орбиту вокруг Венеры вышел новый зонд с гораздо более совершенным радаром, какие использовались для составления земных карт. «Магеллан» не только смог с большой точностью и гораздо подробнее измерить высоты поверхности планеты — он получил информацию о наклоне, о рельефе поверхности и даже о составе ее материала. Когда карта Венеры была составлена, внимание переключилось на ее атмосферу. В 2006 г. к планете прибыл зонд «Венера Экспресс», главной целью которого было исследовать роль парникового эффекта в эволюции раскаленной атмосферы планеты.



• Радар

Принцип действия радара прост и эффективен. Приемо-передатчик посылает короткий импульс радиоволн («пинг») и измеряет время, за которое эхо этого импульса, отразившись от препятствия на его пути, возвращается на приемную антенну. Так как радиоволны распространяются со скоростью света (300 000 км/с), время, за которое они совершают путешествие туда и обратно, позволяет вычислить точное расстояние до объекта. Когда речь идет о составлении карты планеты, надо посылать к ее поверхности как можно больше пингов, чтобы получить больше деталей.

«Магеллан» был первым межпланетным зондом, на котором применялась сложная техника апертурного синтеза: вместо одиночного пинга излучатель посылает к исследуемой поверхности длинную «трель» радиоволн. Такой сигнал отражается под разными углами и его анализ занимает больше времени, но в результате получается более подробная картина поверхности планеты, отражающая не только ее форму, но и фактуру, и изменения в составе вещества.



[1]

Венера после «Магеллана»

Радар «Магеллана» рассказал о Венере множество новых подробностей и принес много сюрпризов. Может быть, самым поразительным открытием стало огромное количество вулканических образований на ее поверхности. Предыдущие зонды установили присутствие на Венере крупных вулканических горных массивов, подобных земным, как, например, горы Максвелла. «Магеллан» обнаружил множество разнообразных деталей, не имеющих на Земле аналогов, и почти всегда они лучше всего интерпретировались как вулканические.

Хороший пример — «оладьи», или «плосковершинные купола», (Farra), приземистые круглые холмы на поверхности Венеры, образованные, по-видимому, выбросами плотной лавы из-под коры. Так как лава слишком вязкая, она не растекается далеко от кратера, а образует на нем растущую нашлепку, которая в конце концов запечатывает его отверстие. Еще два уникальных геологических образования на Венере — «венцы» и арахноиды. Первые — концентрические кольцевые узоры трещин, пересеченных радиальными разломами. Они образуются струями лавы, под давлением поднимающимися из-под коры. Поверхность под давлением лавы трескается, и лава вытекает через трещины. Когда давление ослабевает, лавовая корка оседает и затыкает отверстие. Арахноиды, называемые так потому, что напоминают паука в центре паутины, обычно меньше «венцов» (которые могут достигать сотен километров в поперечнике) и, возможно, просто являются ранней стадией их развития.

Однако, при всем обилии свидетельств вулканической активности Венера в этом отношении остается загадкой. «Магеллан» не нашел на ней следов активности тектонических плит, дрейфующих частей коры, которые на Земле ассоциируются с вулканами. Есть признаки, что тектонические процессы здесь происходили в очень далеком прошлом и кора давно уже отвердела. Но если нет тектоники, что питает венерианские вулканы?

К счастью, нашлись другие факты, указывающие путь к решению этой загадки. «Магеллан» был первой картографической миссией с разрешением, достаточным для регистрации кратеров средних размеров: планетологи с нетерпением ждали этих результатов и были удивлены, когда их дождались. Даже если вспомнить о плотной защитной атмосфере Венеры, кратеров на ней оказалось слишком мало.

Нанося на карты кратеры, исследователи вынуждены были заключить, что поверхность Венеры на 90% является удивительно молодой — по-видимому, она была полностью пересоздана бурной вулканической активностью около 600 миллионов лет назад. Всего несколько высокогорных районов остались нетронутыми и сохранили следы более ранних метеоритных бомбардировок. Но что могло вызвать глобальный катаклизм на такой короткой шкале времени?

Ответ, возможно, кроется именно в отсутствии тектоники. Без идущей, как на Земле, — медленно, но постоянно — вулканической активности, тепло, выделяющееся в недрах Венеры, накапливается под корой, как в плотно закрытой кастрюле. Каждые несколько сот миллионов лет его давление становится слишком сильным, и планета «взрывается»: лава пробивает себе путь к поверхности и там затапливает все на своем пути.

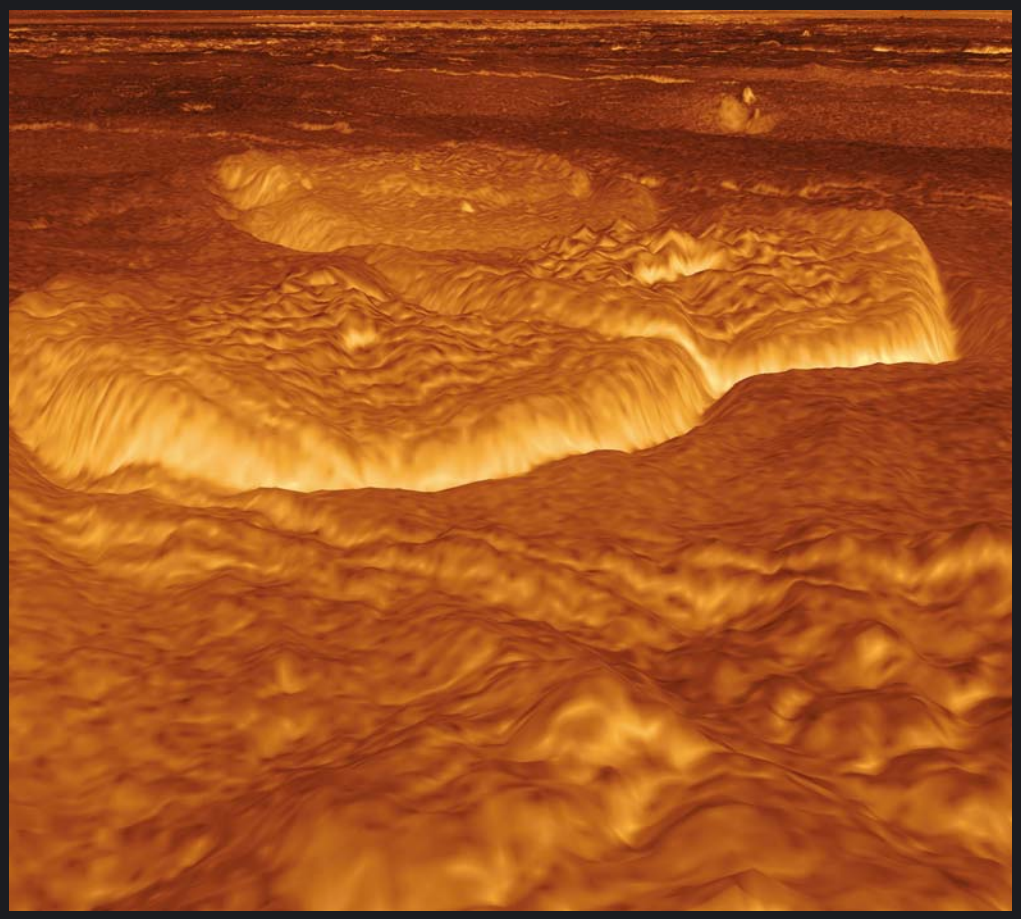
Такова сейчас лучшая модель Венеры, возможно, неточная и определенно неполная. Остается трудный вопрос: что поддерживает «фоновую» вулканическую активность между глобальными извержениями? Вулканы могут питаться «горячими очагами» в мантии, подобными тем, что поддерживают деятельность некоторых вулканов на Земле (и, по-видимому, на Марсе). Было бы странно, если бы на одном из самых богатых вулканами миров Солнечной системы сейчас не происходило извержений.

[2]

[1] Трехмерное изображение вулкана Маат получено, как и следующие фото, по данным нескольких приемников «Магеллана». Показан не только рельеф поверхности (контраст усилен), но и ее текстура: более пересеченные участки светлее. Вершина вулкана покрыта нагроможденными друг на друга потоками лавы, которые, подобно рекам, пересекают более старый и ровный окрестный ландшафт.

[2] Область Эйстлы — один из небольших горных районов на венерианском экваторе, с главными вулканическими вершинами Гула (впереди слева) и Сиф (сзади справа). От обеих гор растеклись по всему плато длинные потоки застывшей лавы.

[3] «Оладьи», или плосковершинные купола, — странные вулканические образования на плато Эйста Регио: круглые, поперечником в среднем 25 км, с крутыми склонами, возвышающимися примерно на 750 м над окрестностями. Считается, что они образовались, когда вязкая лава под давлением вытекала через разломы поверхности, но застывала прежде, чем растечься вокруг.



[3]

[1]
[2]

[1] На равнине Лавинии — целое скопление кратеров, в том числе кратер Хау на переднем плане этого изображения, составленного по данным зонда «Магеллан». Каждый кратер окружен светлым шлейфом выброшенного вещества, которому плотная атмосфера Венеры не дала разлететься далеко от места удара. Пробить толщу атмосферы и образовать кратеры могут только объекты больше определенного размера.

[2] Гора Сапас — вулкан, расположенный к северу от венерианского экватора и возвышающийся над долиной размером примерно 650 км. На радарной карте «Магеллана» видны протяженные, наложенные друг на друга лавовые потоки разного возраста. Заметна эрозия под влиянием венерианской атмосферы: неровный свежий рельеф, который на радарном изображении выглядит светлым, переходит в более гладкий и темный.

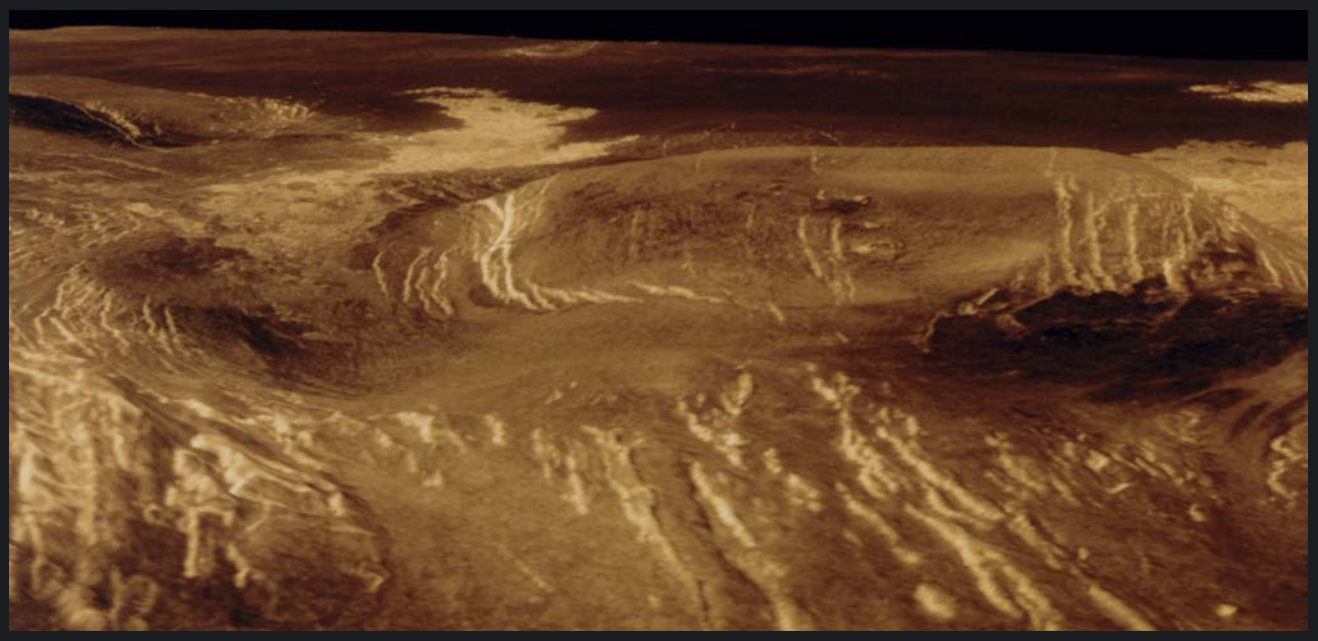
[3] Область Альфа — горная страна к югу от экватора, первая деталь, отождествленная на поверхности Венеры. Основные горные области обычно относятся к самым старым на планете, что отражается в сложной и беспорядочной структуре рельефа области Альфа.

[4] Кратер Дикинсон поперечником 69 км окружен выброшенным веществом только с трех сторон — к западу рельеф остался нетронутым. Это значит, что метеорит, образовавший кратер, прилетел с запада под острым углом к поверхности.

[5] «Венцы», такие как 97-километровый Идем-Кува, — громадные круглые впадины, окруженные концентрическими трещинами в венерианской коре. Считается, что это области, в которых магма подступала к поверхности, вспучивая ее. Когда уровень магмы затем понижался, вспучивание оседало, образуя впадину.

[3]

[4]

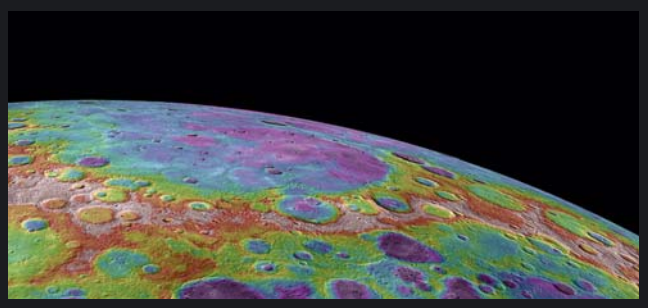


[5]

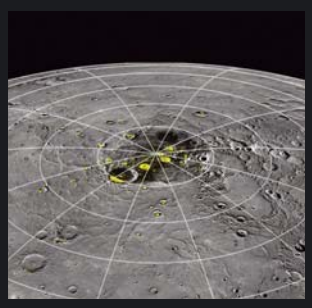
Меркурий

Самая маленькая и самая близкая к Солнцу из внутренних планет, на первый взгляд похожая на Луну, но с интересным прошлым.

[1]



[2]



[3]

[4]

В необычном внутреннем строении Меркурия, по-видимому, главную роль играет огромное твердое железное ядро, увеличивающее среднюю плотность планеты. Ядро окружено мантией и тонкой корой из силикатных пород.

[1] Уступ Дискавери — вероятно, самый эффектный из множества меркурианских утесов. Он змеится на протяжении 650 км , разделяя соседние области каменной стеной высотой до 2 км. На снимке — уступ Дискавери пересекает пару кратеров.

[2] На этом снимке, сделанном в северных широтах Меркурия, искусственные цвета подчеркивают различия в высотах, измеренных лазерным альтиметром «Мессенджера»: пурпурный — самые низкие, белый — самые высокие участки. Общий перепад высот на поверхности планеты около 10 км — гораздо меньше, чем на Луне или Марсе.

[3] На фото область северного полюса Меркурия. Так как ось планеты строго перпендикулярна к орбите, в эти области попадают только косые лучи Солнца, а на дне самых глубоких кратеров стоит вечная ночь. Желтые пятна — отражения луча радара от этих кратеров, вероятно, покрытых льдом, принесенным кометами.

[4] «Мессенджер» впервые обнаружил на поверхности Меркурия обширные лавовые поля, заполняющие глубокие ударные бассейны и залившие многие из древнейших кратеров. Однако яркость поверхности Меркурия значительно более равномерна, чем яркость поверхности Луны.

Маленький быстрый Меркурий — выжженный мир по соседству с Солнцем, но он имеет сложную историю, о которой мы лишь теперь начинаем узнавать. Каменный шар примерно с Луну, всего 4878 км в диаметре, Меркурий обходит путь вокруг Солнца за 88 дней по заметно эллиптической орбите, приближаясь к нашей звезде на 46 млн км. В полдень на освещенной стороне может плавиться свинец: температура достигает 370 °C (700 °F), но на ночной стороне из-за отсутствия атмосферы может падать до –190 °C (–310 °F).

День на Меркурии длится две трети его года, 57 земных дней: за два оборота вокруг Солнца он трижды поворачивается вокруг оси. В результате, на большей части планеты Солнце еле ползет по небу, поднимаясь из-за горизонта раз в два года (за 176 земных дней). Когда Меркурий проходит ближайшую к Солнцу часть орбиты, движение Солнца по небу становится попятным, то есть Солнце начинает медленно пятиться и, возможно, даже снова прячется за горизонт, чтобы после этого взойти еще раз.

До недавнего времени Меркурий был наименее изученной из всех больших планет Солнечной системы, почти недостижимой для наблюдений из-за ее высокой орбитальной скорости и близости к Солнцу. Единственным зондом, добравшимся до него, был «Маринер–10», в 1974–75 гг. на большой скорости трижды облетевший его и сфотографировавший чуть более половины его поверхности. Однако в 2011 г. на орбиту вокруг Меркурия вышла миссия NASA «Мессенджер» (MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging), впервые составившая подробную карту всей планеты и изменившая наше представление о ней: оказалось, что в прошлом Меркурий был гораздо активнее, чем считалось, а его геология ставит ученых в тупик.

Физически Меркурий очень похож на Луну — обе планеты пережили тяжелую метеоритную бомбардировку в далеком прошлом, на обеих есть большие ударные бассейны, залитые застывшей лавой. Крупнейшая из них на Меркурии — равнина Жары, один из величайших кратеров в Солнечной системе диаметром 1340 км. Ударные волны при его образовании прошли через всю планету и создали на ее противоположной стороне область хаотических нагромождений рельефа.

Полеты «Маринера» показали, что Меркурий необычно тяжел и плотен для своих размеров: считается, что металлическое ядро занимает целых 85% его диаметра.

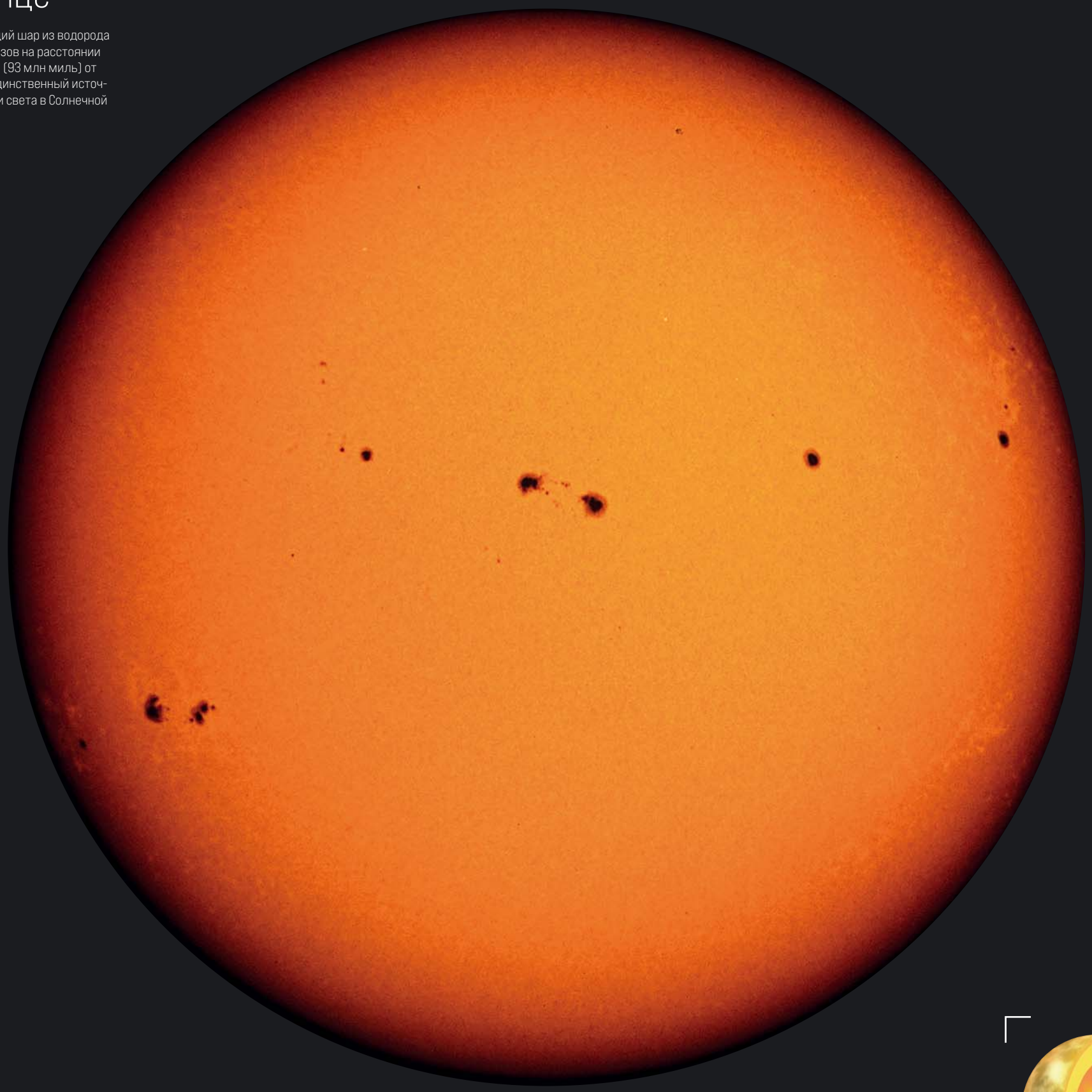
Однако, открытие легкоплавких летучих элементов в коре, кажется, устраняет одно устоявшееся объяснение наличия гигантского ядра, а именно, что на заре истории Меркурия большую часть его коры разрушил страшный удар метеорита. Взамен астрономы предложили менее драматический сценарий: взаимодействуя с солнечной туманностью, Меркурий в процессе формирования потерял большую часть легких элементов, и поэтому в нем стали преобладать железо и никель. Магнитные свойства Меркурия, между тем, говорят о том, что его ядро частично остается расплавленным и теперь, что объясняет вулканическую активность планеты на протяжении его истории. Необычное ядро, по-видимому, ответственно и за разломы, называемые уступами, которые, скорее всего, образовались, когда кора сначала разошлась, а потом опять сомкнулась, то есть Меркурий «раздулся», а затем снова сжался.

Однако, наверное, самым впечатляющим из открытий «Мессенджера», которому, возможно, суждено изменить наш взгляд на планеты Солнечной системы и других планетных систем, было полученное в 2012 г. подтверждение существования органических соединений на основе льда и углерода, таящихся в вечной тени кратеров на меркурианских полюсах.

Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
4,3	4875	0,05	58,6	88	7	2	130	0,38
световых минуты	км	массы Земли	дня	дней	градусов	градуса	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)

Солнце

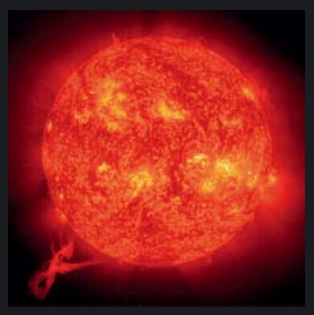
Полыхающий шар из водорода и других газов на расстоянии 150 млн км (93 млн миль) от Земли — единственный источник тепла и света в Солнечной системе.



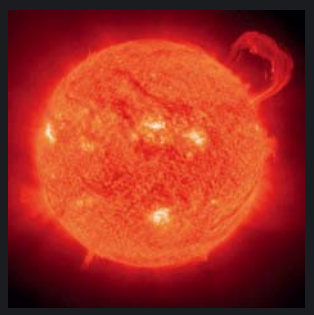
Расстояние до Земли	Диаметр поверхности	Масса	Период вращения	Средняя температура поверхности	Средняя температура ядра
8	1,4	333 000	25–34	5500	15 млн
световых минут	млн км	массы Земли	дня	градусов Цельсия	градусов Цельсия

Ядро Солнца занимает относительно малую область. Оно окружено зоной лучистого переноса — прозрачной, но туманной областью горячего газа. За ней идет непрозрачная конвективная зона, которая в свою очередь переходит в фотосферу.

[1]



[3]



[4]

[2]

[1] В ходе коронального выброса более 100 миллиардов тонн вещества выбрасывается в пространство со скоростью миллионы километров в час. В периоды наибольшей активности на Солнце каждый день может происходить три-четыре таких события.

[2] Адское видение: волокно горячего газа поднимается над колыхающейся поверхностью Солнца на высоту 100 000 км, во внешнюю корону.

[3] [4] Солнечные протуберанцы — гигантские облака относительно холодной и плотной плазмы. Они тоже выбрасываются на большую высоту, в корону, но, в отличие от корональных выбросов, возникают в солнечной атмосфере. Типичный протуберанец простирается более, чем на десятки тысяч километров, а отдельные экземпляры — и на 300 000 км.

Солнце — наша материнская звезда, единственная, которую мы можем изучать во всех подробностях, источник тепла и света, необходимых для жизни на поверхности нашей планеты. Это впечатляющий объект — шар из раскаленного газа диаметром 1,4 млн км, излучающий на всех длинах волн, воздействующий своим тяготением на сферическую область пространства радиусом до одного светового года.

Насколько нам известно, Солнце — вполне средняя звезда. Бесчисленное множество звезд с такими же характеристиками рассеяно по нашей области Галактики и, вероятно, вне ее (хотя солнцеподобные звезды так слабы, что их свет уже на расстоянии в несколько сот световых лет различим только в самые большие телескопы).

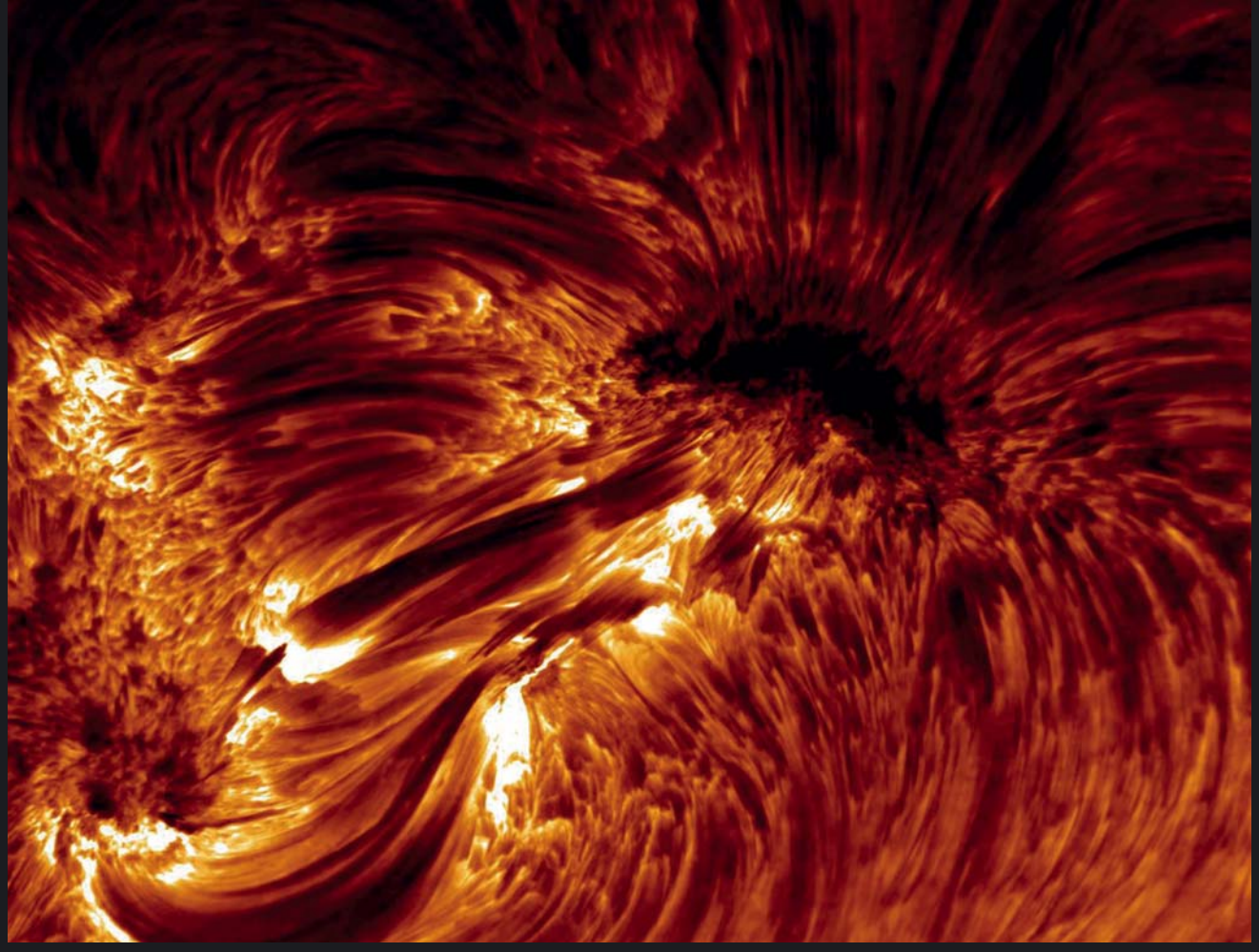
Однако наша звезда бурлит активностью. Ее поверхность постоянно меняется — появляются и исчезают темные пятна и яркие волокна, мощные извержения выбрасывают гигантские количества вещества в Солнечную систему, с поверхности уносится непрерывный поток высокоэнергетических частиц, формируя внешнюю атмосферу Солнца, корону — крайне разреженную, но с температурой в миллионы градусов. Магнитное поле Солнца определяет форму короны, растягивает ее и превращает в солнечный ветер — каскады частиц, пронося-щихся сквозь всю Солнечную систему.

Хотя воздействие Солнца распространяется вокруг него на расстояние более светового года, вся его энергия выделяется в относительно малой центральной области: ядре, где огромное давление и температура около 15 миллионов градусов Цельсия (27 миллионов по Фаренгейту) заставляют ядра водорода, простейшего элемента, сливаться друг с другом, образуя следующий по сложности элемент, гелий. Все звезды на протяжении большей части их жизни обязаны своим сиянием этому процессу. Энергия при этом выделяется в виде гамма-лучей — крайне коротковолнового и высокоэнергетического излучения, которое, к нашему счастью, не может сразу вылететь из недр Солнца, а начинает сталкиваться там с атомами, поглощаться и переизлучаться.

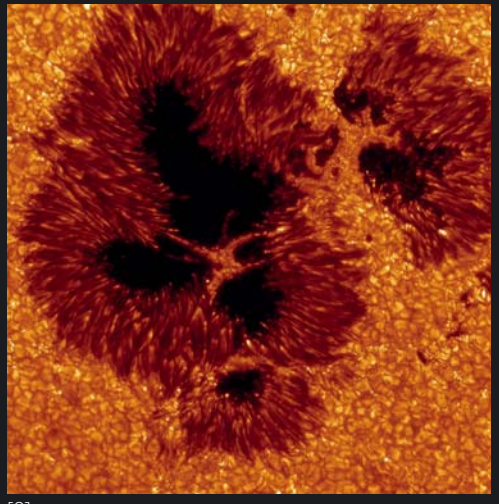
Постепенно пробиваясь из недр Солнца через так называемую зону лучистого переноса, примерно за 100 000 лет энергия доходит до границы внутри него, за которой газ становится непрозрачным, и излучение больше не может в нем распространяться. За этой границей энергия поглощается и нагревает газ во внешних слоях Солнца. Нагреваясь, газ расширяется и становится менее плотным, гигантскими потоками поднимаясь к поверхности сквозь более холодную среду.

В конце этой конвективной зоны атмосфера Солнца снова становится прозрачной — достаточно для того, чтобы излучение могло выйти наружу. Это и есть видимая поверхность Солнца, или фотосфера; температура ее примерно равна 5500 °C (9900 °F). Когда излучение покидает горячий газ, пришедший из конвективной зоны, он остывает и снова опускается вглубь зоны лучевого переноса. Происходит мощная циркуляция конвективных ячеек.

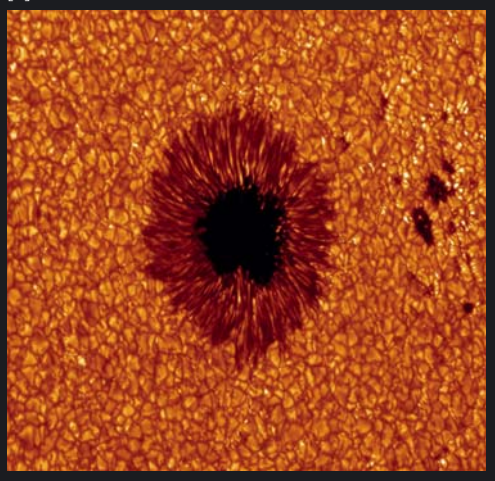
Внешние слои Солнца, лежащие выше фотосферы, более или менее прозрачны. Хромосфера — область разреженного газа, где температура снова растет. Отсюда на высоту до 10 000 км выбрасываются вверх гигантские раскаленные струи — спикулы. Они достигают короны, области еще более разреженной, которую энергия магнитного поля Солнца нагревает примерно до 2 000 000 °C (3 800 000 °F).



[1]



[2]



[3]

[1] Этот крупный план центра солнечного пятна — один из самых четких снимков поверхности Солнца: на нем видны детали размером всего 100 км, в том числе темные нитевидные сгущения вдоль ярких волокон, исходящих из пятна.

[2] Вблизи пиков активности Солнца на нем появляются большие группы пятен. Это происходит, когда гигантские петли солнечного магнитного поля проходят сквозь фотосферу. Размеры групп пятен во много раз больше Земли; они держатся на поверхности Солнца около месяца.

[3] Когда Солнце спокойно, отдельные изолированные пары солнечных пятен могут появляться и исчезать в течение нескольких дней. На снимке — ярко выраженное пятно в месте выхода магнитной петли на поверхность и гораздо более слабое возмущение там, где она снова туда входит.

[на соседней странице] На фото заметна не только большая нерегулярная группа солнечных пятен, но и бурлящая на поверхности Солнца грануляция. Каждая гранула поперечником от 700 до 1 000 км — ячейка горячего газа, поднявшаяся из недр Солнца на поверхность.

Цикл солнечной активности

Большая часть активных процессов на поверхности Солнца не просто случайные возмущения, вызванные ядерным горением в его недрах. В них наблюдается отчетливая периодичность. Солнечная поверхность переходит от состояния тихой заводи к яростному горному потоку и обратно приблизительно за 11 лет. Но, хоть астрономы и считают, что им в целом понятен механизм солнечного цикла, он таит еще много загадок.

Многие детали на поверхности Солнца и над ней, по-видимому, связаны с магнитной активностью. Наверное, самая известная особенность Солнца — темные пятна, которые появляются и исчезают в течение нескольких недель, иногда образуя группы. По размеру каждое пятно может быть больше Земли. На деле солнечные пятна только кажутся темными — они просто холоднее окружающей их раскаленной фотосферы. Если бы пятно можно было удалить с поверхности Солнца и поместить в пространство, оно казалось бы ярким. На снятых с большим увеличением фотографиях пятен можно заметить влияние магнитного поля — внешний край солнечного пятна поразительно напоминает узоры железных стружек в поле сильного магнита.

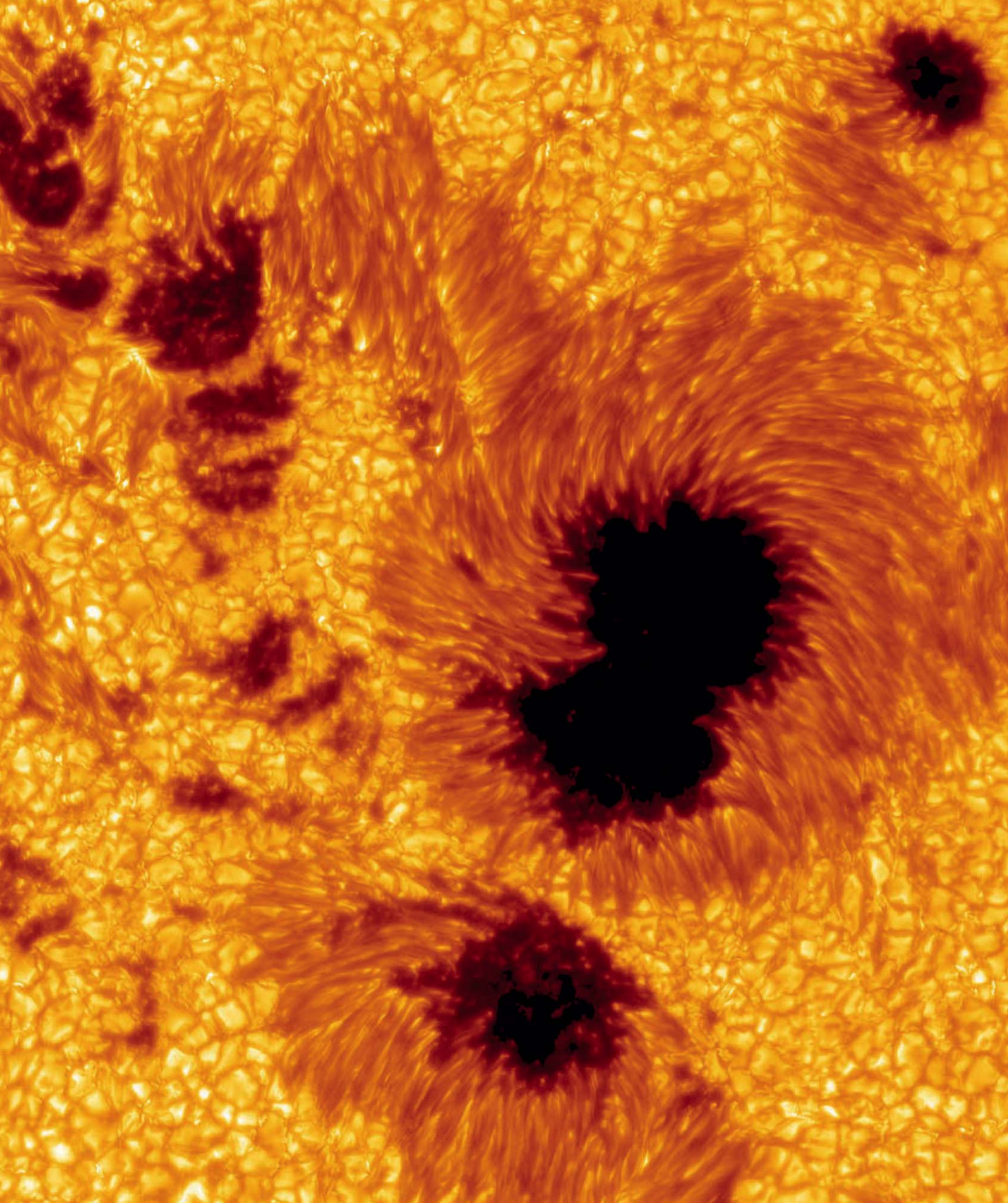
Выше солнечных пятен, в хромосфере, находятся протуберанцы — газовые арки, относительно холодные и светящиеся красным. Их очертания тоже следуют невидимым линиям солнечного магнитного поля. Наблюдаются они в основном во время затмений, когда Луна загораживает собой ослепительный солнечный диск.

Часто можно видеть, как огромные петли магнитного поля «вываливаются» сквозь фотосферу в прозрачные верхние слои солнечной атмосферы. В конце концов поле может замыкать такие петли, после чего, как при электрическом разряде, из них в фотосферу перетекает огромное количество энергии. Эта энергия может нагревать гигантские облака заряженного газа, которые выбрасываются в пространство в виде солнечных вспышек, а при еще большем масштабе события — как «корональные выбросы массы».

Для земного наблюдателя солнечные пятна — самое очевидное свидетельство солнечного цикла. В начале каждого цикла на Солнце видно лишь несколько пятен в интервале широт около 25 градусов к северу и югу от экватора. Нет и других признаков активности: вспышек или протуберанцев.

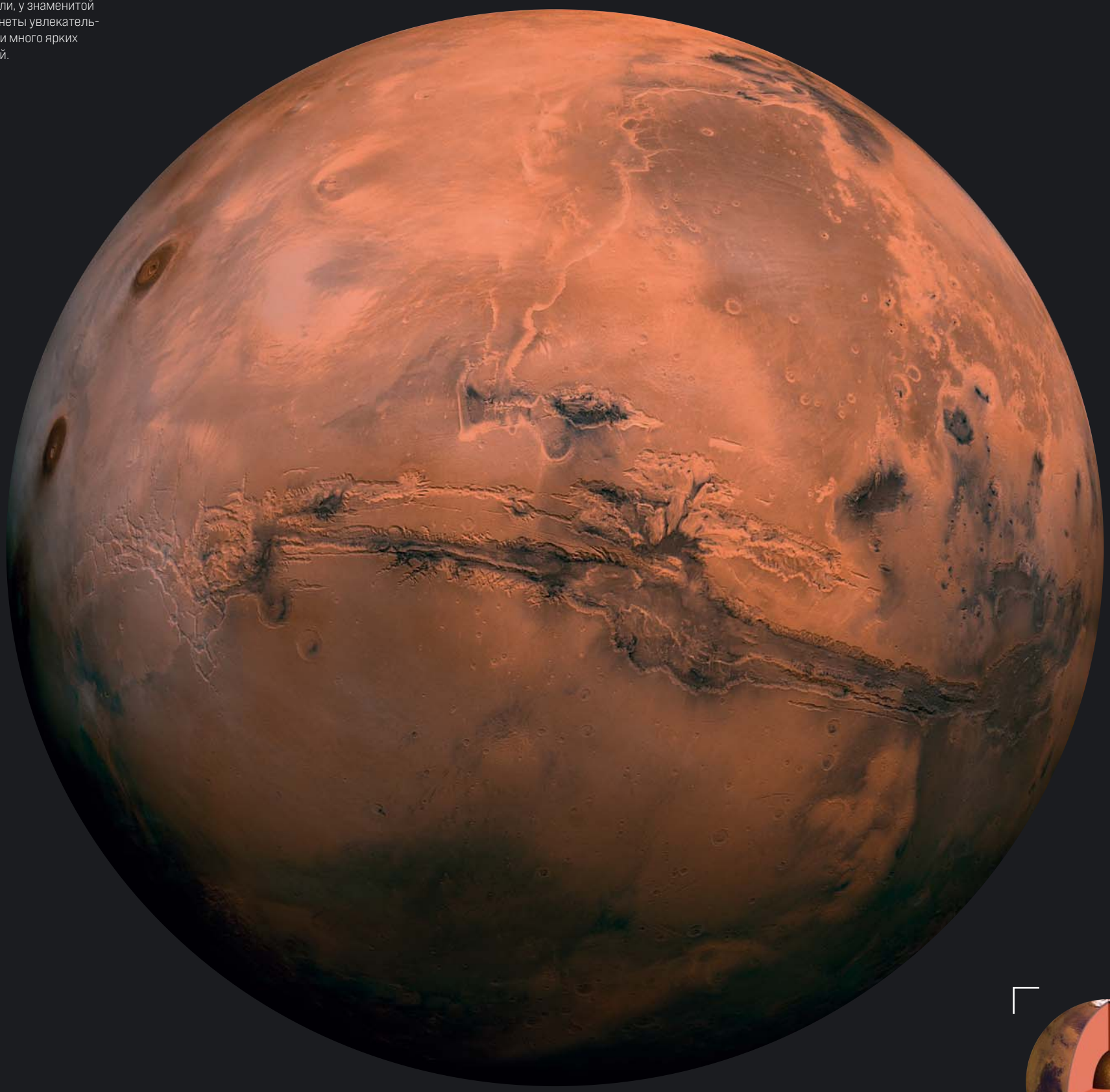
С развитием цикла число пятен постепенно растет, и они становятся ближе к экватору. Больше появляется протуберанцев и вспышек. Примерно через пять лет после начала цикла число пятен достигает максимума, и они концентрируются внутри полосы шириной в 30 градусов вокруг экватора. В течение следующих нескольких лет пятна продолжают приближаться к экватору, но их число спадает и наконец они совсем исчезают, чтобы снова начать появляться на высоких широтах. Хотя в среднем каждый такой цикл длится 11 лет, в конце его меняются знаки магнитной полярности каждой пары пятен и магнитного поля Солнца в целом, так что в действительности Солнце возвращается к прежнему состоянию примерно каждые 22 года.

Изменения солнечного магнетизма — ключ к пониманию природы солнечного цикла. Магнитное поле Солнца не похоже на поле Земли, генерируемое вращающимися массами проводящей жидкости вблизи ее центра. На Солнце поле создается крупномасштабными движениями заряженного газа в его недрах. Так как на разных широтах Солнце совершает оборот с разной скоростью (от 25 дней на экваторе до 34 дней на полюсах), первичное магнитное поле всего через несколько оборотов начинает деформироваться. Когда массы газа с различными магнитными полями сталкиваются друг с другом, силовые линии этих полей запутываются, образующиеся магнитные петли пробивают себе путь на поверхность сквозь фотосферу и создают там более холодные участки: солнечные пятна. Петли, как и пятна, сначала появляются на высоких широтах и постепенно смещаются к экватору. Увеличиваясь в числе и размерах, они начинают взаимно уничтожаться, ослабляя магнитное поле Солнца, пока в конце 11-летнего цикла оно не исчезает полностью, «переворачивается» и возрождается уже с противоположной полярностью.



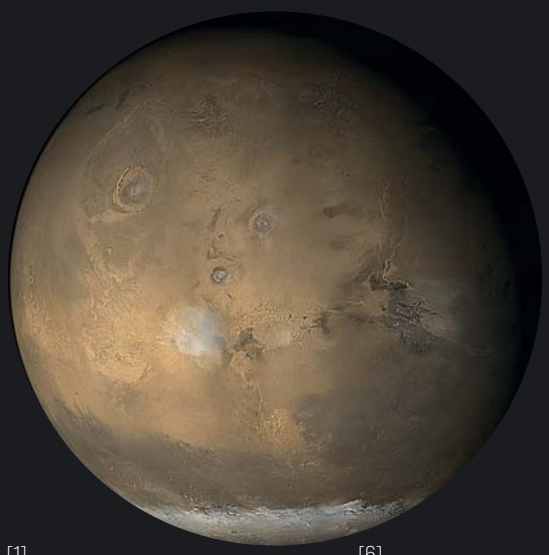
Марс

Хотя Марс и значительно меньше Земли, у знаменитой Красной планеты увлекательная история и много ярких особенностей.

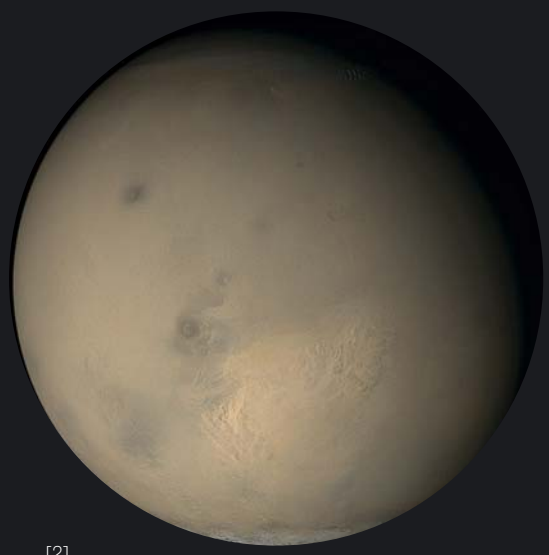


Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
3,1	6780	0,11	24,6	687	1,9	25,19	–150	0,38
световые минуты	км	массы Земли	часа	дней	градуса	градуса	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)

Внутреннее строение Марса проще, чем у внутренних планет большего размера: ядро относительно маленькое и, вероятно, затвердевшее, над ним — глубоко залегающая мантия, потом кора, которая толще всего под южными горными хребтами.



[1]



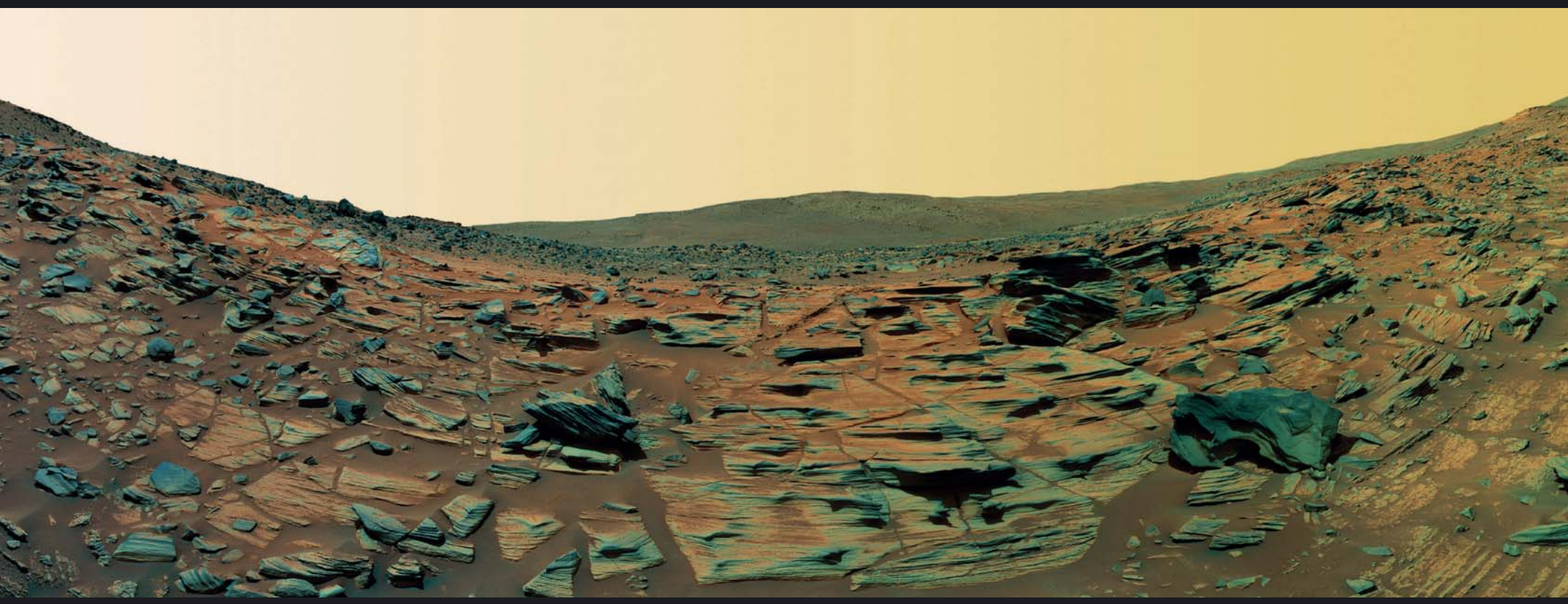
[2]

[1] [2] Периодически в атмосфере Марса возбуждаются сильные ветры, которые поднимают пыль почти по всей его поверхности: возникают глобальные пылевые бури. Эти два фото одного и того же полушария Марса получены в июне и июле 2001 г.

[3] Эта панорама усеянного камнями склона кратера Гусев (см. стр. 48) получена в искусственных цветах марсоходом NASA «Спирит» в 2006 г. U-образная форма кадра объясняется наклоном камеры марсохода. Несмотря на слоистый вид, большая часть камней на фото имеет вулканическое происхождение.

[4] Фобос, большая из двух марсианских лун — каменная глыба неправильной формы менее 27 км в поперечнике — обращается вокруг Марса на расстоянии всего 9380 км от его поверхности и с каждым оборотом медленно теряет высоту. Но прежде, чем он упадет на Марс, гравитация планеты разорвет его на части.

[5] Поперечник Деймоса всего 15 км, а его орбита дальше от поверхности Марса, чем орбита Фобоса: около 23 500 км. Неправильная форма и изрытая кратерами поверхность обеих лун говорит о том, что это захваченные притяжением Марса астероиды.



[3]

Из всех планет Солнечной системы Марс больше всех напоминает Землю. Хотя между ними остаются и поразительные отличия, все же мы видим, что когда-то здесь текли реки, волны лизали берега древних океанов, а может быть, существовала и жизнь.

Марс — относительно маленькая планета. При диаметре всего 6792 км, он обладает силой тяжести, равной лишь трети земной. Но так как от Солнца он дальше, он способен удерживать заметную атмосферу (правда, атмосферное давление здесь составляет только один процент земного). День на Марсе лишь чуть длиннее нашего, и наклон его оси к плоскости орбиты примерно такой же, что и у Земли, поэтому здесь тоже происходит смена времен года. Различие, однако, в том, что орбита Марса гораздо более вытянута, чем у Земли: его расстояние до Солнца меняется от 205 млн км в ближайшей точке орбиты до 250 млн км в самой дальней. Времена марсианского года постепенно «съезжают» по орбите; поэтому на Марсе существует очень длинный климатический цикл протяженностью в десятки тысяч лет от «ледникового периода» до относительно теплых времен.

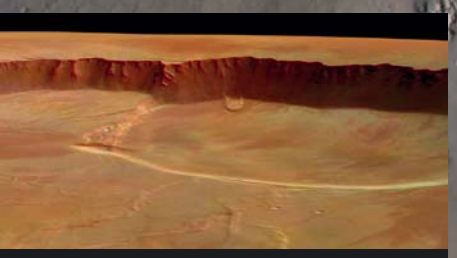
До космической эры астрономы знали о Марсе относительно мало. Они видели, что там есть полярные шапки, уменьшающиеся летом и растущие зимой. Они отмечали на поверхности планеты множество темных деталей, но не представляли, чем они могут быть. Некоторым даже казалось, что они видят длинные прямые каналы, соединяющие эти детали (см. «Каналы на Марсе», стр. 47). Казалось вполне вероятным, что на Марсе есть растения, и многие заходили еще дальше, допуская, что на Красной планете может существовать разумная жизнь.

Однако первые же прямые снимки Марса с близкого расстояния, переданные в 1960-х космическими зондами, пролетевшими мимо планеты, всех разочаровали: красноватая, усеянная кратерами, как на Луне, поверхность, почти никаких признаков геологической активности или присутствия воды, на что многие так надеялись. Но эта картина Красной планеты снова изменилась в 1971 г., когда «Маринер-9» вышел на орбиту вокруг Марса и выполнил первый подробный фотографический обзор его поверхности. По чистому невезению все три предыдущих зонда прошли над изъеденными кратерами южными горными массивами. Северное полушарие планеты оказалось гораздо интереснее: низкие песчаные равнины, огромные вулканы и гигантская система каньонов — долина Маринера. Эти вулканы и каньоны — признаки крупномасштабной геологической активности на протяжении всей истории Марса.

Посадку на Марс впервые совершили космические аппараты «Викинг» в середине 1970-х. Но затем последовала полоса неудач: аварии и ошибки в расчетах привели к потере нескольких зондов. Серьезное изучение Марса возобновилось только в 1997 г. Новые орбитальные аппараты с более мощными камерами стали фотографировать его поверхность; некоторые из них использовали технику «дистанционного зондирования», часто применяемую для мониторинга атмосферных процессов и поверхности на Земле. На Марс высадилось несколько марсоходов, которые колесили по нему вдоль и поперек, передавая на Землю высококачественные фото марсианских пейзажей, сводки погоды, анализ состава камней. Все это позволило получить подробное представление о Красной планете.

[4]

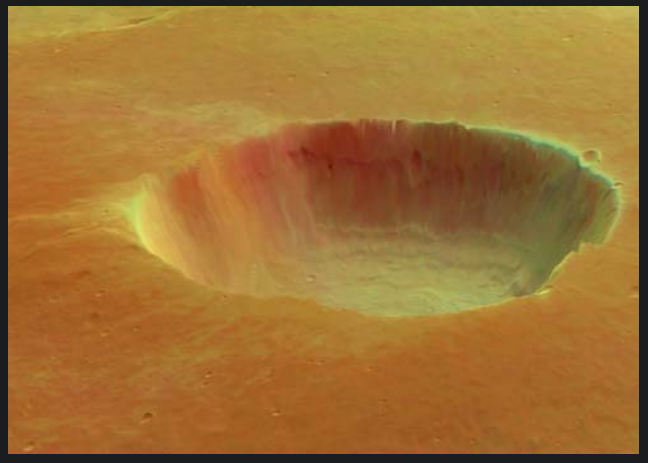
[5]



[Главное фото] Снимки, полученные орбитальными аппаратами «Викинг», демонстрируют общую протяженность горы Олимп. Основание вулкана поперечником 500 км окружено кольцом отвесных утесов высотой несколько километров. Гора поднимается на высоту 27 км, причем подъем склона настолько пологий, что почти незаметен.

[Деталь] На вершине вулкана находится кальдера — кратер сложной структуры, 52 км шириной. Каждый круглый кратер внутри кальдеры отмечает отдельный период активности вулкана — самый крупный из них соответствует последним по времени извержениям, которые имели место около 140 миллионов лет назад.

[1]



[2]

[3]

[1] Цепочка Флегетона — ряд круглых углублений в окрестности оползня или грабена (канала), вблизи гигантского плоского вулкана Патера Альба. Грабен и углубления, возможно, образовались, когда поверхность растягивалась и породы под ней размягчались и оседали.

[2] Купол Альбор — малый вулкан, 30 км в поперечнике и 3 км высотой, вблизи гораздо более высокой горы Элизий. На трехмерном изображении — центральная кальдера, почти такой же глубины, как высота вулкана. Судя по фото, дно кальдеры покрывает пыль, осыпавшаяся со стен кратера.

[3] Патера Библиды — типичная марсианская патера, низкий и протяженный вулкан, окруженный системой радиальных борозд и гребней. Патеры — уникальные, сугубо марсианские образования. Считается, что это «пепельные вулканы», образовавшиеся, когда подземная магма соприкасалась с водой и взрывом выбрасывалась на поверхность. Вокруг места взрыва разлетался пепел, образуя тонкий, легко выветривавшийся покров.

Марсианские вулканы

Вулканы сыграли важную роль в изменениях поверхности Марса на протяжении его истории. Сегодня все самые величественные вулканы расположены на нагорье Фарсида (Тарсис), огромном вздутии поверхности планеты поперечником около 4000 километров высотой 10 км над средним уровнем марсианской поверхности. Следы вулканической активности повсеместно рассеяны и вне нагорья Фарсида.

Центральную часть комплекса Фарсида образуют четыре вулкана. Три относительно небольших — Арсия, Павлин и Аскрея — протянулись 1500-километровой цепью через центр возвышенности. Каждый из них сравним по размерам с крупнейшими вулканами нынешней Земли — Гавайской вулканической цепью в Тихом океане. К юго-востоку от них лежит циклопическая громада горы Олимп — высочайшей горы в Солнечной системе. Этот монстр с основанием более 500 км в поперечнике возносится на 17 км над нагорьем Фарсида и на 27 км над средним уровнем марсианской поверхности.

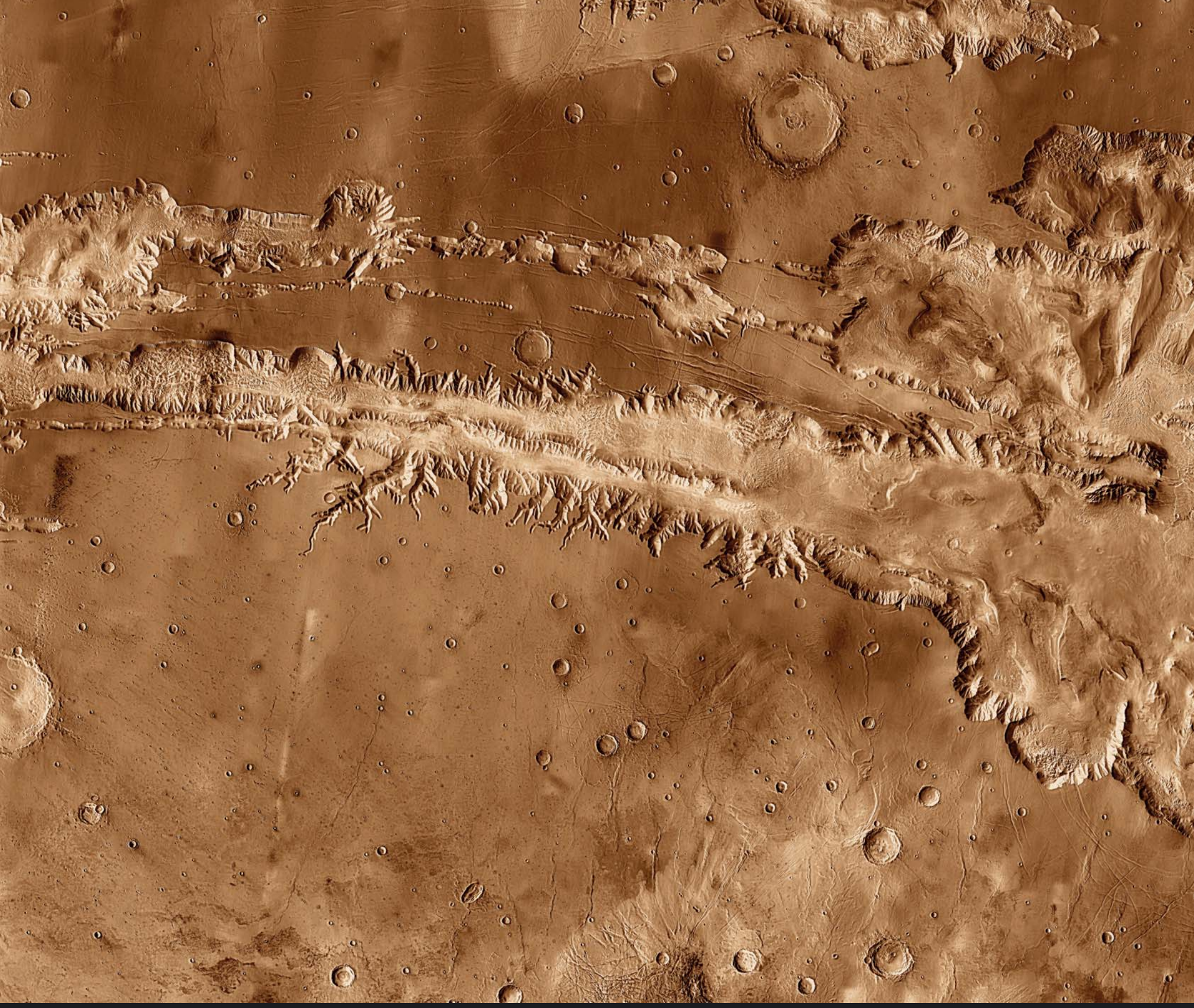
Все это щитовые вулканы — конические вершины, образованные за миллионы лет слоями лавы, извергающейся из слабых точек марсианской поверхности. Но как ни эффектно они выглядят с орбиты, смотреть на них с поверхности было бы неинтересно — их склоны растянуты на такое огромное пространство, что подъем казался бы почти неощутимым. Только в нескольких местах, таких, как шестикилометровые отвесные утесы вокруг некоторых склонов Олимпа, масштаб этих гигантов был бы заметен.

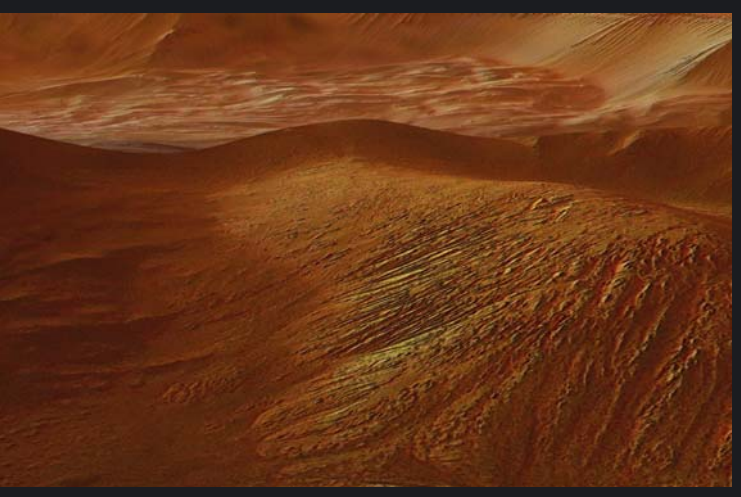
Другой вид марсианских вулканов — патеры. Это низкие овальные детали рельефа в областях, где обширные потоки лавы вытекали из трещин в поверхности. Самая известная из них — патера Альба, крупнейший марсианский вулкан диаметром 1600 км. Несмотря на огромную протяженность, патера Альба возвышается над средним уровнем марсианской поверхности всего на 3 км (2 мили). Имеется и множество других вулканических образований, больше похожих по масштабу на земные.

Как и в случае Венеры, одним из главных нерешенных вопросов остается проблема источника вулканической активности Марса. На Земле вулканы обычно встречаются на границах тектонических плит, но на Марсе никаких следов плит не заметно. Может быть, как на Венере, раз в несколько сот миллионов лет глобальные извержения перекраивают всю поверхность планеты, когда давление в ее недрах достигает критической точки? Но на Марсе очевидно никогда не было такой глобальной перекройки поверхности, как на Венере. По относительному числу кратеров, накопившихся на разных территориях Марса, ясно видно, что различные вулканы были активны в разные эпохи.

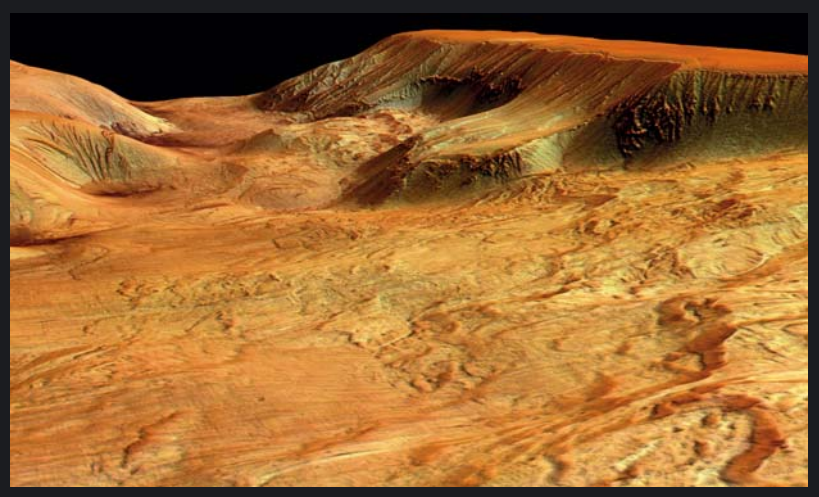
Ключом к решению этого вопроса может быть сходство между цепью вулканов Фарсиды и Гавайской вулканической грядой на Земле. У нас такие горные цепи образуются там, где твердая плита пересекает горячее пятно — тепловой выброс, поднимающийся из недр сквозь мантию. Горячее пятно прожигает в коре отверстие, и извергающаяся лава вырастает в вулканическую гору. Нечто подобное могло происходить и на Марсе. Так как он меньше Земли и Венеры, в его недрах могло не хватить тепла, чтобы вызвать глобальные извержения, но горячие пятна в мантии могли приводить к появлению локальных вулканов и отводить тепло изнутри. Такое горячее пятно могло быть причиной рождения и всего нагорья Фарсиды.

Активны ли марсианские вулканы в наши дни? Мы не видели никаких признаков извержений, но, судя по количеству кратеров, некоторые лавовые потоки очень молоды — возможно, они образовались за последние 150 миллионов лет. Хоть это и много в человеческом масштабе времени, но, если вспомнить об огромной продолжительности этапов планетарной истории, надо признать, что говорить с определенностью об окончании активности марсианских вулканов еще слишком рано.

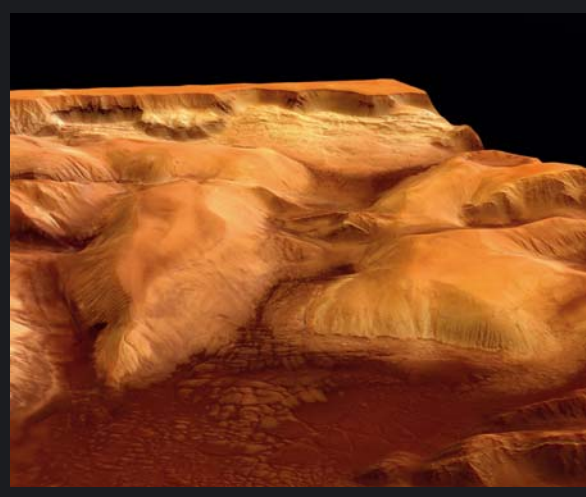




[1]



[2]



[3]

Долина Маринера

Самое впечатляющее геологическое образование на Марсе — а может быть, и во всей Солнечной системе — это долина Маринера, гигантская система каньонов. По сравнению с ней подобные формации на Земле, такие, как Большой каньон, выглядят карликами: долина Маринера протянулась вдоль южной стороны вулканического нагорья Фарсида на 4000 км. Такой каньон пересек бы весь североамериканский континент.

Эти каньоны не только длинные — они еще и широкие. Отдельные долины могут достигать 100 км в ширину и 6 км в глубину, а в местах, где комплекс разделяется на параллельные каньоны, его полная ширина доходит до 600 км. Долина Маринера берет начало на западе, среди сложного переплетения эрозионных ущелий и разломов, называемого Лабиринтом Ночи (Noctis Labyrinthus). Дальше на восток эти ущелья сливаются в более глубокие и широкие каньоны Тифона и Ио.
В их центральной части, где эти каньоны шире всего, грандиозные обвалы сформировали обширную впадину с несколькими столообразными плато посредине — каньоны Офир и Кандор. Еще восточнее примерно на 1000 км тянется ряд параллельных впадин — каньон Копрат. И наконец, восточная часть комплекса заканчивается каньонами Капри и Эос.

Заманчиво было бы довести сравнение с Большим каньоном на Земле до конца, но сейчас уже ясно, что, в отличие от него, долина Маринера образовалась не в результате эрозии, вызванной реками или ледниками. Вода, конечно, здесь и протекала, и накапливалась — местами встречаются следы осадочных пород, которые слой за слоем образовывали мелкие частицы ила на дне озер, а весь Лабиринт Ночи определенно сформировался из нескольких речных долин, по которым вода стекала в более глубокий каньон. Но основной комплекс каньонов, по всей видимости, является результатом действия более мощных геологических сил.

Как же именно он образовался? Наиболее вероятно, что этот колоссальный разлом в марсианской коре произошел в ответ на формирование гор Тарсиса (Фарсиды). А само гигантское вспучивание, породившее Фарсиду, могло быть результатом давления изнутри мантии, или просто масштабным извержением лавы из расположенных вблизи гигантских вулканов. В любом случае само существование горного массива ведет к сильнейшим напряжениям в коре, заставляя ее трескаться, чему сопутствуют опускания почвы. Некоторые эксперты считают, что вокруг каньона Кандор имеются следы масштабных оползней, а это означает, что по крайней мере некоторые стадии его формирования проходили с участием жидкости. По их мнению, активные вулканы Фарсиды растопили подповерхностные льды на огромной площади и грязевые потоки хлынули сквозь трещины в стенах каньона, превратившись в селевые паводки и разрушая все на своем пути.

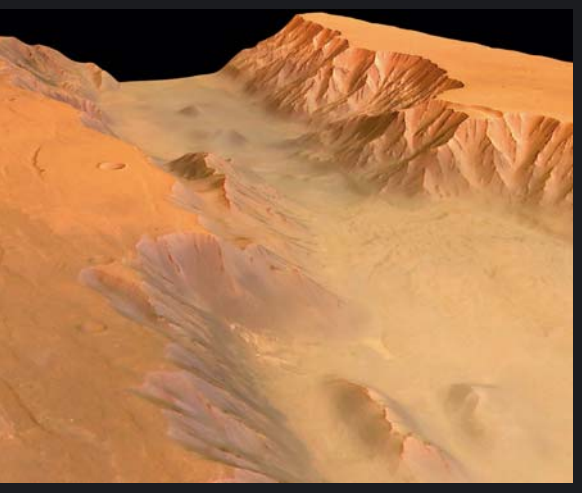
[Главное фото] Это мозаичное изображение центрального участка долины Маринера длиной около 3 000 км, от каньона Ио на западе до Капри и каньона Эос на востоке, впервые полученное с таким уровнем детализации, составлено более чем из 500 фото, снятых орбитальной инфракрасной камерой. Цвета соответствуют реальной окраске марсианской поверхности.

[1] Вид на север через каньон Тифона, относительно узкое ущелье в северо-западной части долины Маринера. Полосы на почве — результат эрозии под воздействием либо воды, либо ветра.

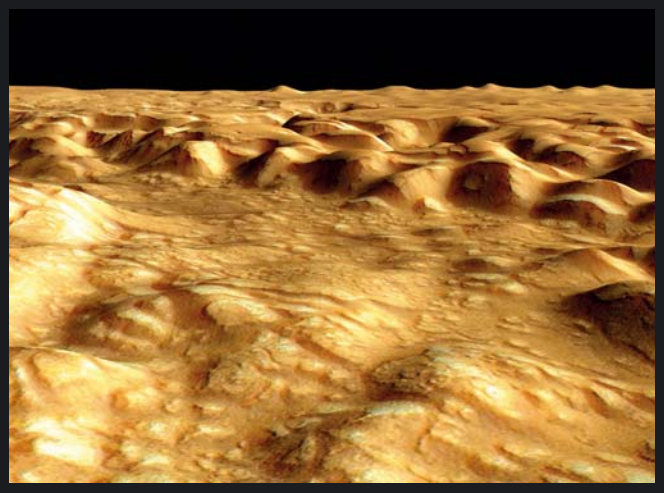
[2] [3] Каньон Офир находится в северном конце гигантского ряда связанных между собой котловин в самом центре долины. Эти котловины, вероятно, образовались вследствие колоссальных обрушений стен долины, после чего в ней осталось лишь несколько плоских возвышенностей.

[4] Каньон Копрат — широкий канал, идущей к востоку от центральных котловин, образованных резкими опусканиями коры. Это одна из самых выделяющихся частей всей долины Маринера, шириной от 60 до 100 км и глубиной местами до 8 км.

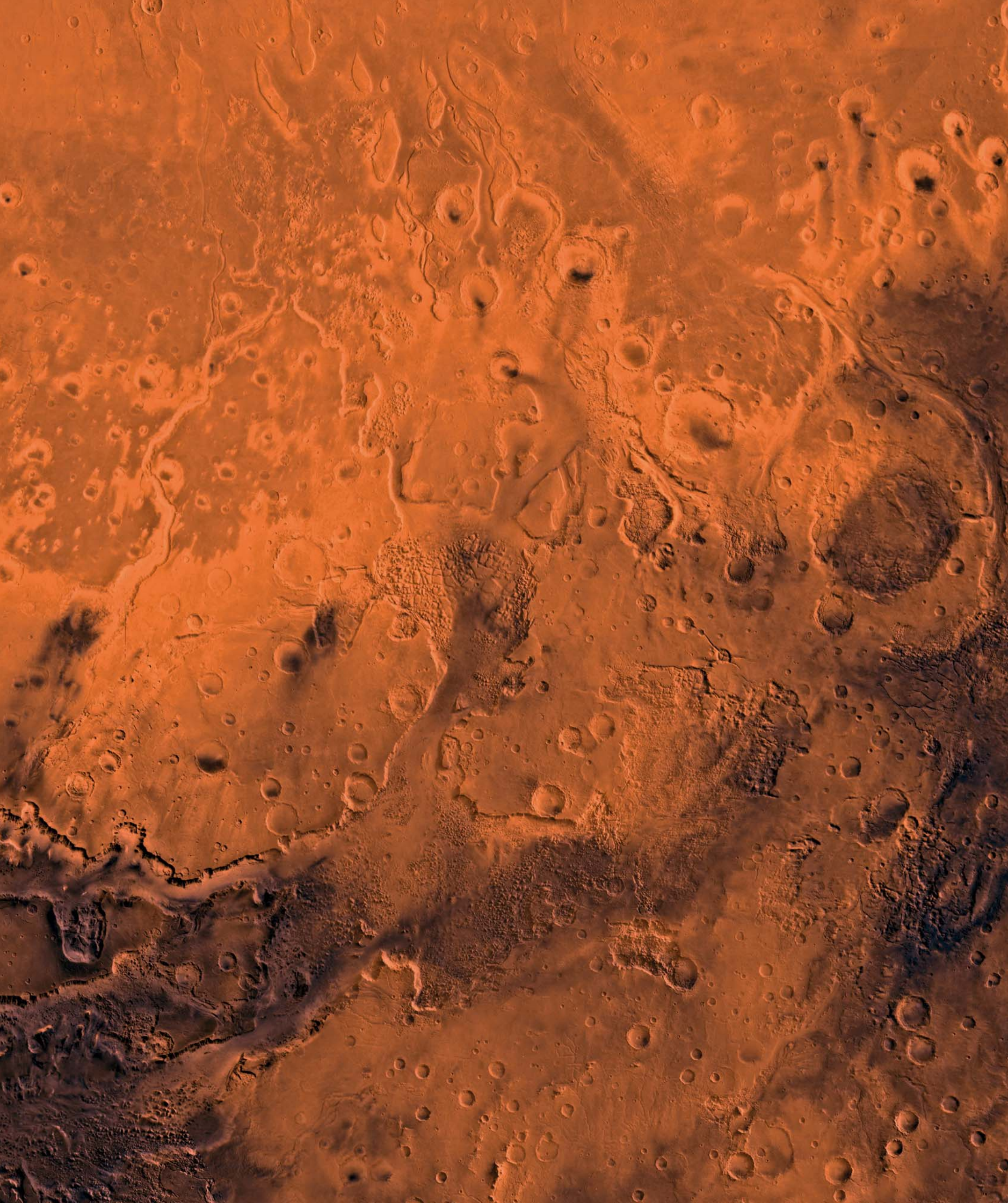
[5] Хаос Золотой — область в восточной оконечности долины, по-видимому, образованная наложением слоев осадочных пород, когда по долине текла вода. Впоследствии что-то (скорее всего, исчезновение нижележащего слоя водяного льда или магмы) вызвало в этой области масштабные обвалы.



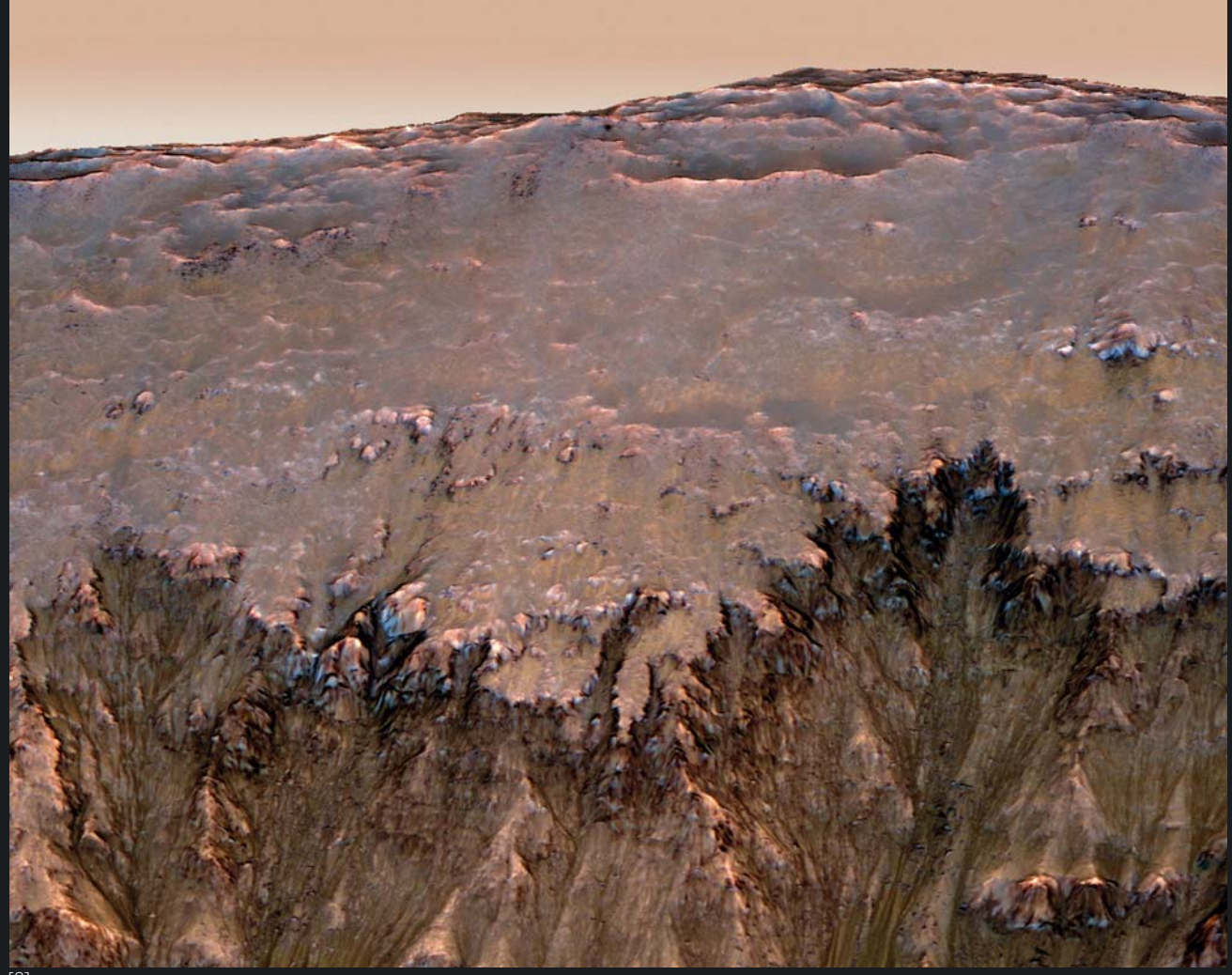
[4]



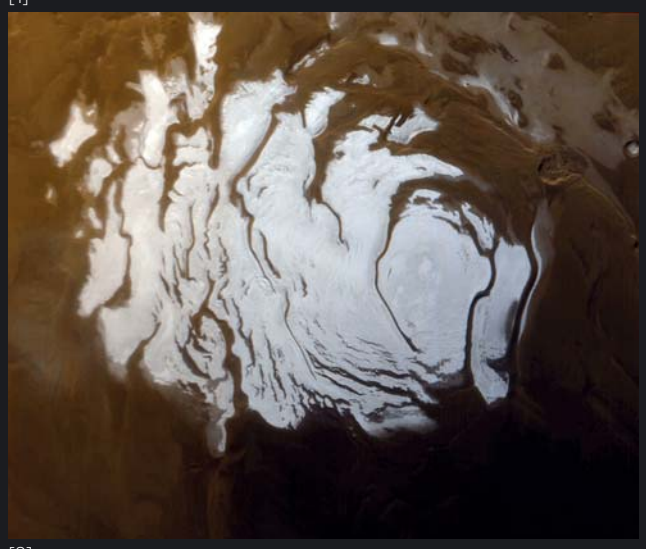
[5]



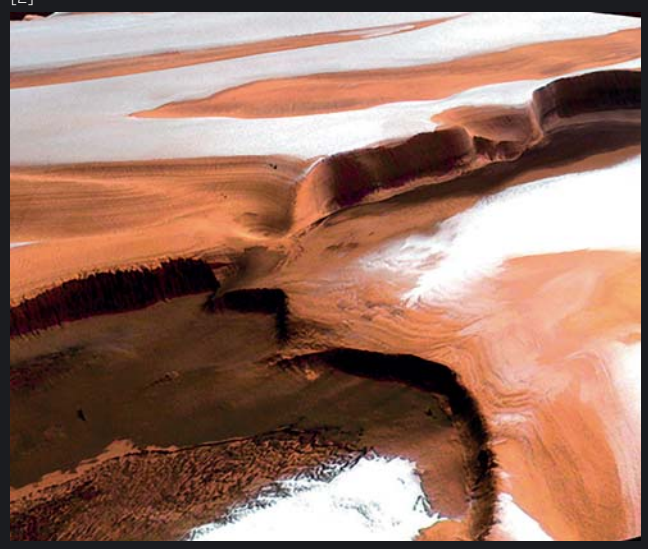
[1]



[2]



[3]



[4]

[На соседней странице] Сточные каналы Хриса идут от южных нагорий Марса на север, к равнине Хриса (или Золотой равнине). Они возникли в результате эпизодических катастрофических наводнений.

[1] Извилистые овраги в расположенном в южном полушарии кратере почти наверняка были образованы кратковременными потоками воды. В некоторых местах орбитальный зонд NASA «Марсианский разведчик» нашел подтверждение тому, что за относительно короткое время здесь формировались новые овраги.

[2] На этом составном трехмерном фото — узкие и темные каналы на склонах кратера Ньютон в южном полушарии Марса. Каждый шириной всего в несколько ярдов, эти каналы увеличиваются в теплое время года, предположительно, из-за потоков соленой воды, и сходят на нет зимой.

[3] Южная полярная шапка состоит из смеси твердой углекислоты и водяного льда. Этот снимок сделан марсианским летом, когда поперечник шапки минимален: около 420 км. Во время зимних холодов она увеличивается по крайней мере вдвое.

[4] Северная полярная шапка состоит из слоев водяного льда и твердой двуокиси углерода. На этом трехмерном изображении отчетливо заметны террасы вокруг обоих полюсов планеты. Считается, что их вырезают из льда господствующие ветра, которые способствуют испарению и разрушению одних участков, другие оставляя нетронутыми.

Вода на Марсе

Ледяные шапки на северном и южном полюсах Марса — одни из самых заметных образований на Красной планете. Ослепительно белые по контрасту с общей красноватой окраской планеты, они от сезона к сезону меняют форму, протяженность и яркость. Скорость этих изменений подсказывает, что полярные шапки Марса несколько отличаются от земных. Дело в том, что состоят они в основном из летучей двуокиси углерода («сухого льда»), который, как только в полушарии наступает весна, быстро испаряется и накапливается на противоположном полюсе, где как раз начинается зима.

Сейчас, однако, ясно, что под углекислотой на сотни миль вокруг обоих полюсов залегает большое количество водяного льда. Лед остается невидимым, так как образует в соединении с красной марсианской почвой слой «вечной мерзлоты», а сверху располагается еще и слой пыли, который то и дело сдувается и перераспределяется по поверхности. Снимки, полученные орбитальными космическими зондами последнего поколения, в том числе европейским «Марс Экспресс» и запущенным NASA «Марсианским орбитальным разведчиком», подтверждают, что ледяные залежи тянутся до довольно низких широт.

Еще первые космические зонды, из наблюдений которых Марс представал холодной и сухой планетой, выявили детали рельефа, отчетливо напоминавшие русла высохших рек. Ученые долго пытались выяснить, какие процессы могли рассеять древние марсианские воды в космическом пространстве. Теперь кажется гораздо более вероятным, что большие их запасы скрыты от глаз под почвой. Марсоходы, в том числе посланные NASA «Спирит», «Оппортюнити» и «Кьюриосити», нашли там глину и другие минералы, которые могли образоваться только в устойчиво существующих водоемах: реках и озерах. Химические данные говорят о том, что воды на Марсе имели сбалансированный состав — не были ни чрезмерно кислотными, ни слишком щелочными.

Но есть ли открытая вода на Марсе сегодня? Первые признаки того, что это возможно, принесло открытие свежих, нетронутых эрозией оврагов на склонах некоторых марсианских каньонов — они явно были образованы жидкостью, просачивающейся из-под поверхности, причем, по всей видимости, недавно. Подповерхностные грунтовые воды выглядели очевидным решением, хотя некоторые скептики предпочли другую модель: быстрое таяние «сухого льда», который, прежде чем испариться, мог на короткое время перейти в жидкую фазу.

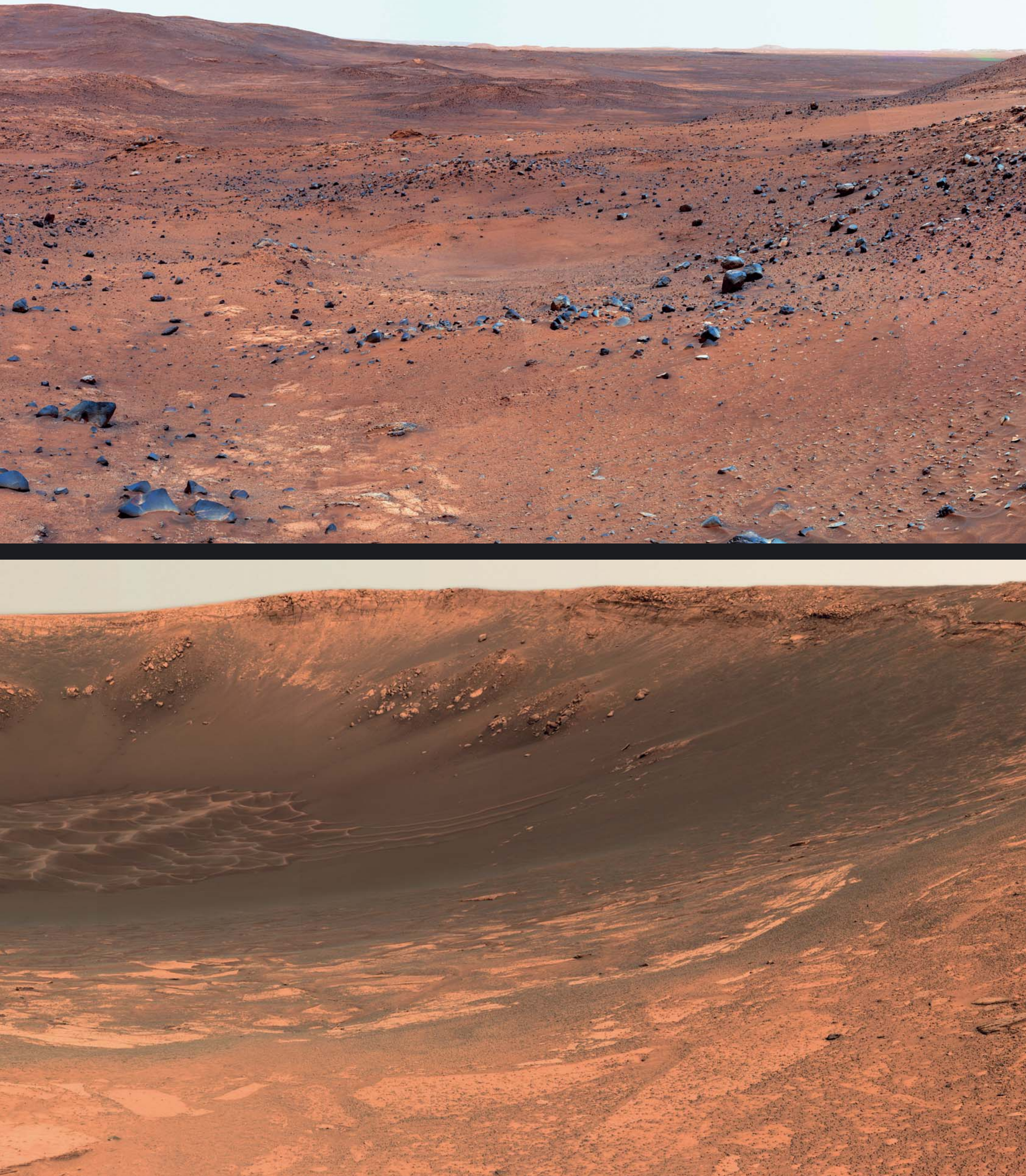
В 2011 г. новые фото с борта «Разведчика» дали, по-видимому, решающее доказательство в этом споре: были открыты узкие темные «каналы», или «протоки», весной и летом выступающие на некоторых крутых склонах в южном полушарии Марса. Подробный механизм образования этих деталей пока еще не вполне ясен, но относительно долгоживущие потоки соленой минерализованной воды, выбивающиеся из-под поверхности, конечно, выглядят наиболее вероятным объяснением.

• Взгляды меняются

С XIX века до начала космической эры большинство ученых не сомневалось в присутствии воды на Марсе. Хотя каналы, замеченные на нем в 1877 г. итальянским астрономом Джованни Скиапарелли, были в конце концов признаны оптической иллюзией (после того, как некоторые энтузиасты уже объявили их искусственными сооружениями), все равно не было сомнений, что на Марсе есть обильные подпочвенные воды, а возможно, и сезонная растительность, если не разумная жизнь. В начале 1970-х первый же марсианский орбитальный зонд «Маринер-9» разнес эти представления в прах — Марс оказался сухой, холодной, каменистой пустыней. С тех пор, однако, почти каждый очередной космический зонд приносил все новые свидетельства существования там воды, как в прошлом, так и в настоящем — хотя в основном скрытой под поверхностью и аккумулированной в полярных шапках и ледниках.

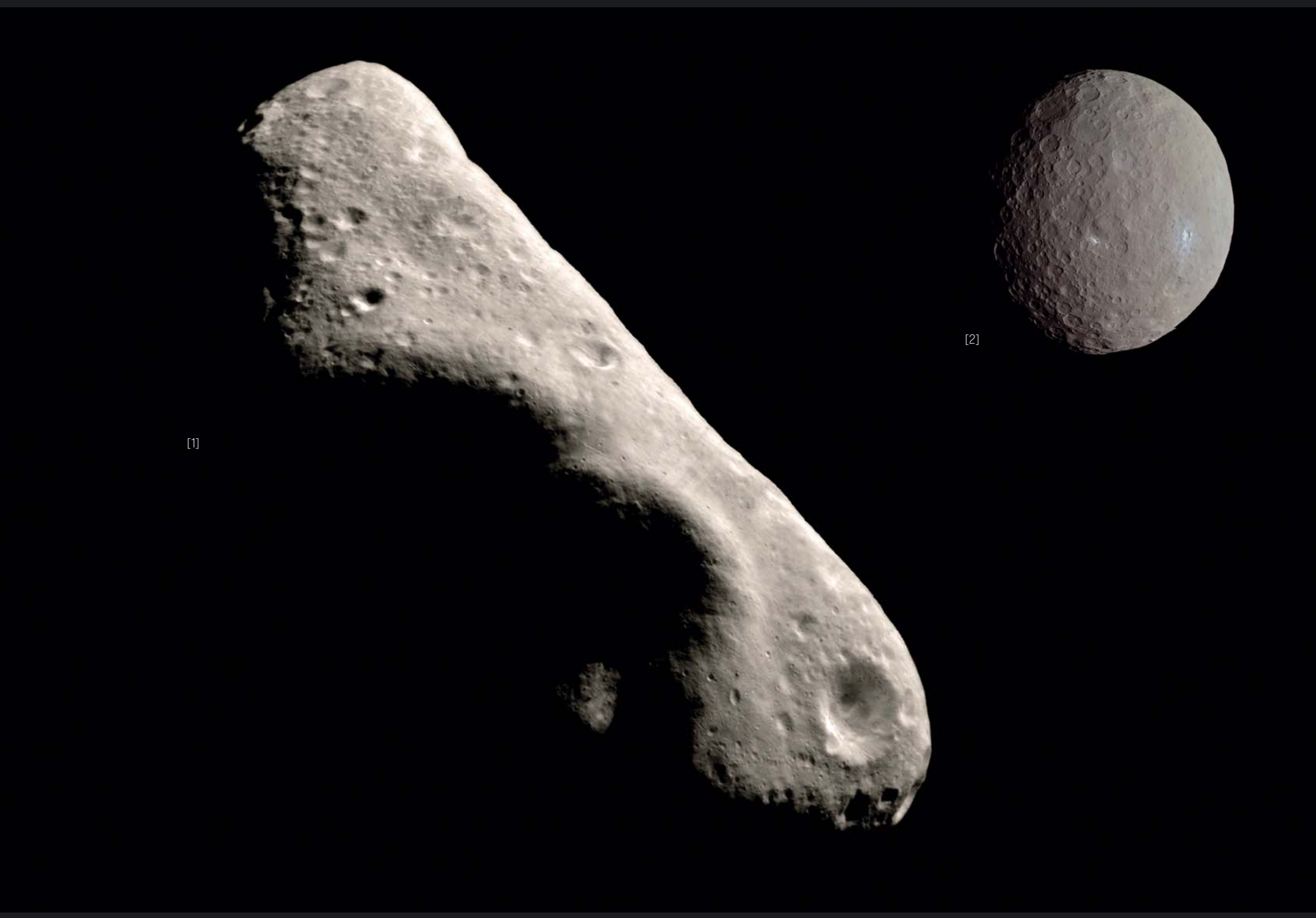
[Вверху] В 2004 году NASA высадило на Марс роверы «Спирит» и «Оппортюнити». Первый приземлился в кратере Гусева, который считался ложем древнего озера, и отправился на поиски следов воды. Марсоход поднялся на вершину низкого холма Хазбенда (Husband Hill), а спускаясь с него, снял это фото.

[Внизу] Кратер Стойкости — маленький кратер диаметром 130 м, неподалеку от места посадки марсохода «Оппортюнити» на плато Меридиана. Эта равнина когда-то была дном древнего марсианского моря, и поверхность кратера оказалась покрыта слоями осадочных пород.



Астероиды

Границу между внутренней и внешней частями Солнечной системы «патрулируют» по меньшей мере 200 миллионов астероидов, из них около 100 000 размером более 20 км.



[1]

[2]

[3]

[4]

[5]

[1] **Эрос**
Углеродистый
АСТЕРОИД 433
Этот околоземный астероид посещался и интенсивно исследовался космическим зондом «NEAR Шумейкер» в 2000–2001 гг. Он оказался довольно твердым каменным телом в форме картофелины.
Перигелий: 1,13 а.е.
Афелий: 1,78 а.е.
Длина: 31 км.
Период обращения: 1,76 года.

[2] **Церера**
Углеродистый
АСТЕРОИД 1
Церера — самый крупный объект пояса астероидов. По новой классификации это карликовая планета. Имеет тонкую атмосферу. Поверхностью напоминает углеродистые астероиды, со светлыми ледяными пятнами.
Радиус орбиты: 2,77 а.е.
Диаметр: 950 км.
Период обращения: 4,6 года.

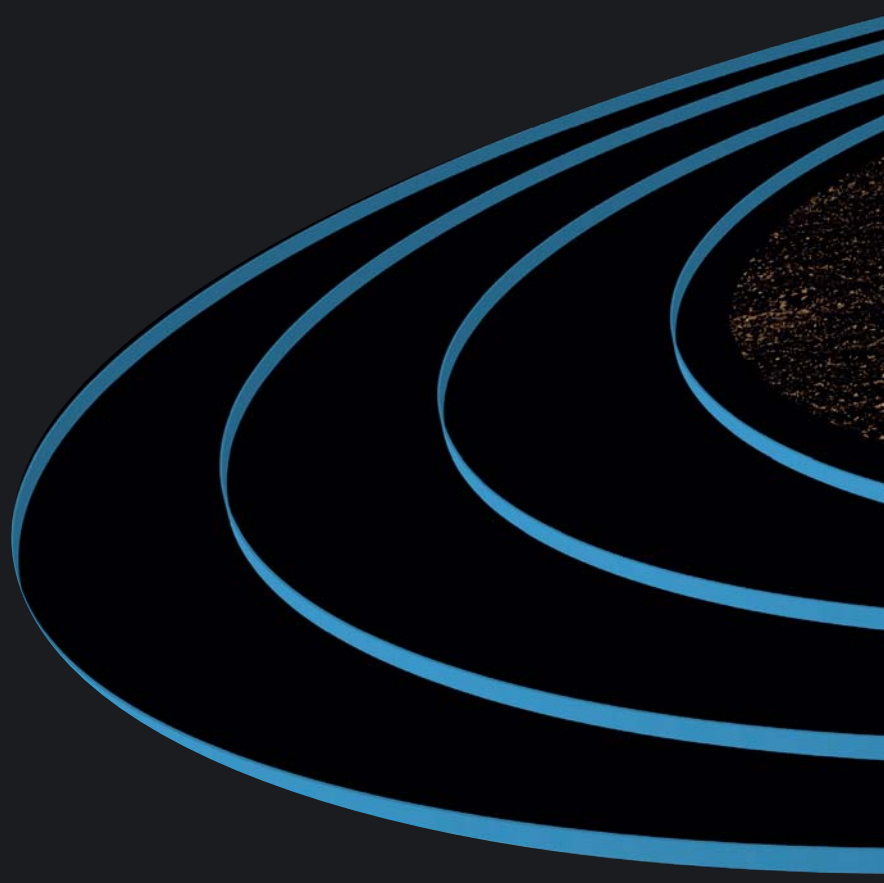
[3] **Ида и Дактиль**
Углеродистые
АСТЕРОИД 243
Астероид Ида был первым, у которого найден собственный спутник. Как мы теперь знаем, спутники астероидов и двойные астероиды не редкость.
У некоторых астероидов спутники могли появиться вследствие столкновений.
Радиус орбиты: 2,86 а.е.
Длина: 60 км.
Период обращения: 4,84 года.

[4] **Веста**
Каменный / Металлический
АСТЕРОИД 4
Веста, один из крупнейших астероидов, отличается и самой светлой поверхностью, образованной необычным слоем вулканического базальта. Его форма искажена гигантским кратером на южном полюсе.
Радиус орбиты: 2,36 а.е.
Диаметр: 500 км&
Период обращения: 3,63 года.

[5] **Матильда**
Углеродистый
АСТЕРОИД 253
Матильда — астероид главного пояса, состоящий из богатой углеродом каменной породы. В его недрах, вероятно, много пустот — для своих размеров у него очень низкая масса.
Радиус орбиты: 2,65 а.е.
Диаметр: 66 км.

Внешние планеты

Четыре гигантских планеты внешней Солнечной системы — покрытые облаками, сотрясаемые бурями миры, во много раз превосходящие размерами Землю. Их окружают многочисленные свиты спутников и густые рои тел еще меньшего размера.



По ту сторону Пояса астероидов, во внешней области Солнечной системы господствуют газовые гиганты. В порядке удаления от Солнца это Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В этой области и за ее пределами обращается и множество ледяных тел, в том числе кометы и «ледяные карлики», такие, как Плутон.

За Поясом астероидов лежит область гигантов — четырех циклопических планет, каждая из которых гораздо больше Земли, однако по плотности заметно уступает каменным внутренним планетам. Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун часто собирательно называют «газовыми гигантами», но в действительности они образуют две пары с довольно различным внутренним строением. Истинные газовые гиганты — это Юпитер и Сатурн. Они почти полностью состоят из легких газов: водорода и гелия, того же вещества, из которого образовалось и само Солнце. Это огромные тела, соответственно в 11 и 9,5 раза больше Земли по диаметру. Зеленовато-голубые Уран и Нептун значительно меньше, диаметр каждой из этих планет примерно вчетверо больше земного. Преобладают в их составе не газы, а льды — летучие вещества, которые быстро испарились бы, будь планеты ближе к Солнцу. Наверное, правильнее было бы называть их «ледяными гигантами».

Юпитер — из этих планет самая большая и ближайшая к Солнцу. От него до Солнца примерно 5 астрономических единиц (он впятеро дальше от Солнца, чем Земля), а оборот по орбите занимает у него 12 лет. Его масса и объем больше, чем у всех остальных планет, вместе взятых, а притяжение так огромно, что именно он, возможно, создал пояс астероидов, не позволив ни одному крупному телу устойчиво сформироваться между собой и Марсом. Следующим по размеру и удаленности от Солнца идет Сатурн: при среднем расстоянии от Солнца в 9,6 астрономические единицы, он совершает один оборот за 30 лет.

Седьмая от Солнца планета Уран была первой, открытой при помощи телескопа. Она обращается вокруг Солнца за 84 года, находясь от него на расстоянии 19,2 а.е. Блеск Урана на грани различимости невооруженным глазом и, вероятно, его наблюдали много раз, прежде чем Уильям Гершель в 1781 году установил, что это планета.

Если Уран был открыт случайно, то восьмая планета, Нептун, была найдена математически: ее тяготение вносило искажения в орбитальное движение Урана, и по этим искажениям было точно вычислено ее собственное положение. Нептун, близнец Урана — самая далекая из больших планет Солнечной системы: она обращается вокруг Солнца за 165 лет при среднем расстоянии от него в 30,1 а.е.

Образование гигантов

Внешняя часть Солнечной системы, в которой образовались планеты-гиганты, очень отличалась по составу от ее внутренней области. Вблизи Солнца притяжение нашей молодой материнской звезды втягивало в нее большую часть газа, заполнявшего пространство между нарождающимися планетами, а солнечный ветер — поток частиц, летящих от Солнца, наоборот, выметал газ из этого пространства наружу. Летучие химические льды, заполнявшие протозвездную туманность, испарялись под действием тепла, и образовавшийся газ постигала та же участь. В мире гигантов, однако, все было не так: газ не выметался, льды оставались замерзшими. И образующиеся планеты были совсем иными.

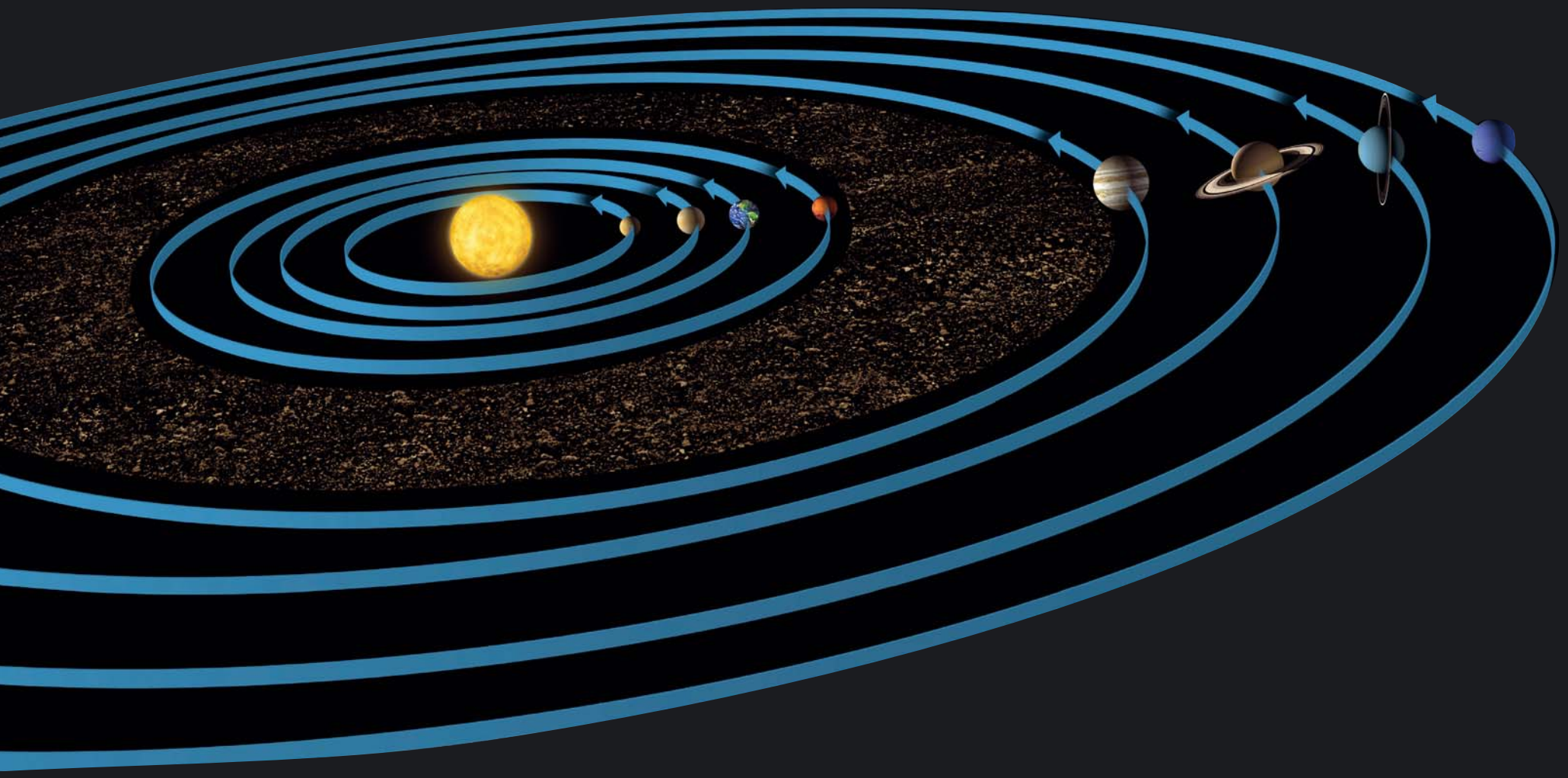
Астрономы еще не достигли полного согласия в вопросе о том, как именно формировались гиганты. По одной из версий, сначала появились твердые ядра размером с Землю, которые стянули на себя огромные массы газа из окружающей туманности. По другой модели, массивные вращающиеся газовые облака отделились от главной туманности и постепенно сконденсировались в планеты. Но, как бы ни протекал процесс формирования, современные компьютерные модели показывают, что оно произошло очень быстро: планеты приобрели большую часть своей нынешней массы всего за несколько тысяч лет.

Оказалось, что состав околосолнечной туманности менялся с расстоянием от Солнца — в ней было отчетливое центральное сгущение, где содержание водорода и гелия достигало максимума и откуда они распространялись во внешнюю часть Солнечной системы. Поэтому Юпитер и Сатурн образовались как газовые гиганты, состоявшие почти полностью из водорода в различных состояниях. Уран и Нептун сформировались в области, где преобладали летучие льды: вода, аммиак, метан, а чистого водорода было относительно мало.

Кольца

У всех планет-гигантов есть системы колец: тонкое и плоское, почти невидимое пылевое кольцо Юпитера, узкие и темные кольца Нептуна и Урана, великолепные, сверкающие скопления ледяных камней вокруг Сатурна. Эти диски — в сущности, плотные потоки мириадов отдельных спутников, каждый из которых обращается по собственной круговой орбите в экваториальной плоскости материнской планеты. Их орбиты определяются непререкаемыми законами небесной механики и статистики. Любая частица, орбита которой уклоняется от круговой, неизбежно будет сталкиваться с другими, что будет уменьшать эксцентриситет ее орбиты и постепенно превращать ее в круговую. Подобным же образом частица, орбита которой посмеет быть наклонной к экватору, пересекая кольцо, испытает жесткие столкновения с его частицами, после которых ей придется подчиниться и «встать в строй».

Многие астрономы считают, что различия между системами колец в основном определяются их возрастом. Если все кольца образуются одинаково, то система Сатурна молодая, Урана и Нептуна — старые и разрушенные, а кольцо Юпитера — просто призрак когда-то



эффектной системы. Однако, дело не только в возрасте — некоторые отличия, несомненно, связаны и с составом колец. В кольцах Сатурна преобладает блестящий водяной лед, Урана и Нептуна — куски гораздо хуже отражающего свет метанового льда, а кольцо Юпитера, по-видимому, состоит в основном из пыли.

Системы спутников

Вокруг каждой планеты-гиганта обращается семейство «лун»: от полноценных планет до крошечных тел поперечником всего в несколько километров. Почти все системы внутренних, более крупных спутников, по-видимому, образовались, как Солнечная система в миниатюре, — из вещества, оставшегося после формирования центральных планет. Зачастую сохраняется даже закономерность распределения размеров тел по мере удаления от центра, действующая в самой Солнечной системе: они сначала растут, а потом уменьшаются. Кроме обычных «регулярных» спутников, каждый гигант окружен еще роем нерегулярных — малых объектов, часто имеющих эллиптические наклонные орбиты (иногда весьма причудливые). Почти всегда эти тела оказываются заблудившимися астероидами, затянутыми в сети могучего притяжения планеты. Исключение из этого правила — система спутников Нептуна (см. стр. 86).

Состав спутников зависит от состава туманности, из которой они образовались, поэтому он разнится в разных частях внешней Солнечной системы. Большие спутники Юпитера сравнительно каменистые, но все же (за исключением Ио) содержат больше льда, чем любые тела внутренней Солнечной системы. На орбите Сатурна и дальше к Урану и Нептуну лед уже преобладает над камнем.

Малые тела

Так же, как во внутренней Солнечной системе, в мире гигантов есть носящиеся по орбитам неприкаянные обломки. Здесь, однако, они немного иные — промежуточные между околосолнечными каменными мирами и окраинными ледяными.

Пример каменных тел — «троянцы», два облака астероидов на одной орбите с Юпитером, скопившиеся в двух уникальных участках на 60 градусов впереди и позади Юпитера, называемых точками Лагранжа или либрации. Как околоземные астероиды во внутренней Солнечной системе, «троянцы» — беженцы из Главного пояса астероидов. За миллиарды лет взаимодействия со своим гигантским соседом они скучились на безопасных расстояниях от него.

Среди ледяных объектов — кометы, приходящие с окраин Солнечной системы, и уходящие туда, а еще группа объектов, называемых «кентаврами». Эти ледяные астероиды — по-видимому, большие ядра комет, которые каким-то образом пережили эпоху «великой чистки» межпланетного пространства (см. стр. 88).

• Исследуем внешнюю Солнечную систему

Основные знания о внешней Солнечной системе принесли нам несколько космических зондов. Юпитера первым достиг, оправдав свое имя, «Пионер-10» в декабре 1973 г.. Спустя год сюда же прилетел его близнец «Пионер-11», который в 1979 г. добрался до Сатурна. Космические аппараты «Вояджер», запущенные в 1977 г., воспользовались уникальным расположением внешних планет, чтобы предпринять «Гранд тур» по Солнечной системе. «Вояджер-1» в 1979 г. посетил Юпитер, отправившись после этого в 1980 г. к Сатурну. «Вояджер-2» следовал за ним по пятам и сумел выполнить гравитационный маневр: облетев в 1981 г. вокруг Сатурна, он, набрав скорость, понесся к Урану (1986) и Нептуну (1989). Сейчас «Вояджеры» стали самыми далекими объектами во Вселенной, сделанными руками человека: они уже пересекли границы Солнечной системы. Повторные визиты на Юпитер и Сатурн нанесли зонды «Галилео» и «Кассини» в 1989 и 1997 гг., а в 2015 г. корабль NASA «Новые горизонты» впервые пролетел вблизи карликовой планеты Плутон.

Юпитер

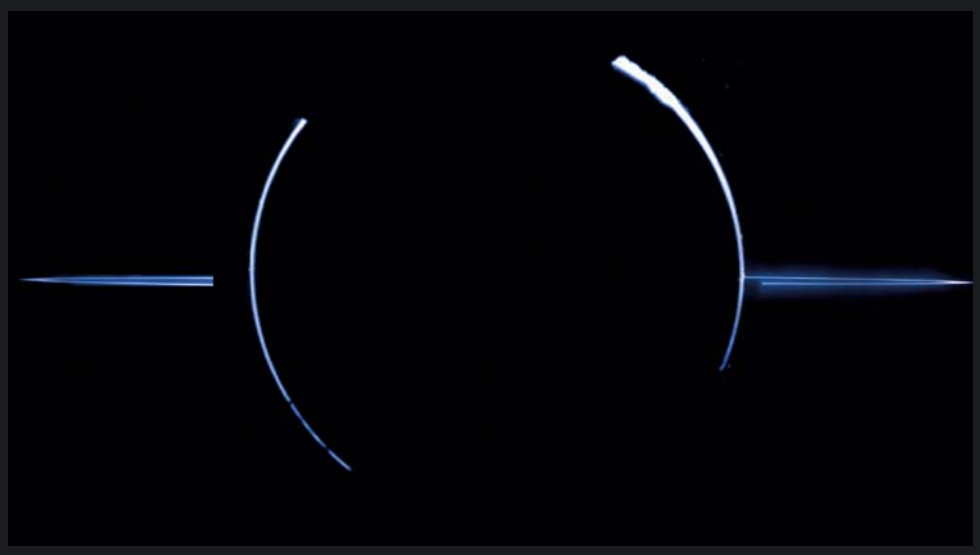
Ближайший к Солнцу и величайший из газовых гигантов, Юпитер — динамичный мир, окруженный мини-Солнечной системой «лун».

Под своими разноцветными облаками Юпитер состоит почти из чистого водорода. На небольшой глубине от поверхности планеты возросшее давление превращает газовую атмосферу в жидкость, а еще ниже — в жидкий металл. В центре Юпитера — малое ядро.

[1] В 1994-м земные астрономы получили возможность наблюдать грандиозное зрелище межпланетного столкновения: большие фрагменты кометы Шумейкеров — Леви 9, при предыдущем тесном сближении с Юпитером разорванной его гравитацией в цепочку обломков, врезались в атмосферу гигантской планеты, оставляя в ней огромные «рубцы» от перемешивания выброшенных снизу фонтанов материи с внешними облачными слоями.

[2] У Юпитера призрачная система колец — плоский пылевой диск вокруг экватора планеты. Протяженность главного кольца примерно 7000 км, толщина — 30 км. Видно его, только когда Солнце скрыто основной массой Юпитера и кольца освещены сзади, как на этом фото с борта космического зонда «Галилео».

[1]



[2]

Юпитер — чудовищно огромная планета, удачно названная по имени верховного божества древнеримской мифологии. По объему и массе она больше всех остальных планет, вместе взятых. Разноцветный гигант притаился по ту сторону пояса астероидов, сторожа вход во внешнюю Солнечную систему.

Этот гигантский шар быстро вращается — так быстро, что заметно сжимается к экватору. В результате его экваториальный диаметр — 143 000 км (89 000 миль), на 7% больше, чем измеренный от полюса к полюсу.

Самая заметная деталь на Юпитере — параллельные экватору разноцветные полосы облаков. Светлые полосы называются зонами, темные — поясами. Эти названия восходят к оказавшемуся неверным представлению, что нижние слои атмосферы светлые, а над ними плавают темные облака. На деле цвет облаков связан с тем, что на разных уровнях атмосферы конденсируются различные химические соединения. В светлых облаках преобладают кристаллы аммиака, которые конденсируются при более низких температурах, чем гидросульфид аммония в поясах. Температура с высотой понижается, так что в зонах облака легче. Картина поясов и зон создается областями высокого и низкого давления — высокое давление разгоняет находящиеся на большей высоте светлые облака, открывая нижележащие темные. Быстрое вращение Юпитера (один оборот за 10 часов) приводит к появлению мощных сил Кориолиса, подобных тем, что вызывают преобладающие ветра на Земле. Здесь эти силы распределяют вокруг планеты области высокого и низкого давления. В этой модели есть лишь одно слабое место: преобладающие в облаках химические соединения бесцветны, поэтому наблюдаемые цвета должны объясняться присутствием в атмосфере каких-то других компонентов.

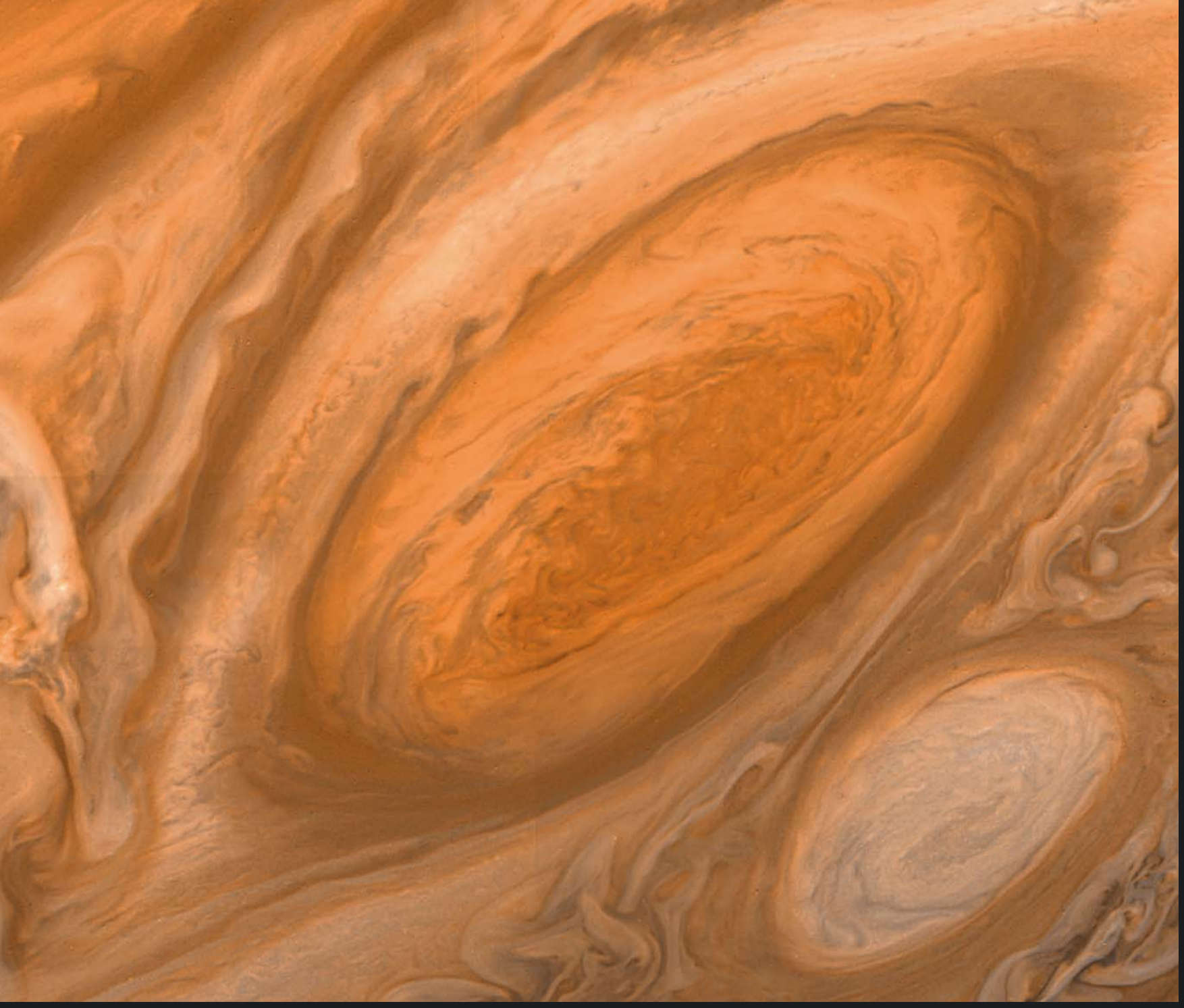
Так как различные уровни атмосферы вращаются с разной скоростью, получается, что пояса и зоны, вращаясь, как бы движутся навстречу друг другу. Вдоль границ между поясами и зонами часто появляются затейливые облачные структуры, называемые «фестонами», а движения атмосферных масс могут создавать вращающиеся ячейки, которые развиваются в мощные циклоны.

Самый знаменитый из юпитерианских циклонов — Большое Красное Пятно, гигантская атмосферная структура, наблюдаемая уже несколько столетий, возможно, со времен изобретения телескопа в начале 1600-х. Она удивительно устойчива, хотя ее размеры и интенсивность переменны. Являясь огромной областью низкого давления, она возвышается над окружающими ее поясами и зонами, и в то же время уходит далеко вглубь атмосферы, выкачивая оттуда химические соединения, которые конденсируются в облака всех оттенков красного цвета, от сливочно-розового до ярко-алого.

Юпитер — газовый гигант, и под его облаками нет твердой почвы. Тем не менее, верхние слои активной облачности часто называют его атмосферой. Плавающие в ней разноцветные облака химических соединений — лишь малая часть общего состава планеты, в котором доминирует водород, самый простой и легкий элемент Вселенной.

В верхней атмосфере, где температуры низки, водород существует в форме двухатомных молекул H2. Под основанием облаков, как считается, примерно в 80 км (50 миль) ниже их видимой поверхности, лежит слой чистого газообразного водорода. Еще глубже, однако, температура и давление растут и водород конденсируется в жидкость: на глубине около 7000 км, лежит водородный океан. Еще дальше, на глубине около 14 000 км, температура возрастает настолько, что молекулы водорода теряют устойчивость и распадаются на атомы, образуя электропроводящий океан жидкого водородного металла. А в самом центре планеты может скрываться твердое ядро изо льда и камня размером с Землю.

Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
33 световые минуты	142 984 км	318 масс Земли	9,9 часа	11,88 земного года	1,3 градуса	3,12 градуса	–110 градусов Цельсия	2,53 g (ускорение свободного падения)



[1]

[2]

[3]

[4]

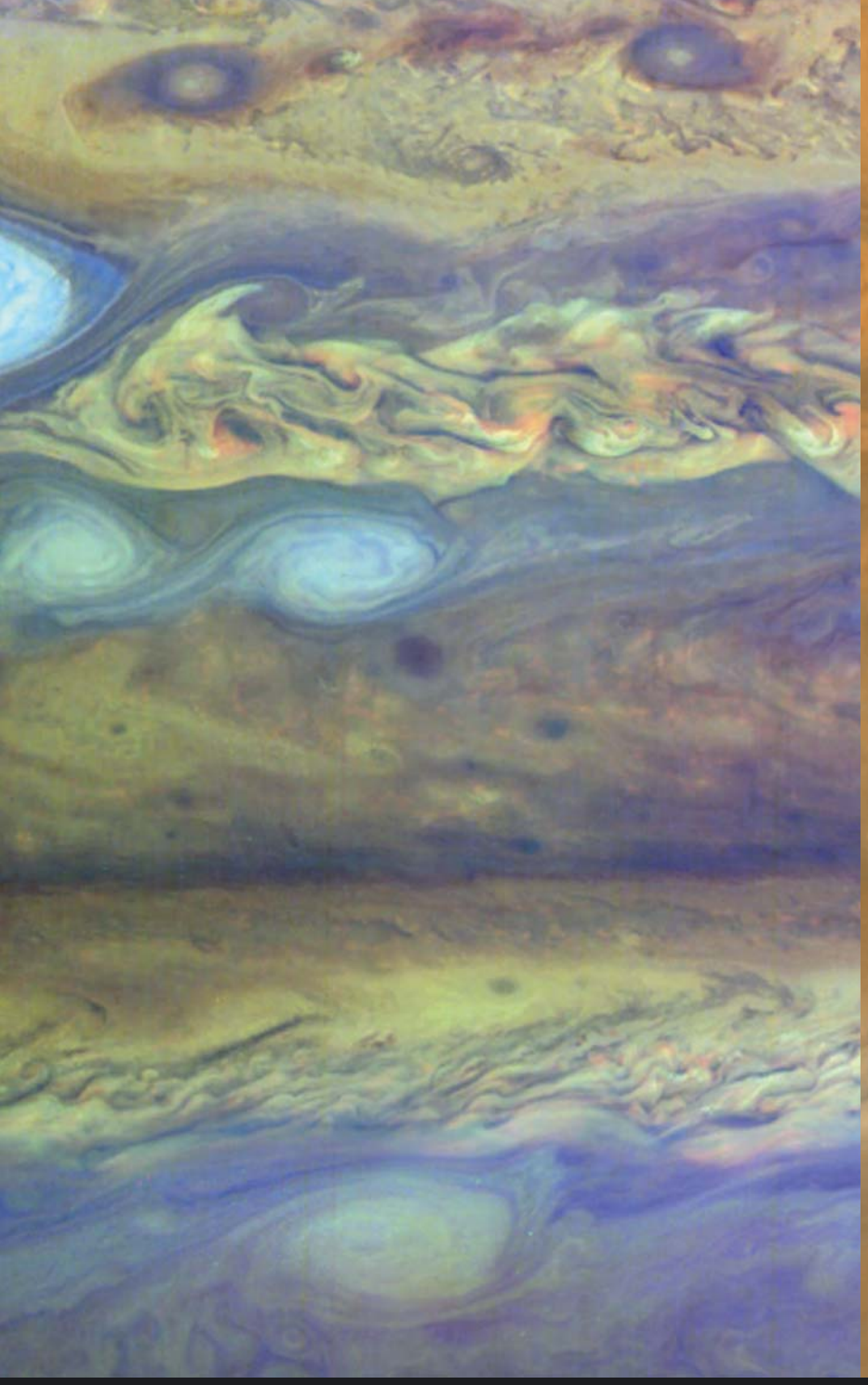
Громада Юпитера оказывает огромное влияние на окружающую его среду. Завихрения электропроводящего водорода в его центре действуют как гигантский аналог расплавленного железного ядра Земли, превращая планету в громадную динамомашину и создавая вокруг нее мощное магнитное поле. Взаимодействуя с солнечным ветром — несущимся от Солнца потоком заряженных частиц, оно образует мощные радиационные зоны, подобные поясам Ван Аллена вокруг Земли. Солнечный ветер деформирует магнитное поле, сплющивая его с солнечной стороны, а с теневой вытягивая в длинный магнитный «хвост», достающий до самой орбиты Сатурна.

Как и на Земле, некоторые частицы приобретают достаточную скорость, чтобы покинуть радиационные пояса Юпитера. Следуя вдоль силовых линий магнитного поля, они заполняют концентрические зоны вокруг магнитных полюсов Юпитера, порождая магнитные бури и эффектные полярные сияния, при которых генерируется не только свет, но и радиоволны. Эти радиосигналы можно принимать даже на Земле.

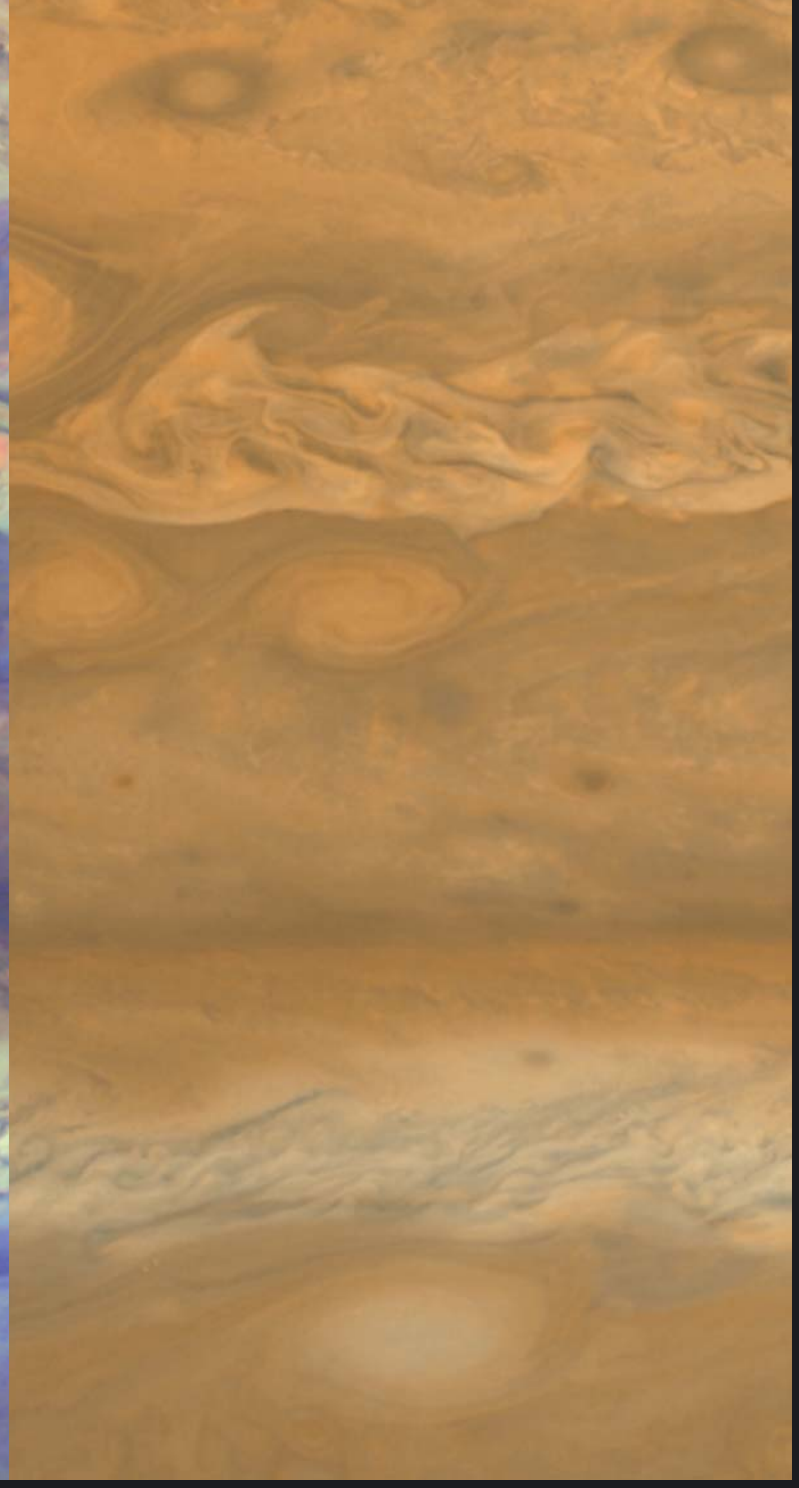
Спектр излучения Юпитера необыкновенно широк. В то время, как большинство планет просто отражают относительно малую долю света и тепла, достающихся им от Солнца, Юпитер порождает не только собственное радиоизлучение, но и мощный поток тепла. Механизм его генерации нам пока не вполне понятен — возможно, оно объясняется трением. Так как внутренняя часть Юпитера полностью жидкая, тяжелые молекулы юпитерианской атмосферы могут погружаться в нее, двигаясь к центру планеты, и когда при этом они проталкиваются сквозь более легкие частицы, недра Юпитера разогреваются и становятся более плотными.

Этот же механизм разогревает недра молодых звезд, формирующихся из сжимающихся газовых облаков. Юпитер часто называют «несостоявшейся звездой». Так же, как и звезды, он состоит в основном из водорода. Будь он раз в 13 массивнее, чем сейчас, в нем могли бы начаться слабые реакции термоядерного синтеза, и тогда он стал бы «коричневым карликом».

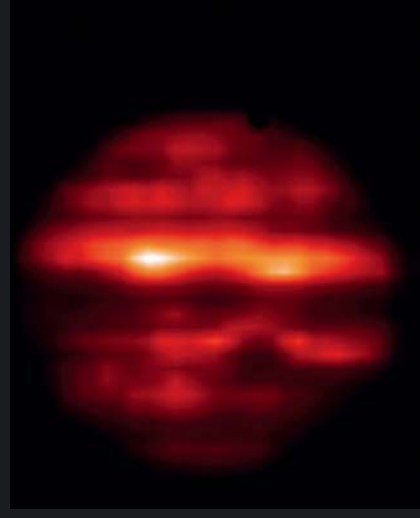
Как и все гигантские планеты, Юпитер окружен системой колец. Однако, по сравнению с кольцами других планет, у Юпитера они довольно скромные — тоненький диск из микроскопических пылевых частиц в плоскости экватора. Он разбит на три основные области: внутреннее тороидальное кольцевое гало, главное кольцо и внешнее «паутинное кольцо», протянувшееся до орбиты малого спутника Фивы. Сами эти области, впрочем, почти не структурированы. Магнитное поле Юпитера, по-видимому, оказывает на частицы кольца тормозящее действие, заставляя вещество в кольцевом гало терять кинетическую энергию и падать в атмосферу планеты. Считается, что кольца Юпитера не исчезают за короткое в астрономическом масштабе время только благодаря постоянной подпитке веществом так называемых микрометеоритов.



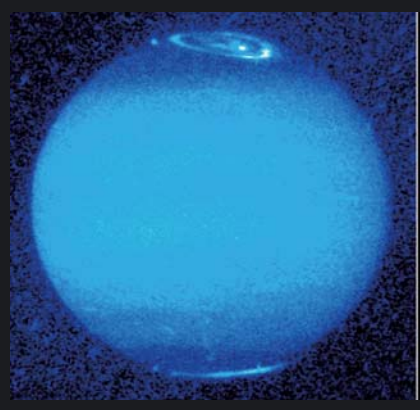
[5]



[6]



[7]



[8]

[1] Знаменитое Большое Красное Пятно на Юпитере могло бы поглотить Землю целиком, а в длину оно вдвое больше земного диаметра. Оно существует уже несколько столетий и за каждые семь дней совершает полный оборот против часовой стрелки. Скорость ветра на краях циклона может достигать 400 км/ч.

[2] Серия фотографий Юпитера, сделанная в течение одного полного оборота планеты вокруг оси, выявляет сложную структуру облачных полос — юпитерианскую «географию». Исследование этих структур на протяжении нескольких оборотов показывает, что экваториальные области вращаются быстрее, чем приполярные.

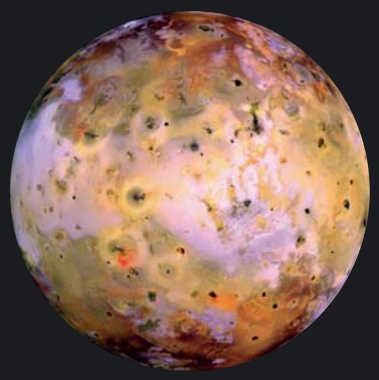
[3] [4] Атмосфера Юпитера находится в постоянном движении. Иногда ураганы сливаются друг с другом. В 2006 году космический телескоп «Хаббл» сфотографировал это новое красное пятно размером примерно с половину Большого. «Малое красное пятно» образовалось в результате слияния трех белых циклонов возрастом в несколько десятилетий. Некоторое время пятно оставалось белым, а затем стало менять цвет — сначала на коричневый, потом на красный. По-видимому, после слияния ураган стал достаточно сильным, чтобы достичь тех же глубоких слоев, вещество которых окрашивает и Большое Пятно.

[5] [6] Это два снимка одной и той же области в северном полушарии Юпитера, между 10 и 50 градусами северной широты. На фото [6] атмосфера показана в истинных цветах, на фото [5] — в искусственных, позволяющих выделить различные облачные уровни. Тонкая высокая облачность показана светло-голубым, плотные облака на средних высотах — белым, еще более глубокие облака — красным. Пурпурные участки отмечают, где тонкая дымка затягивает четко очерченный глубокий атмосферный каньон.

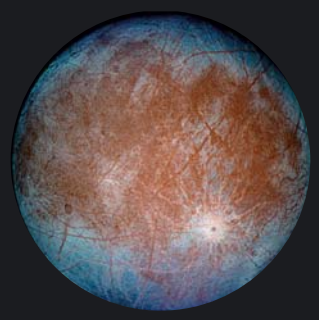
[7] Это инфракрасное изображение дает представление о том, сколько тепла выделяют недра Юпитера. Большая часть его уходит через узкие полосы — «просветы» в атмосфере, где облачность не блокирует более глубокие слои.

[8] Мощное магнитное поле Юпитера захватывает частицы солнечного ветра (и часть выброшенной с Ио серы) и отправляет их в околополярные области атмосферы, где, сталкиваясь с газом во внешних слоях, они генерируют интенсивные полярные сияния.

Луны Юпитера

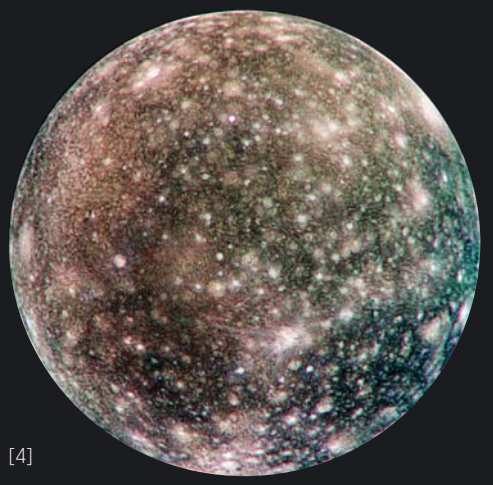


[1]



[2]

[3]



[4]

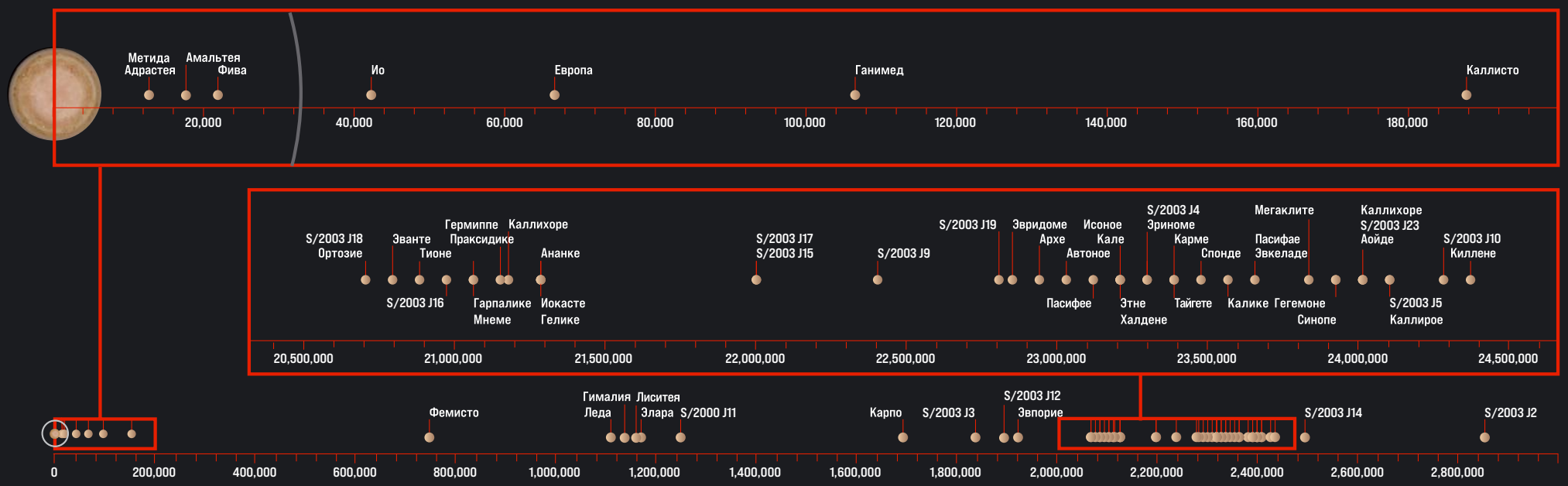
[1] Ио — ближайшая к Юпитеру из галилеевых лун и вторая с конца по размеру. Удивительный мир желтого и красного, постоянно меняющийся из-за вулканической активности.

[2] Европа — самый маленький из главных спутников, второй по расстоянию от материнской планеты. Ее поверхность, гладкую, как бильярдный шар, покрывает сплошная ледяная кора.

[3] Ганимед — крупнейший из спутников планет Солнечной системы. На его покрытой серыми пятнами поверхности чередуются древние и относительно молодые, скалистые и ледяные области.

[4] Каллисто — вторая по размеру и самая дальняя галилеева луна, темная, густо покрытая кратерами, испещренная светлыми ледяными массами, извергнутыми из-под поверхности.

[На соседней странице] На этом фото с борта космического зонда «Кассини» невозмутимо парит над мраморными юпитерианскими облаками Ио. Хорошо виден сравнительный масштаб планеты и ее луны: от верхнего слоя облаков Ио отделяет более 400 000 км.



Спутники Юпитера образуют настоящую Солнечную систему в миниатюре. Юпитер, как и Солнце, окружен несколькими малыми внутренними мирами, четверкой крупных внешних миров и роем далеких крошечных тел (см. диаграмму выше).

В системе спутников доминируют четыре галилеевы луны, названные так в честь итальянского астронома Галилео Галилея, который наблюдал их в один из своих первых телескопов в 1610 году (см. раздел «Галилеевы луны» на соседней странице). Это настоящие небольшие планеты, по размеру сравнимые с Меркурием и Плутоном. Каждая из них прошла свой уникальный путь эволюции, определявшейся ее размером и расстоянием от Юпитера. Радиусы орбит галилеевых лун лежат в интервале от 500 000 до 2 миллионов км.

Могучее гравитационное поле гигантской планеты помешало образоваться каким-либо мирам больших размеров ближе к Юпитеру — или по крайней мере обрекло любое формирующееся здесь тело на быстрое разрушение. Внутри кольца Юпитера лежат орбиты множества крошечных лун плюс четырех более значительных: Метиды, Адрастеи, Амальтеи и Фивы (в порядке удаления от Юпитера). Все они находятся от материнской планеты на расстоянии менее 250 000 км.

За галилеевыми лунами лежит 9 миллионов км пустого пространства — возможно, это результат гравитационного воздействия больших внутренних спутников. В эту область все же забрел один маленький спутник — Фемисто, поперечником всего 8 км. Его открыли в 1975 году, потом, не успев вычислить его орбиту, потеряли и не могли найти до 2000 года.

Пустота кончается между 11 и 12 миллионами километров (6,9-7,5 миллиона миль) от Юпитера, где начало внешней системы спутников отмечает целое семейство малых планет: Леда, Гималия, Лиситея и Элара. За ними до расстояния в 28 миллионов километров (17,5 миллиона миль) кружится еще как минимум 47 малых спутников. У многих из них сильно вытянутые орбиты, часто расположенные крайне необычным образом. Предполагается, что это либо захваченные Юпитером по одному малые астероиды, либо фрагменты астероида более крупного, захваченного и затем разорванного гравитацией планеты-гиганта.

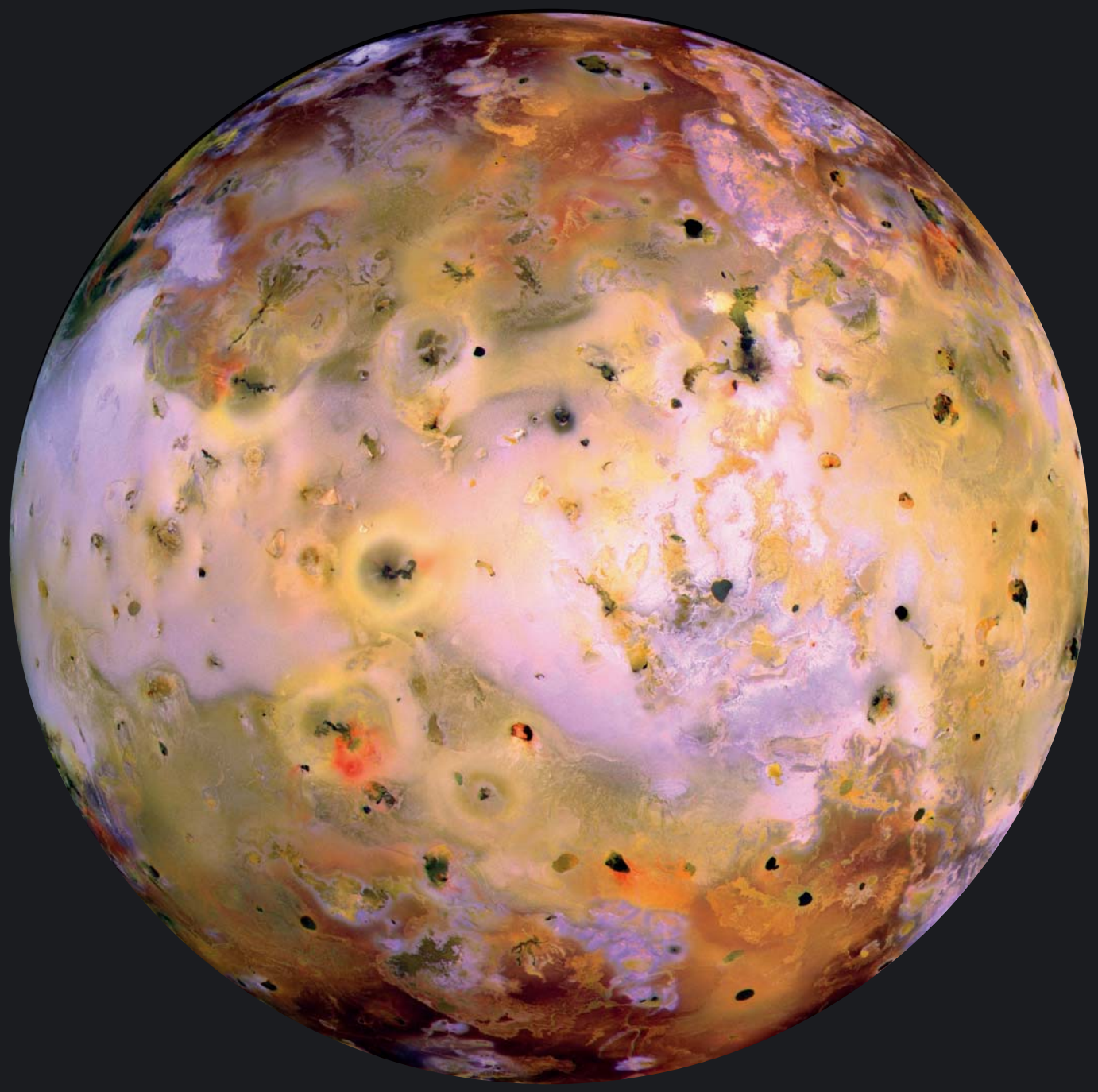
• Галилеевы луны

Открытие галилеевых лун, первых спутников, найденных у другой планеты, стало важным моментом произошедшей в эпоху Возрождения революции в астрономии. Николай Коперник, предположивший, что центром Вселенной может быть Солнце, а не Земля, был лишь последним в длинном ряду поборников этой идеи, которая вдруг приобрела популярность после того, как в 1570-х вспыхнула яркая сверхновая и появилась эффектная комета. Оказалось, что догма неверна — Вселенная меняется. Например, Тихо Браге вычислил, что комета прилетела по эллиптической орбите, а это начисто разрушало вращающиеся «хрустальные сферы» традиционной космологии.

Телескопы после их изобретения в 1608 году быстро распространились, и астрономы по всей Европе начали делать открытия. Возможно, Галилей был не первым, кто увидел луны Юпитера (именами возлюбленных этого бога предложил их назвать вечный соперник Галилея Симон Марий), но зато он первым это открытие опубликовал. Его наблюдения также доказали, что спутники обращаются вокруг Юпитера. Убедительно показав, что орбитальное вращение во Вселенной происходит вовсе не только вокруг Земли, Галилей вбил, пожалуй, последний гвоздь в гроб старой птолемеевой модели мира.

Ио

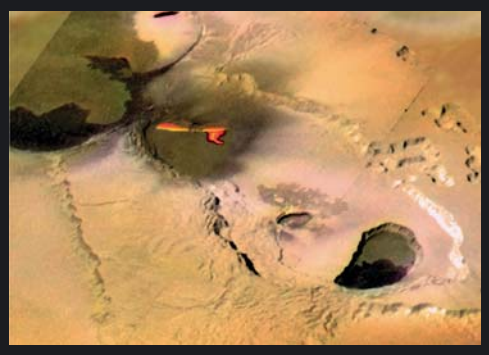
Истерзанная гравитационными приливными силами со стороны других галилеевых лун и материнской планеты, Ио проявляет постоянную вулканическую активность.



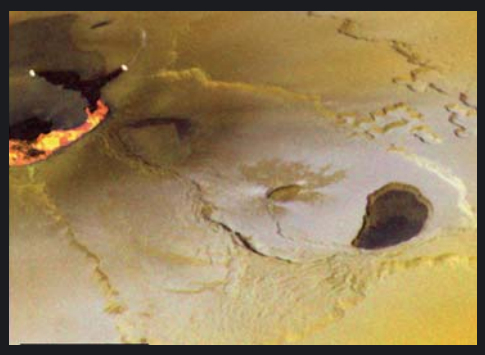
Наименьшее расстояние от Юпитера	Наибольшее расстояние от Юпитера	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
420 тыс. км	423 тыс. км	3643 км	0,0149 массы Земли	1,769 земного дня	–143 градуса Цельсия	0,83 g (ускорение свободного падения)

Не настолько обледеневшая, как остальные галилеевы луны, Ио, вероятно, имеет горячее металлическое ядро, окруженное кипящей мантией из силикатных пород и серы. Мантия накрыта корой, рельеф которой постоянно меняется из-за вулканической активности.

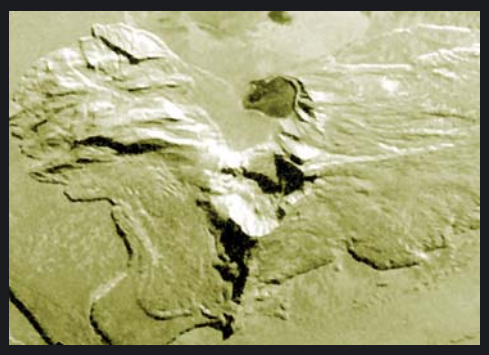
[1]



[2]



[3]



[4]

[1] Поверхность Ио окрашена соединениями серы. Преобладает желтый цвет, но на этом фото видны и красные пятна, связанные, по-видимому, с выходом на поверхность свежей лавы, и яркие белые круги, образующиеся, когда двуокись серы, выбрасываемая в атмосферу при извержениях вулканов, снова оседает на поверхность.

[2] [3] Вулканы на Ио очень активны. Зонд «Галилео» зафиксировал резкие изменения вокруг вулканической цепи Тваштар между ноябрем 1999-го и февралем 2000 года.

[4] Не все детали поверхности Ио имеют вулканическую природу. Гора Тохиль высотой 5,4 км и 300 км в поперечнике — не вулкан. Хотя на Ио нет видимых тектонических плит, нагрев ядра может привести к движениям различных участков коры, вызывая горообразование.

[5] Тяготение на Ио слабое, и вулкан Патера Пиллана выбрасывает над лимбом планеты столб серы высотой до 140 км. Второй столб дыма из вулкана Прометей (внизу в центре кадра) можно заметить по отбрасываемой им тени.

Из галилеевых лун Ио ближе всех к Юпитеру: 421 000 км от бурной материнской планеты. Этот мир не похож ни на какой другой в Солнечной системе. Поверхность планеты испещрена желтыми, оранжевыми, коричневыми пятнами и чем-то похожа на пиццу. Но исследования показывают, что, несмотря на разнообразие цветов, она покрыта в основном одним и тем же веществом — серой, которая способна принимать целый ряд аллотропных форм разной структуры и цвета.

Первым космическим зондом, приблизившимся к Ио, стал «Вояджер-1» в 1979 году. Когда управлявшие миссией ученые направили камеры космического аппарата на ночную сторону Ио, они с изумлением обнаружили гигантский фонтан извергавшегося вещества в виде арки, которую из-за лимба подсвечивало Солнце. Это был первый активный вулкан, открытый на другой планете, и обнаружили его на небесном теле, которое в теории давно уже должно было остыть и затвердеть.

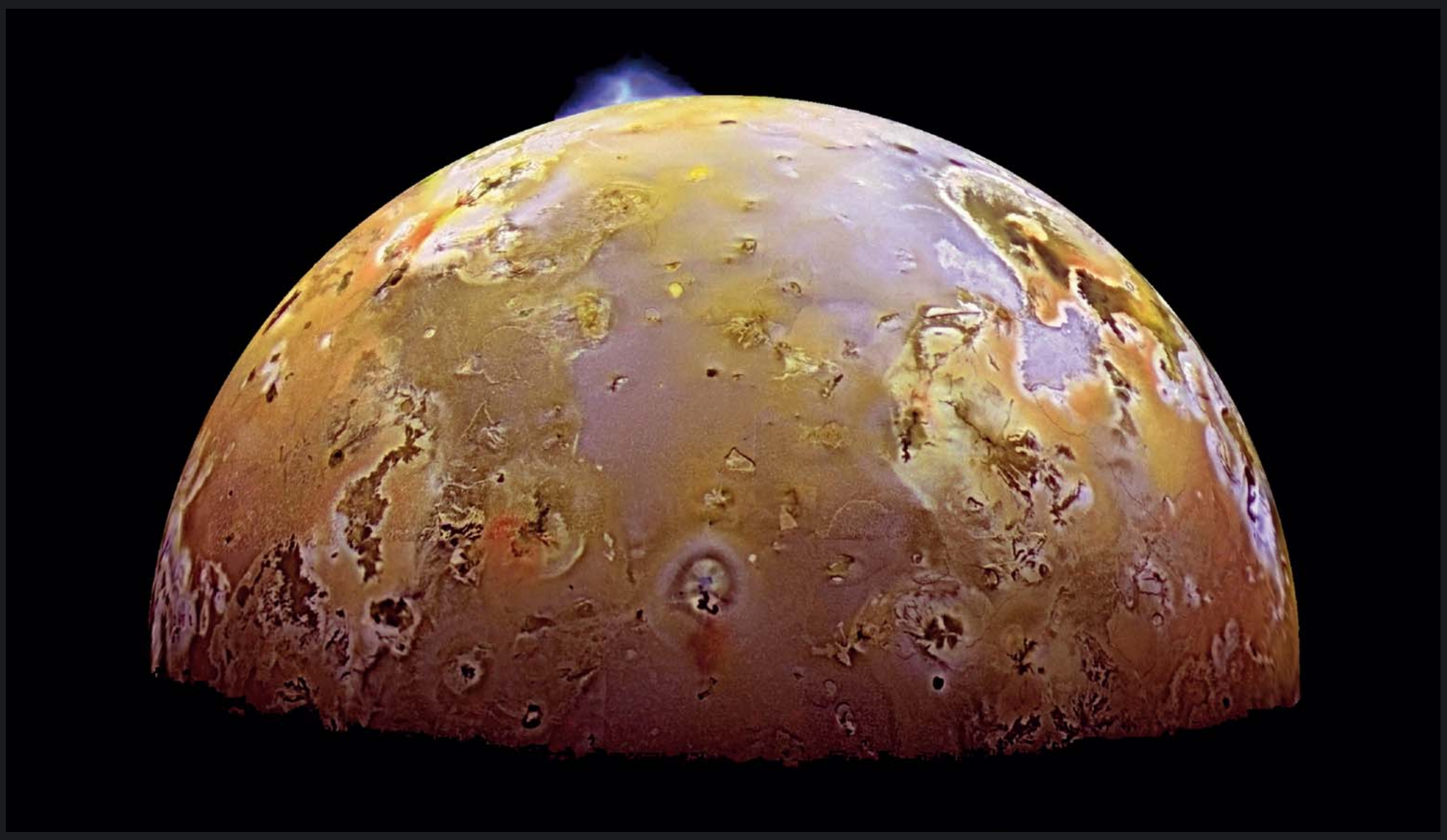
Дальнейшие исследования, выполненные зондами «Вояджер-2» и «Галилео», показали, что по вулканической активности Ио оставляет далеко позади все остальные тела Солнечной системы: и Землю, и другие вулканические миры, найденные впоследствии. Как же могли ее недра сохранить столько тепла?

Все дело в приливных силах, вызванных притяжением Юпитера. Мощное тяготение материнской планеты деформирует Ио на каждом 42,5-часовом витке ее орбиты, и трение ее пород порождает достаточно тепла, чтобы ядро планеты оставалось расплавленным еще долго после того, как должно было остыть и затвердеть.

Вулканическая активность Ио проявляется в двух формах. Струи жидкой серы извергаются гигантскими арками сквозь трещины в поверхности и покрывают грунт вокруг. Эти вулканические фонтаны, по-видимому, похожи на земные гейзеры: подпочвенные резервуары жидкой двуокиси серы вследствие контакта с лавой нагреваются до температуры, превышающей ее точку кипения. Затем кипящая жидкость прорывается наружу сквозь трещины в поверхности и эффектно извергается. А когда фонтан диоксида серы заливает поверхность, образуются разноцветные отложения, часто в виде кругов вокруг места извержения.

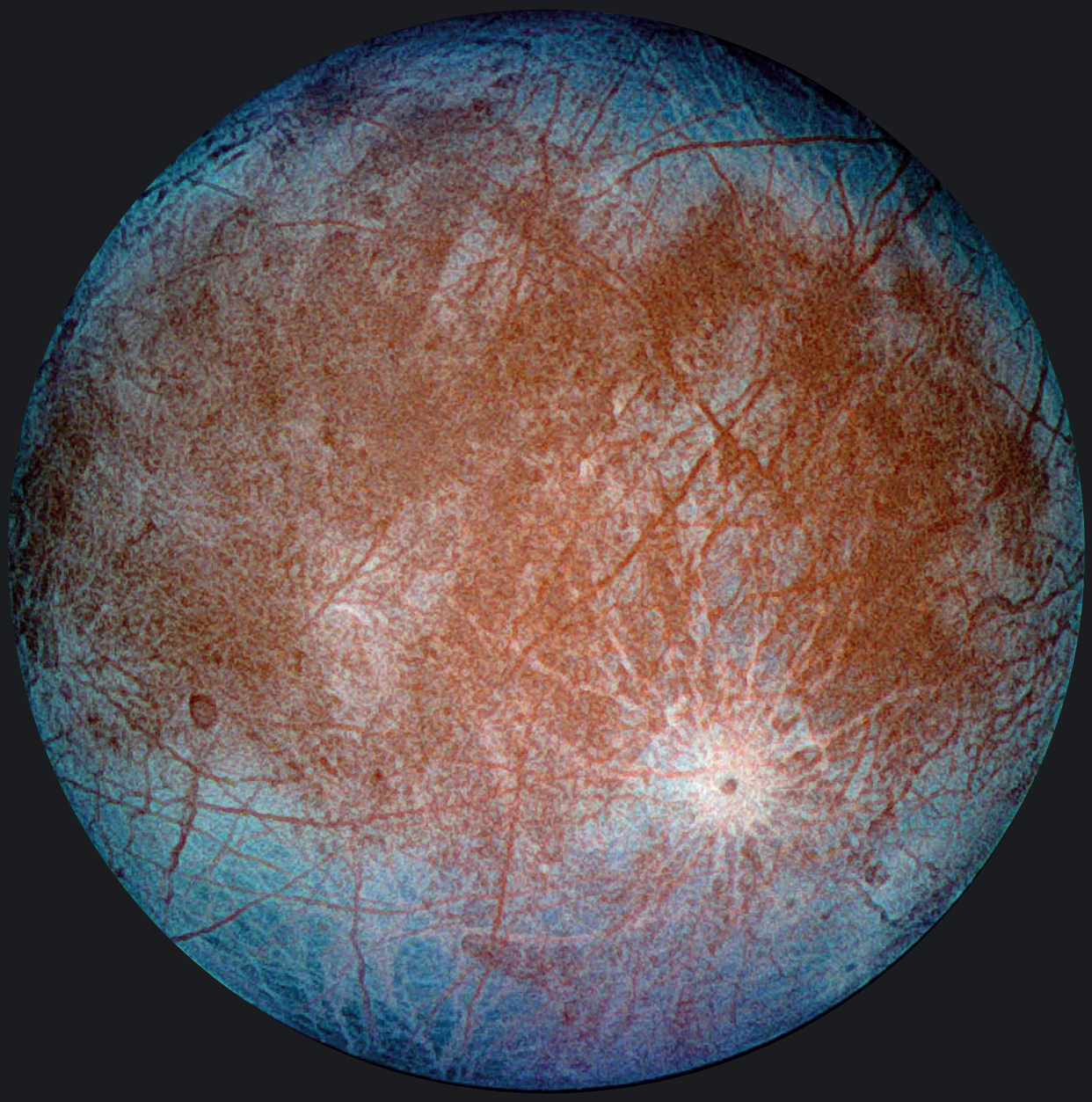
В других местах большие фрагменты поверхности плавятся и обрушиваются, обнажая озера расплавленной серной лавы. Сера, вытекающая из этих вулканических кратеров, может изменить вид больших участков планеты. На Ио по меньшей мере 200 таких кальдер, каждая не менее 20 км (13 миль) в поперечнике. По некоторым оценкам, вулканы на Ио в год извергают в 100 раз больше вещества, чем на Земле. Этого материала хватило бы, чтобы покрыть всю планету слоем глубиной от 1 мм до 1 см (0,4 дюйма) и за несколько столетий скрыть все следы существования кратеров.

На поверхность спутника возвращается не вся изверженная сера — часть ее приобретает энергию, достаточную, чтобы навсегда преодолеть его притяжение, хотя ей все равно приходится остаться на орбите вокруг Юпитера. Его мощное магнитное поле собирает заряженные частицы серы в «бублик», остающийся на орбите Ио.



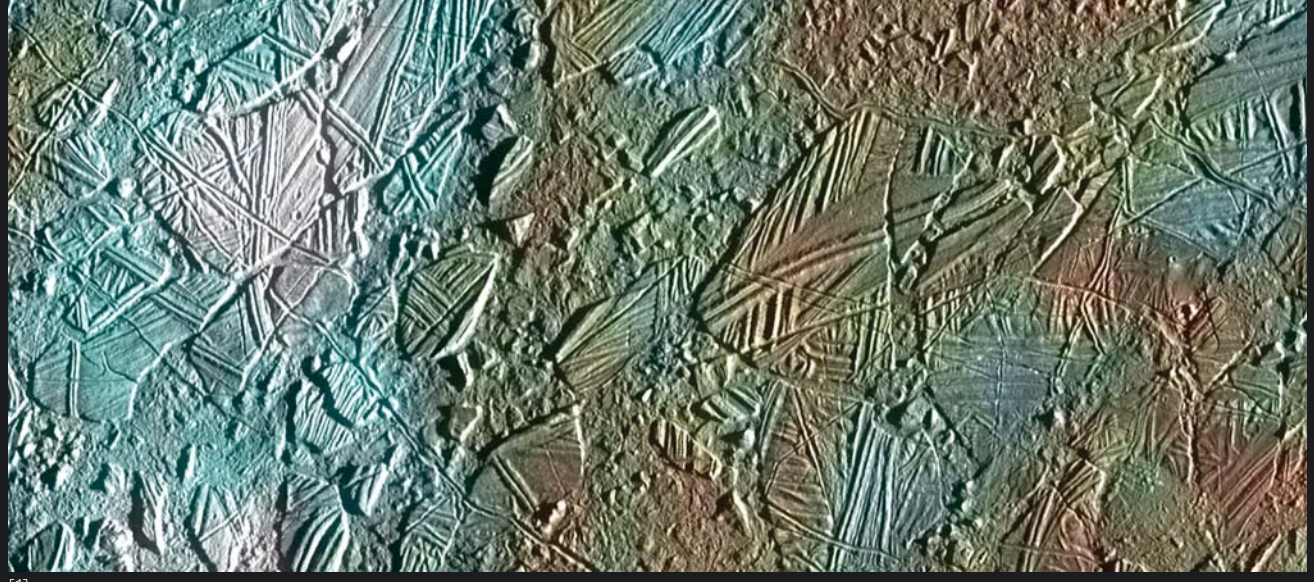
Европа

Другая вулканическая луна, Европа, покрыта безмятежными розовыми и белыми льдами, которые скрывают под собой разогретый приливным теплом океан жидкой воды.

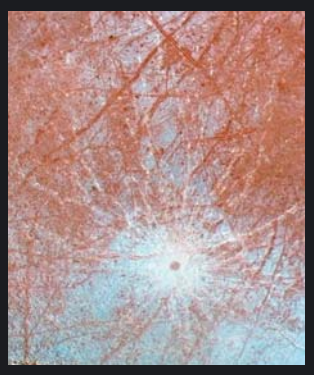


Наименьшее расстояние от Юпитера	Наибольшее расстояние от Юпитера	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
665 тыс. км	677 тыс. км	3138 км	0.0083 массы Земли	3,55 земного дня	–148 градусов Цельсия	0,135 g (ускорение свободного падения)

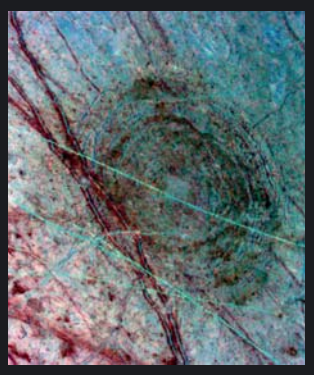
Ледяная поверхность Европы покрывает обширный холодный океан, глубина которого может достигать 100 км. Под ним залегает тонкая твердая кора и раскаленная мантия, как у Ио, окружающая подобное же металлическое ядро.



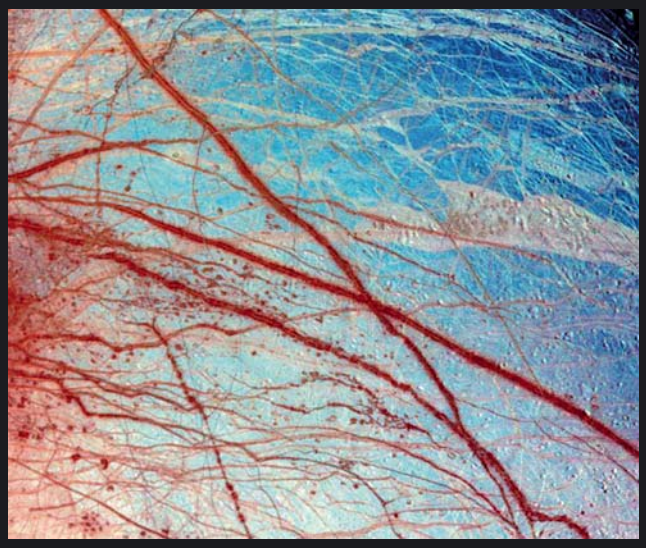
[1]



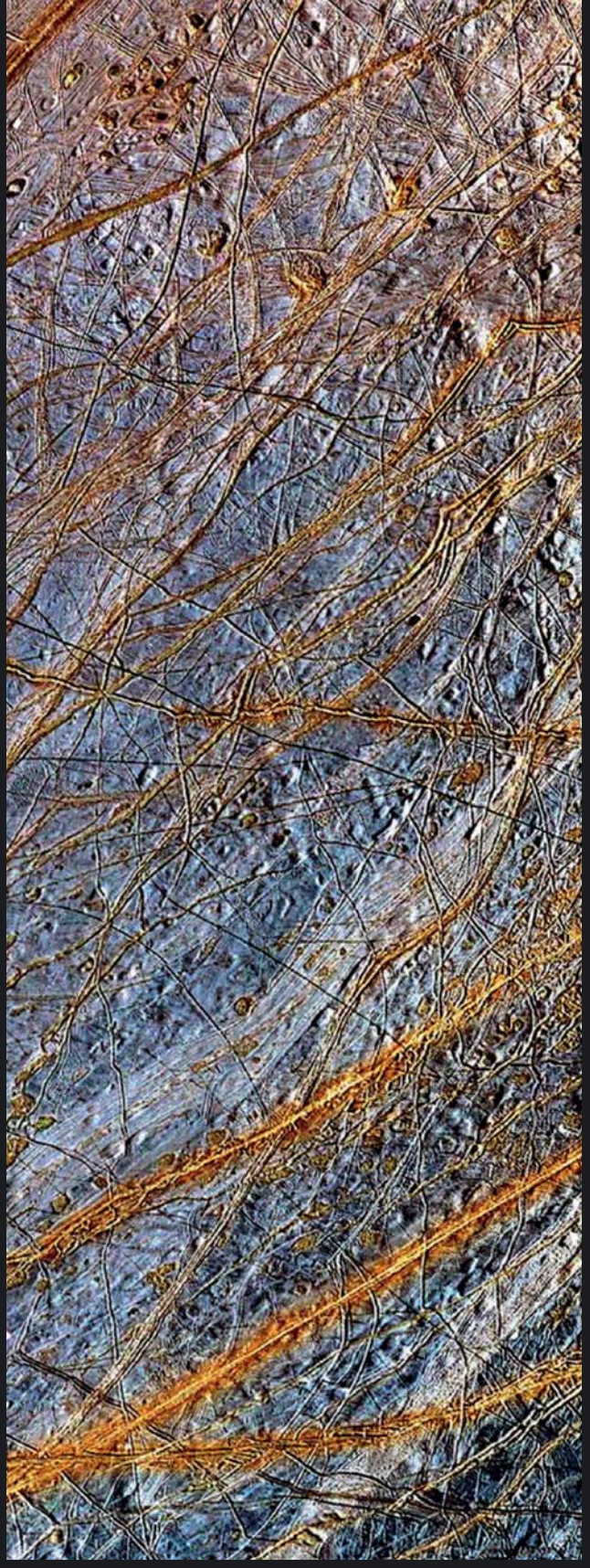
[2]



[3]



[4]



[5]

[1] Эти «ледяные поля» на Европе — области относительно тонкой ледяной корки, в прошлом много раз разламывавшейся и вновь смерзавшейся. Коричневато-красные зоны перекрываются выбивающимся из трещин поверхности богатым минералами водяным паром. Голубые участки — более свежий и чистый материал, выброшенный из ударного кратера Пуйл.

[2] Пуйл считается самым молодым крупным ударным кратером на Европе. Сверкающие белизной лучи выбросов тянутся от него свыше чем на 1000 км, маскируя более старый рельеф. Ширина кратера 26 км; его дно покрыто красноватым льдом — вероятно, замерзшей водой, выброшенной из недр во время удара.

[3] Тир — древний ударный бассейн поперечником 140 км, явно значительно старше, чем Пуйл, так как его пересекают более поздние разломы коры (узкие красные линии). Концентрические кольца кратера, вероятно, появились в результате подвижек льда, из-за которых стены кратера постепенно обваливались и сглаживались.

[4] На этом изображении области Линия Миноса (цвета искусственные) видна обширная сеть трещин на поверхности Европы. Изначальная ледяная равнина голубая, а трещины, заполненные богатой минералами водой из подледного океана, красные. Тонкая сеть белых трещин указывает, что кора постоянно изгибается и трескается, хоть и не расходится полностью.

[5] Мозаичная карта поверхности Европы (цвета усилены) выявляет много скрытых деталей. По обе стороны длинных оранжевых трещин пролегают гребни гор. Видно множество темных пятен неясной природы. Темно-синяя подстилающая поверхность — чистый водяной лед, но многие детали на его поверхности окрашены примесями.

Из всех больших лун Юпитера Европа не только самая маленькая, но и самая загадочная. Хотя и на других галилеевых спутниках имеется много необъясненных деталей, их, по крайней мере, можно фотографировать из космоса, а когда-нибудь, возможно, их будут исследовать высадившиеся на них роботы или даже астронавты. Другое дело Европа — ее главный секрет лежит под ее поверхностью, возможно, так глубоко, что мы никогда не сможем его изучать. Изрезанная трещинами поверхность Европы не более чем плотный ледяной щит, плавающий поверх глобального океана глубиной в несколько километров.

Идея о том, что на Европе может быть скрытый океан, возникла в начале 1980-х, когда космические зонды «Вояджер» прислали на Землю первые подробные изображения ее поверхности: девственная белая равнина, изрезанная перекрестиями темных линий и случайными розовыми пятнами. И никакого рельефа поверхности — с учетом масштаба Европа оказалась более гладкой, чем мячик для пинг-понга!

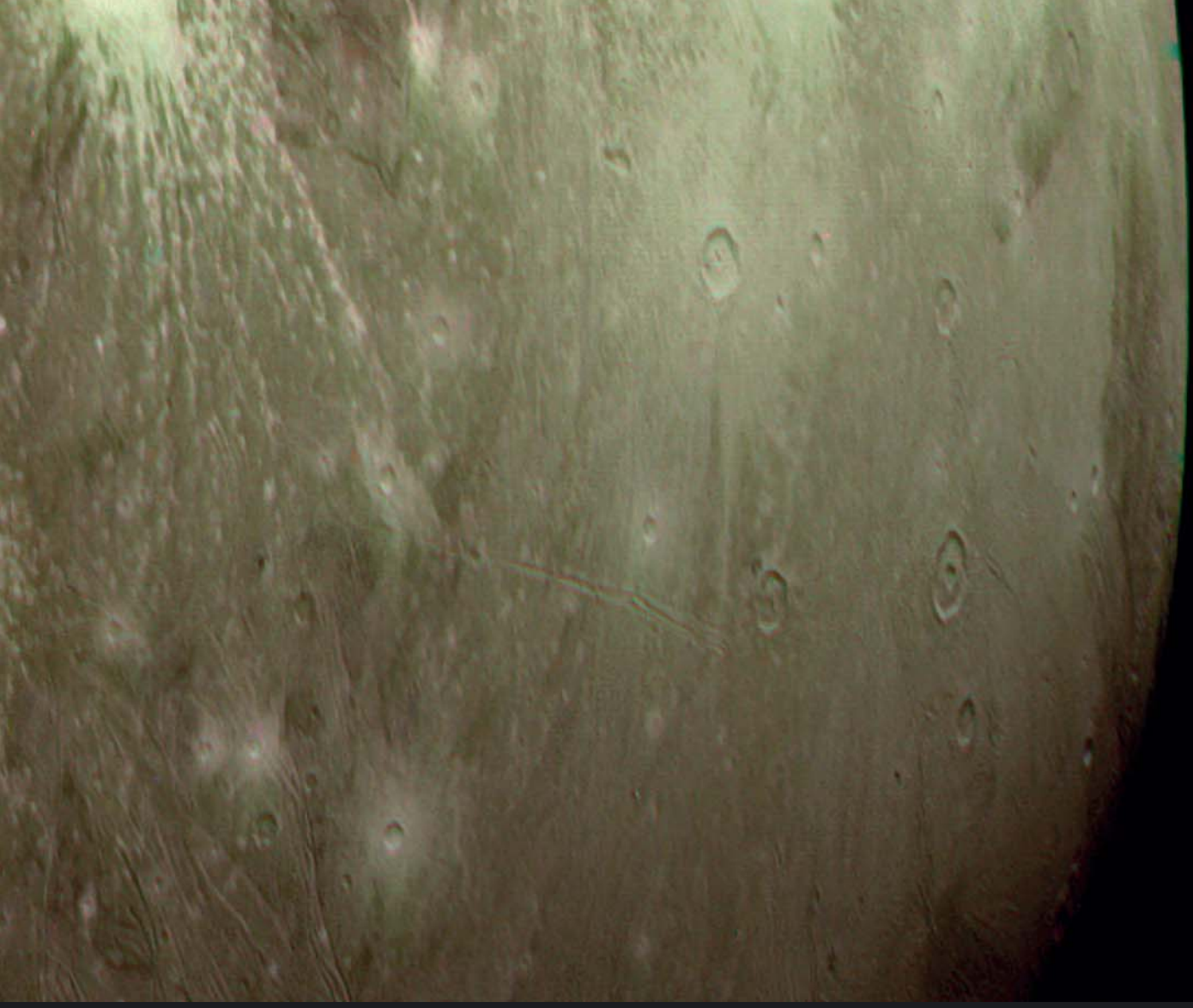
Поверхность Европы выглядит новой: на ней мало следов метеоритных ударов, а те, что есть, кажутся призрачными — очертания кратеров еле заметно выступают над окружением. Кажется, Европа обладает замечательной способностью залечивать раны — и лучшее объяснение этому в том, что ее поверхность подвижна. После каждой деформации она возвращается к среднему уровню, заполняя «шрамы» новым веществом.

Данные «Вояджеров» доказали, что поверхность Европы состоит в основном из водяного льда, местами окрашенного химическими соединениями и примесями. Поэтому вода логично выглядела той «мазью», которая так хорошо лечила «шрамы» Европы: она быстро заполняла повреждения коры и тут же застывала в почти полном вакууме на поверхности.

Но как могла вода сохраниться в жидкой фазе на Европе, которая так далека от Солнца, так мала и имеет такую разреженную атмосферу? Разгадка — тот же эффект приливного нагрева, который питает вулканы на Ио. Внутри Ио и Европа, возможно, очень схожи — у обеих есть горячие ядра, которые способствуют вулканизму. Но если извержения на Ио видны из космоса, на Европе они скрыты километрами льда. Внутреннее тепло поддерживает скрытый в недрах Европы океан в жидком состоянии, а верхние замерзшие его слои плавают в нем, как на Земле ледяные поля в полярных шапках или даже как тектонические плиты в расплавленной астеносфере.

Если на Европе есть океан, может, там есть и жизнь? Последние открытия на Земле подтверждают, что жизнь могла бы появиться в условиях, похожих на глубины океана Европы: питаемая не солнечным теплом в мелких прибрежных водах, а горячим химическим «супом» вокруг глубоководных вулканов. Почему бы и нет?

Посылка на поиски жизни на Европе подводного робота будет выглядеть фантастикой еще много десятилетий, так что мы вряд ли получим прямой ответ на этот вопрос. Единственный шанс на обнадеживающее свидетельство — изучать лед на поверхности Европы. Если бы нам удалось найти в водах, извергающихся из ее недр, сложные органические молекулы, это было бы прямым указанием на то, что подо льдом действительно существует какая-то форма жизни.



Ганимед

Крупнейшая луна в Солнечной системе на первый взгляд не впечатляет — лишенный воздуха шар из камня и льда с серовато-белой мраморной поверхностью. Однако, если взглянуть повнимательнее, мы встретим много секретов и увидим, что в геологической истории Ганимеда много общего с Землей.

Разнообразие поверхности Ганимеда показывает, что на протяжении его истории какая-то сила постоянно перекраивала его рельеф. Некоторые части поверхности темно-серые и густо покрыты кратерами, другие гораздо светлее и покрыты льдом, а кратеров там меньше. Часто светлые области пересекаются длинными параллельными хребтами, как бы вспахивающими рельеф; многие кратеры здесь имеют светлую и гладкую поверхность в центральной части. В этих областях, называемых палимпсестами, свежий лед, по-видимому, был выброшен на поверхность после того, как кратер пробил внешнюю кору.

Густо усеянные кратерами области Ганимеда определенно выглядят старше, чем светлые, с меньшим количеством кратеров. Какая же сила формировала поверхность Ганимеда? Это, видимо, не вулканизм — на поверхности есть несколько «шрамов», где извергались потоки ледяной лавы, но они всегда ограничены малой площадью. По сути, рельеф Ганимеда наводит на мысль о системе тектонических плит, как на Земле.

Это не единственная тайна Ганимеда. Его орбита лежит за Европой, так что приливные силы и нагрев вследствие трения здесь несравненно меньше, чем на двух внутренних галилеевых лунах. Тем не менее космический зонд «Галилео» обнаружил у Ганимеда магнитное поле, а это значит, что у него есть железное ядро, по крайней мере частично расплавленное. Хоть Ганимед и крупный спутник, одного только тепла его образования не хватило бы, чтобы расплавить его недра и расслоить их, — Каллисто лишь немногим меньше, но остается глубоко замерзшей.

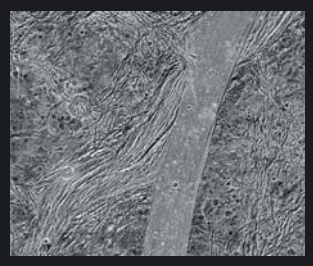
Самое непонятное, что число кратеров на различных типах поверхности Ганимеда показывает, что светлые области начали формироваться около миллиарда лет назад — а до тех пор Ганимед оставался таким же холодным и безжизненным, как Каллисто.

Нынешняя орбита Ганимеда почти идеально круговая, что уменьшает действие приливных сил до минимума. Но на него влияют также Ио и Европа. Возможно, суммарное воздействие двух внутренних спутников на время сдвигает Ганимед на более искаженную орбиту, где приливный нагрев может быть гораздо сильнее.

Может быть, это и случилось миллиард лет назад. Недра Ганимеда разделились на расплавленное ядро и раскаленную мантию из камня и льда, накрытую корой. Движения в мантии постепенно начали оттягивать участки поверхности друг от друга. Древняя кора разрывалась и изгибалась, на ней появлялись параллельные линии разломов, а свежий лед из глубин планеты пробивался вверх, образуя вдоль разломов светлые участки. Если так, то изборожденный рельеф на Ганимеде принадлежит более старой поверхности, растянутой и преобразованной (в отличие от Европы, где старые поверхности давали чистые разломы, а трещины заполнялись свежим веществом).

Теперь, когда Ганимед вернулся на круговую орбиту, приливный нагрев прекратился. Однако в недрах сохранилось еще достаточно тепла, чтобы ядро планеты оставалось частично расплавленным. Исследования магнитного поля Ганимеда также говорят о том, что оно возникает не только в ядре и что Ганимед, как и некоторые из его галилеевых сородичей, тоже может иметь скрытый под поверхностью глобальный океан соленой воды — возможно, еще одно напоминание о временах, когда он был гораздо активнее, чем сейчас.

[1] Более темные и старые участки коры Ганимеда разделены длинными хребтообразными полосами свежего материала. Они, вероятно, образовались, когда вода, бившая из недр планеты, заполняла разрывы между разделяющимися плитами древней коры.



[1]

[2] Цепочка Энки — цепь кратеров длиной 160 км на поверхности Ганимеда. Она сформировалась, когда фрагменты кометы, разорванной на куски гравитацией Юпитера, вместо него угодили в Ганимед.

[2]

Под ледяной корой Ганимеда тоже может находиться глубокий глобальный океан. Мантия под ним должна хранить достаточно тепла, чтобы поддерживать его в жидком состоянии, а значит, ядро планеты все еще может быть частично расплавленным.

Наименьшее расстояние от Юпитера	Наибольшее расстояние от Юпитера	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
1,069 млн. км	1,069 млн. км	5262 км	0,0247 массы Земли	7,15 земного дня	–164 градуса Цельсия	0,145 g (ускорение свободного падения)

Каллисто

Вторая по размерам и самая внешняя из галилеевых лун, Каллисто немного меньше Меркурия. Она очень красива: общий темный цвет поверхности подчеркивает ослепительную белизну кратеров, рассыпанных по ней, и расходящиеся от них в разные стороны лучи извергнутого из недр вещества. Все галилеевы луны разные, но отличия Каллисто более фундаментальные — ее история совсем не такая, как у ее сородичей. Эта луна тоже хранит несколько увлекательных тайн.

Кроме цвета, самое заметное различие между Каллисто и ее соседками — огромное количество кратеров на ее поверхности. Ее рельеф напоминает густо усеянные кратерами ландшафты Меркурия и лунные горы. Похоже, что все эти поверхности примерно одного возраста, а это значит, что Каллисто — единственная из галилеевых лун, которая в своей истории не подверглась обширной перекройке рельефа.

В результате Каллисто, может быть, наиболее густо покрытый кратерами мир во всей Солнечной системе. Она не только никогда не испытывала смену рельефа, но, возможно, благодаря своему положению еще и получила больше, чем все остальные планеты, метеоритных ударов. Для комет, летящих во внутреннюю Солнечную систему, Юпитер часто действует как гравитационный магнит, сбивая их с пути, и такие луны, как Каллисто, как раз оказываются у них на дороге. Кратер Валгалла (см. большое фото вверху) поперечником в 600 км (375 миль), окруженный концентрическими складками, занимающими более трети полушария спутника, — почти наверняка результат такого столкновения.

Почему же Каллисто сохранила первоначальный рельеф, в то время как все остальные луны подверглись коренным изменениям? Вероятнее всего, причин было две: Каллисто слишком далека от Юпитера, чтобы испытать приливный нагрев, и слишком мала для того, чтобы иметь достаточно собственного тепла. Совместное действие этих факторов привело к тому, что Каллисто никогда не разогревалась настолько, чтобы ее недра могли расплавиться и разделиться на ядро, мантию и кору, а это сделало невозможной тектоническую перекройку рельефа.

Однако у Каллисто все же есть один устойчивый тип структуры. Нижележащее вещество явно гораздо светлее, чем поверхностное. Там, где кратеры пробивают поверхностный слой, обнажается нетронутый белый лед; он же разбрасывается вокруг в виде продуктов извержения. В центре нескольких крупных ударных бассейнов находятся большие, гладкие белые участки — палимпсесты, эквивалент лунных морей. Здесь в результате особо сильных ударов выделилось достаточно тепла, чтобы из недр планеты на дно кратера изверглись массы относительно теплого, смешанного с грунтом льда.

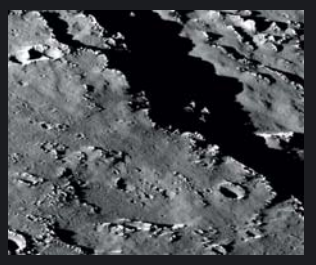
Зонд «Галилео» выявил еще одну загадку структуры Каллисто. Здесь есть магнитное поле, которого по всем моделям строения планет быть не должно. Обычно наличие такого поля означает, что у спутника есть ядро, что для Каллисто исключено. Более вероятное объяснение в том, что поле Каллисто «наведенное», вызванное прохождением луны сквозь мощное магнитное поле Юпитера. Но, чтобы это было возможно, в недрах Каллисто под слоем коры должен существовать проводящий слой жидкости — океан соленой воды.

Признаки наличия океана на Каллисто противоречат большей части наших представлений о геологии планет и ставят множество вопросов, на которые, вероятно, смогут найти ответ только космические миссии будущего.

[1] Считается, что эти странные каменные и ледяные шпили на Каллисто — следы извержения, сопровождавшего образование ударной долины Валгалла. Миллиарды лет лед медленно подтаивал от слабого солнечного тепла, образуя причудливые формы.

[1]

[2] Концентрические разломы, такие как этот крутой обрыв, обозначают границы ударного бассейна Валгалла. В пределах кадра заметна лишь легкая кривизна — целиком эта структура видна только с гораздо большего расстояния.



[2]

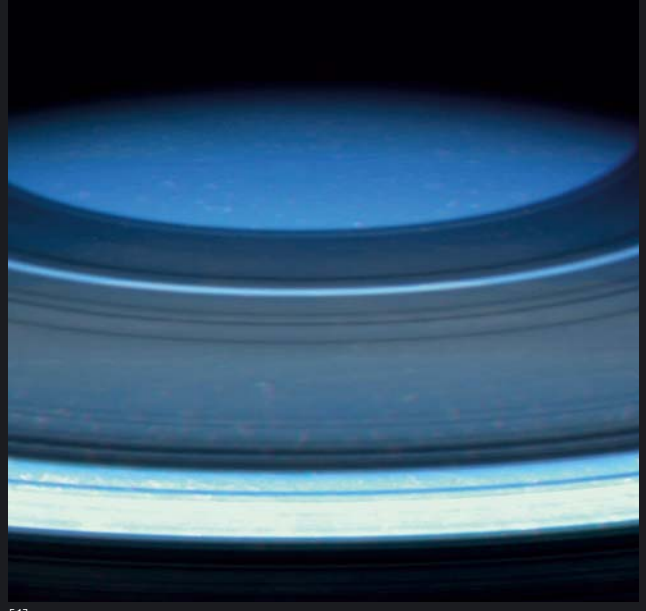
Недра Каллисто совсем не такие, как у остальных галилеевых лун. Под внешней корой и загадочным подземным океаном — хаос камня и льда, никогда не разделявшийся на слои.

Наименьшее расстояние от Юпитера	Наибольшее расстояние от Юпитера	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура оверхности	Среднее тяготение на поверхности
1,86 млн. км	1,89 млн. км	4806 км	0,0018 массы Земли	16,7 земного дня	–153 градуса Цельсия	0,127 g (ускорение свободного падения)

Сатурн

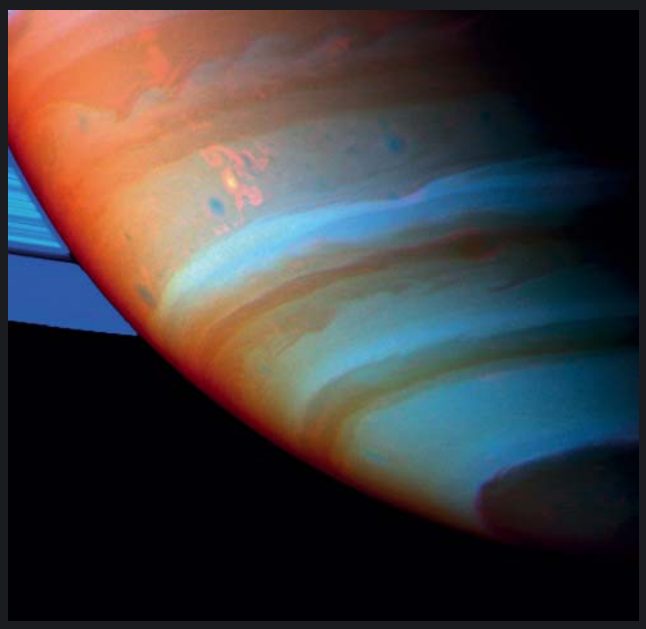
Бриллиант Солнечной системы, великолепные кольца Сатурна окружают быстро вращающийся изменчивый мир, в котором есть и тело, удивительно похожее на Землю.

Под внешним облачным слоем Сатурна водород и гелий быстро становятся жидкими, а на еще большей глубине молекулы водорода расщепляются на атомы и образуют жидкий металлический океан. В центре планеты скрывается небольшое ядро из камня и льда.

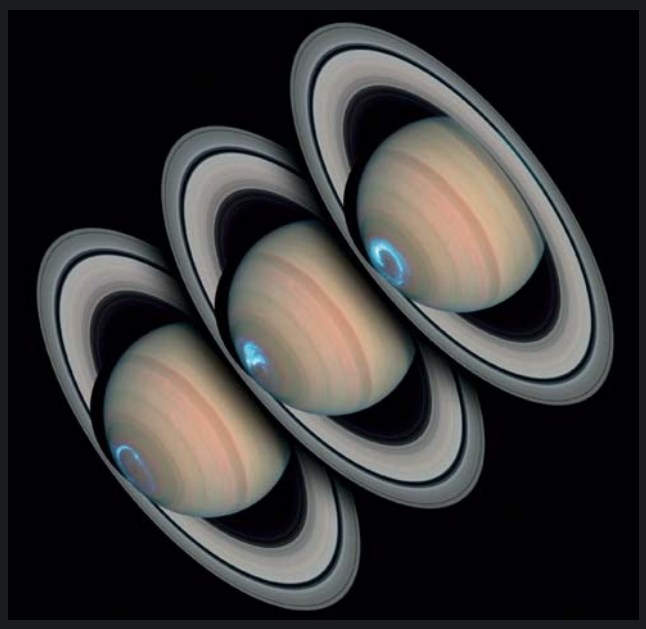


[1]

[2]



[3]



[4]

[1] На фото, полученном космическим зондом «Кассини», тени от колец пересекают северное полушарие Сатурна, большая часть которого в этот момент покрыта сумерками, чем и объясняется его необычный цвет.

[2] Сравнивая вид самих колец и их теней на поверхности Сатурна, мы ясно видим, что, хотя кольца и выглядят сплошными, на деле они местами почти прозрачны.

[3] Южное полушарие Сатурна в искусственных цветах. Красноватый оттенок отмечает область гигантского урагана Дракон. Низкие полосы облаков в атмосфере показаны оранжевым, высокие — белым.

[4] Хотя магнитное поле Сатурна не такое мощное, как у Юпитера, оно тоже способно вызывать яркие полярные сияния, видимые на этих фото южной полярной области.

Сатурн, шестую планету от Солнца, часто считают меньшей и менее яркой копией Юпитера. Он знаменит своей эффектной системой колец. Хотя кольца есть у всех внешних планет-гигантов, кольца Сатурна намного ярче и шире.

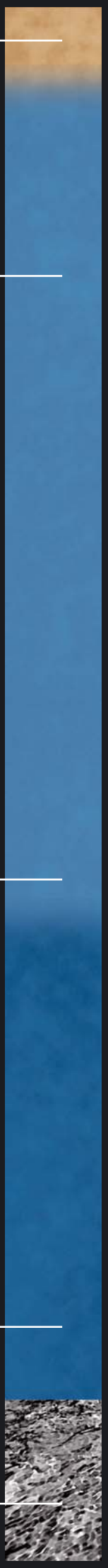
Сам же Сатурн, как и Юпитер, — мир, в котором бушуют ураганы. Он тоже состоит в основном из газообразного водорода. Похож он на Юпитер и своей внутренней структурой. Вихри жидкого металлического водорода глубоко под поверхностью планеты порождают сильное магнитное поле, а в ее центре, вероятно, скрывается относительно маленькое, размером с Землю, каменно-ледяное ядро. Такая структура планеты согласуется с ее необычной легкостью: средняя плотность Сатурна меньше плотности воды, так что шансы найти там большой океан близки к нулю.

Из-за сравнительно слабой гравитации Сатурна его верхняя атмосфера простирается на большее расстояние и более разрежена. Если добавить к этому быстрое вращение планеты (она совершает оборот за 10 часов 40 минут), становится ясно, почему Сатурн — самая сплющенная планета Солнечной системы: ее экваториальный диаметр на 11 808 км больше расстояния от полюса до полюса.

Хотя издали планета кажется сплошь бледно-бежевой — скучной и бесцветной по сравнению с Юпитером, — космические зонды нашли на Сатурне такую же систему облачных поясов. В виде ярких белых пятен здесь тоже появляются циклоны, сохраняющие устойчивость месяцами, если не годами (хоть ни один из них не может соперничать с юпитерианским Большим Красным Пятном). Краски Сатурна более нежные, так как облака сверху окутаны слоем белой дымки из ледяных кристаллов аммиака. На Юпитере такой дымки нет, так как он получает гораздо больше солнечного тепла.

Ось Сатурна наклонена к плоскости орбиты на 27 градусов, что близко к наклону оси Земли. Поскольку кольца расположены точно над экватором, дважды на протяжении каждого 30-летнего оборота Сатурна вокруг Солнца они видны с Земли с ребра и, так как их толщина всего около мили, на несколько месяцев полностью исчезают из виду для большинства земных телескопов. Диски внешних планет всегда видны с Земли полностью, но космические корабли, посланные к Сатурну, сфотографировали его под различными углами. На этих фото видны затейливые абстрактные узоры, образуемые на Сатурне тенями его колец и тенью самой планеты на кольцах.

Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на уровне облаков
71	120 536	95	10,66	29,46	2,49	26,7	–140	1,07
световая минута	км	масс Земли	часа	дня	градуса	градуса	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)



Кольца Сатурна

Хотя все планеты — газовые гиганты имеют системы колец того или иного вида, кольца Сатурна, конечно, самые эффектные. Только их плотная и легко видимая часть тянется примерно на 65 000 км (40 000 миль) от внутреннего края до внешнего, а окружающее ее слабо различимое облако мелких частиц кончается на расстоянии почти 500 000 км (310 000 миль) от планеты.

На первый взгляд кажется, что у колец всего несколько элементов — яркие кольца A и B разделены самым заметным промежутком, щелью Кассини, а само кольцо A разделено более узкой щелью Энке. В сторону Сатурна за кольцом A лежит насквозь просвечивающее кольцо C, или «креповое кольцо», сквозь которое ясно видна сама громада Сатурна.

Сквозь слабую и несовершенную оптику своих телескопов первые астрономы видели, что с формой Сатурна что-то не так, но не видели, что именно. Некоторые считали, что у планеты есть что-то вроде «ручек» — возможно, пара крупных лун. Наконец в 1655 году голландский астроном Христиан Гюйгенс догадался, что Сатурн окружен кольцом. Спустя два столетия шотландский ученый Джеймс Клерк Максвелл показал, что сами эти кольца должны состоять из бесчисленных мелких частиц, каждая из которых обращается вокруг планеты по своей независимой орбите.

Секрет красоты всех систем колец один: множество частиц, обращающихся вокруг центрального тела, естественным образом всегда образует плоский диск. Когда частицы на случайных эллиптических орбитах сталкиваются друг с другом, их движения в направлении планеты или от нее компенсируются, и они переходят на идеально круговые орбиты. Точно так же при столкновениях частиц с разными наклонениями орбит компенсируются разности их наклонений. В конце концов все частицы собираются в плоский диск с наклонением, средним по всем первоначальным наклонениям частиц.

Однако, чтобы столкновительно-разрушительные силы сформировали кольцо, требуется очень долгое время, а между тем на тонкую структуру колец наряду с неизбежными случайными столкновениями влияет гравитация близлежащих спутников. Несколько главных колец распадаются на мириады тончайших колечек, отчетливые промежутки между которыми отмечают интервалы, куда частицы попасть не могут, так как их орбиты будут искажены тяготением спутников. Каждый раз, когда спутник проходит вблизи колец, между их «идеальными кругами» появляются промежутки, а так как каждое кольцо представляет собой группу частиц с одинаковой орбитой и скорость каждого отличается от скорости его внутреннего и внешнего соседа, эти промежутки могут в определенном порядке располагаться между кольцами, образуя отчетливые «ступеньки». Кроме того, под воздействием соседнего спутника каждое отдельное колечко само по себе может изгибаться, переплетаться и образовывать петли.

• Системы колец

Большинство астрономов считают, что кольца планет — короткоживущее явление и что различия между типами колец в Солнечной системе можно объяснить тем, что они находятся на различных стадиях своего жизненного цикла от рождения до распада. Этот цикл может продолжаться всего несколько миллионов лет, но в истории каждой планеты мог повториться несколько раз.

Все подробно изученные нами системы колец оказались динамическими, находящимися в состоянии постоянного изменения: мелкие частицы по спирали погружаются в атмосферу планеты и замещаются новыми, рождающимися при микроскопических ударах о поверхность более крупных фрагментов или спутников. Сами эти крупные фрагменты непрерывно теряют массу, и даже более крупные «мини-луны» постепенно разрушаются. Таки образом, системы колец быстро стареют и исчезают.

С этой точки зрения кольца Сатурна — почти новорожденная система. Относительно недавно маленькая ледяная «луна» или крупная бродяга-комета подошла слишком близко к планете-гиганту и разрушилась; более крупные ее фрагменты быстро перемололись в обломки размером с булыжник и меньше. Кольца Урана находятся на более поздней стадии, на которой большая часть материала колец уже исчезла и осталось лишь несколько отдельных колец, удерживаемых своими «лунами-пастухами». (Они, по-видимому, и состоят из совершенно иного, более темного вещества.) Система колец Нептуна разрушена еще больше, а слабый пылевой диск Юпитера — просто призрак системы колец.

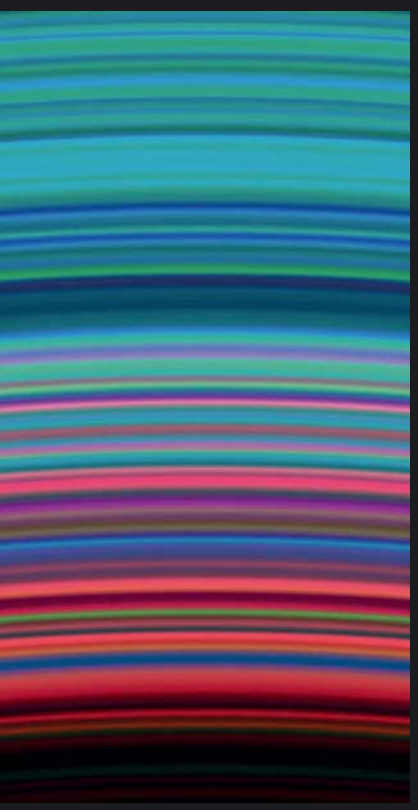
[1]

[1] Серия снимков, полученных на космическим телескопом «Хаббл», демонстрирует, как менялся вид Сатурна с Земли между 1996 и 2000 годами. В результате изменения угла между осями Сатурна и Земли кольца Сатурна, вначале видимые почти с ребра, стали видны плашмя.

[2] Это яркое фото в условных цветах, полученное космическим зондом «Кассини», показывает кольца B и C Сатурна в отраженном ультрафиолетовом свете. Ярко-синий цвет кольца B отмечает присутствие сильно отражающего водяного льда, а красный оттенок кольца C говорит о том, что оно более «грязное» и имеет высокое содержание пыли.

[3] Панорама системы колец Сатурна показывает почти бесконечное разнообразие цвета, текстуры и прозрачности колец: каждое кольцо состоит из уникального индивидуального вида частиц.

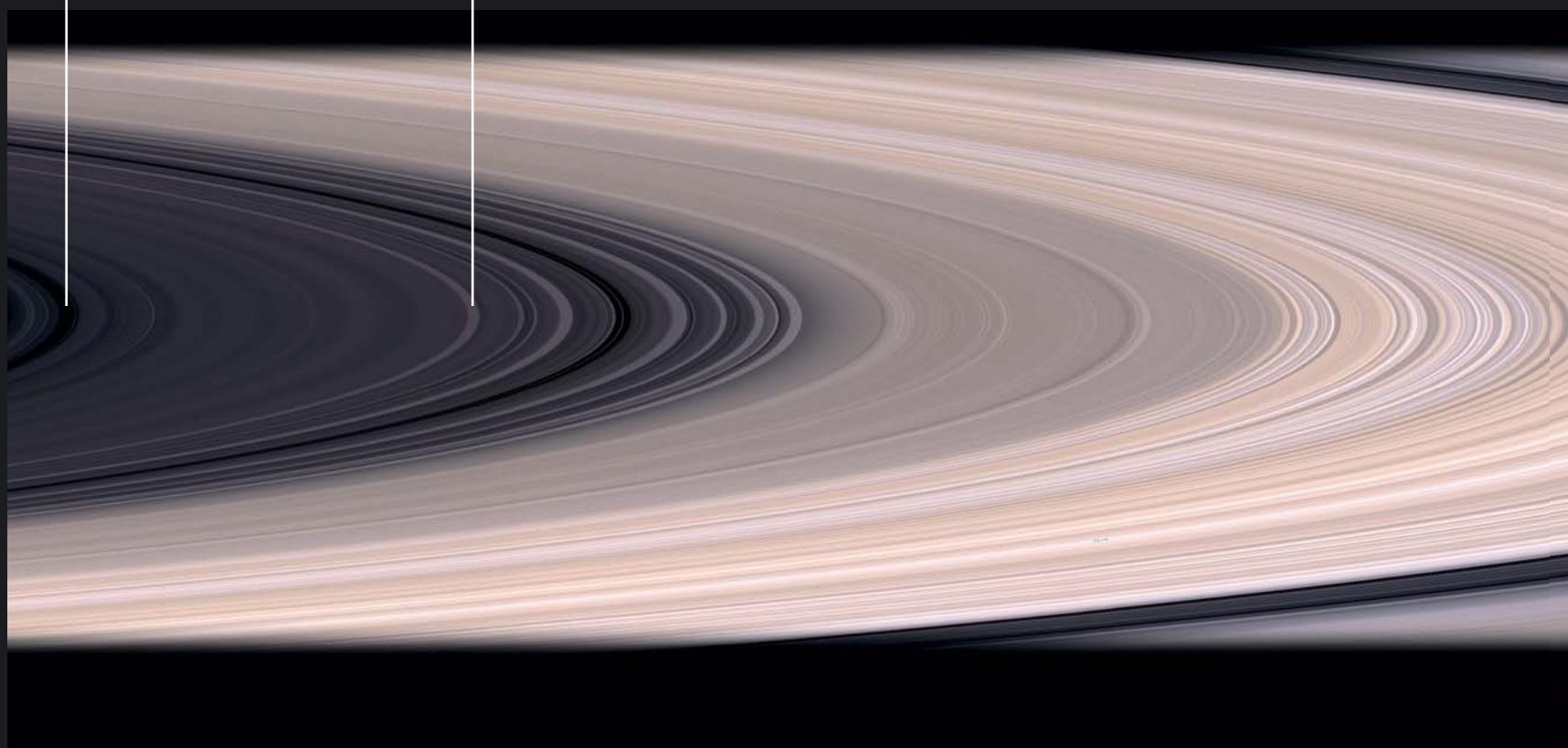
[2]



[3]

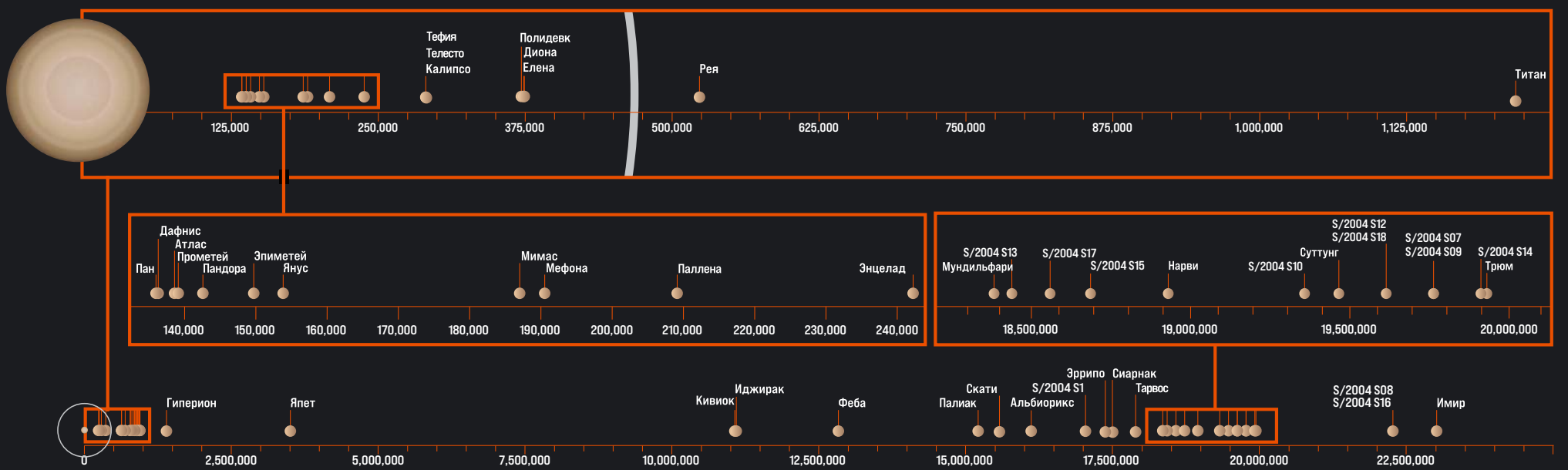
Кольцо D, состоящее из мелких частиц, простирается почти до самой планеты

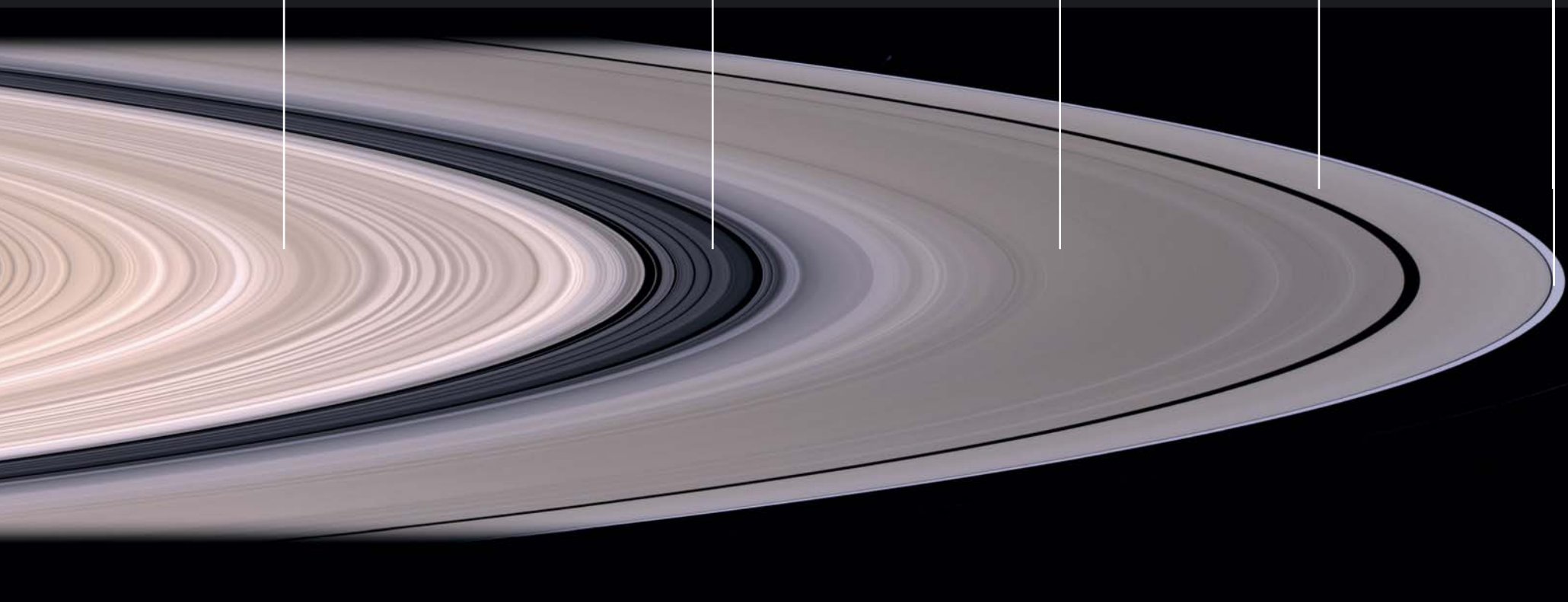
Кольцо C («Креповое кольцо») состоит из рассеянных ледяных обломков



Луны Сатурна

Сейчас известно в общей сложности 47 спутников Сатурна: от Титана, размером с целую планету до мелких камней поперечником в несколько километров. Япет лежит на границе между внутренней областью естественных спутников Сатурна и внешней зоной случайно захваченных тел.





Телесто

Телесто вместе с Калипсо — «троянцы Тефии», две маленькие луны на орбите большого спутника Тефия, в 60 градусах впереди и позади него. Поверхность Телесто необычно гладкая; на ней заметна лишь пара больших кратеров. Она, по-видимому, покрыта тонким слоем реголита, вероятно, в результате ударов мелких метеоритов из внешнего кольца E, внутри которого проходит ее орбита.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
294,7 тыс. км	294,7 тыс. км	24 км	? масс Земли	45,3 часа	–190 градусов Цельсия	? g (ускорение свободного падения)

Пандора

Пандора и Прометей — «луны-пастухи», орбиты которых ограничивают узкое нитевидное Кольцо A. Их гравитационное воздействие помогает удерживать вместе тонкую нить ледяных частиц, которая все же страдает от «пескоструйного эффекта» — бесчисленных ударов окружающих кольцо A мелких частиц.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
141,1 тыс. км	142,3 тыс. км	86 км	3×10^{-8} масс Земли	15,1 часа	–200 градусов Цельсия	0,001 g (ускорение свободного падения)

Эпиметей

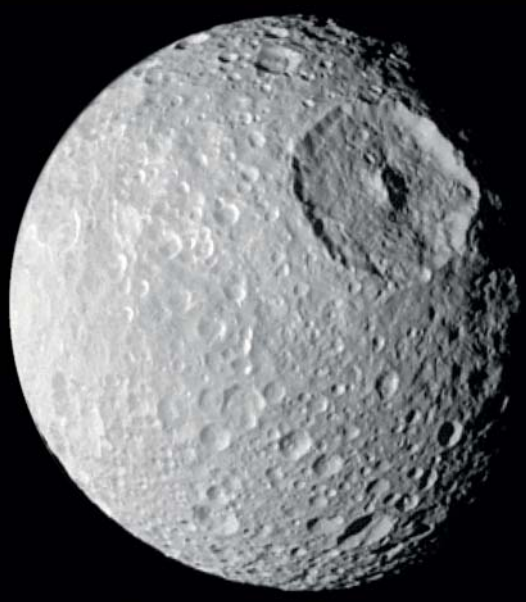
Эпиметей — еще один из так называемых ко-орбитальных спутников Сатурна: он делит орбиту с немного более крупным Янусом. При диаметре в 122 км (75 миль) он слишком мал, чтобы иметь правильную сферическую форму. Его поверхность составлена из ряда ориентированных под разными углами граней, отчего он напоминает гигантский плохо отшлифованный драгоценный камень.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
150,1 тыс. км	152,8 тыс. км	122 км	9×10^{-8} масс Земли	16,7 часа	–195 градусов Цельсия	0,001 g (ускорение свободного падения)

Мимас

Мимас — самая близкая к поверхности Сатурна сферическая луна диаметром 418 км (256 миль). На ее поверхности зияет гигантское немигающее око кратера Гершель диаметром 140 км (80 миль). Мимас кажется естественной моделью Звезды Смерти из «Звездных войн».

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
181,8 тыс. км	189,2 тыс. км	418 км	5×10^{-6} масс Земли	22,6 часа	–200 градусов Цельсия	0,007 g (ускорение свободного падения)



На замечательном снимке, сделанном «Кассини» в истинных цветах, над северным полушарием Сатурна безмятежно плывет Мимас. Полосы на диске планеты — тени, отбрасываемые кольцами.

[1]

[2]

[3]

[4]

Энцелад

Крохотный Энцелад — неожиданно активное тело, захваченное мертвой хваткой могучего притяжения Сатурна.

Энцелад — следующая по значению луна Сатурна после Мимаса. Этот маленький ледяной мир становится все интереснее с каждым новым секретом, который он раскрывает. Некоторые астрономы даже говорят, что эта бриллиантово-белая, насквозь промороженная планетка, возможно, наиболее приспособленное для жизни место в Солнечной системе.

Диаметр Энцелада всего 512 км , а его орбита отстоит от Сатурна на 238 000 км. Несмотря на малый размер, он неожиданно ярок — его альбедо (отражательная способность) выше, чем у любого другого спутника в Солнечной системе.

На изображениях, переданных с борта космических зондов «Вояджер», видна белая поверхность с удивительно малым числом кратеров — явный признак действия какого-то фактора, преобразующего рельеф планеты. Хотя у Энцелада нет никаких следов сплошной ледяной коры, как у спутника Юпитера Европы, его поверхность очевидно ледяная, будто покрытая только что выпавшим снегом.

В 2005 году космический зонд «Кассини» прошел над поверхностью Энцелада на высоте всего 175 км. Пока камеры зонда регистрировали детали поверхности, другой инструмент взял пробы разреженной атмосферы планеты со следами двуокиси углерода, метана и водяного пара. Спустя несколько месяцев бортовые камеры получили великолепный силуэт Энцелада с фонтаном газа, выбрасываемым из его южного полушария и подсвеченным светом далекого Солнца. Именно через этот фонтан и прошел «Кассини» во время сближения.

Сейчас происхождение этого фонтана связывают с загадочной структурой — бледно-голубыми «тигровыми полосами», протянувшимися через все южное полушарие спутника. Эти полосы имеют температуру –180 градусов Цельсия (–290 по Фаренгейту) — на 20 градусов Цельсия (36 по Фаренгейту) теплее, чем окружающий лед, и их форма позволяет предположить, что это щели, разверзшиеся, когда что-то пересекло поверхность луны. По-видимому, свежая вода, вырвавшаяся при этом из недр Энцелада, заполнила образовавшиеся трещины, но они периодически открывались снова, и вещество из-под поверхности вырывалось в пространство, оседая затем на почву, подобно легкому снежку, ложащемуся на более древние образования.

На Энцеладе нет никаких признаков существования глобального океана. Более вероятно, что «фонтаны» бьют из подповерхностных каналов, по которым течет вода, возможно, нагретая вулканической активностью. Тем не менее, если в какой-либо части Энцелада сегодня действительно существует жидкая вода, значит, эта крохотная луна каким-то образом сохранила свое первоначальное внутреннее тепло.

Как же удалось Энцеладу нарушить все законы, действующие на малых ледяных спутниках? Измерения плотности показывают, что здесь больше камня и меньше льда, чем на типичной ледяной луне. Значит, помочь спутнику остаться теплее могли радиоактивные элементы в каменных недрах. Но самое вероятное объяснение как «тигровых полос», так и неожиданно теплой поверхности Энцелада — это снова приливный нагрев. Однако в этом случае материнская планета не единственный его источник — соревнуясь с ней, Энцелад перетягивают к себе несколько больших внешних спутников. В результате его поверхность и недра испытывают гравитационные воздействия с обеих сторон.

Впрочем, возможно, самая большая неожиданность Энцелада — легкая доступность его запасов воды. Некоторые из «тигровых полос» могли появиться всего несколько десятилетий назад, а водяные каналы залегают лишь в нескольких метрах под поверхностью. Сравним это с океанами на лунах Юпитера, запертыми под километрами льда на миллионы лет. Это и есть одна из причин, по каким Энцелад может оказаться более пригодным для примитивной жизни, чем даже Европа, — если солнечный свет является важной частью уравнения жизни, то воды Энцелада, пусть и скрытые в подземных ледяных каналах далеко на окраине Солнечной системы, получают его гораздо больше, чем океаны Европы.

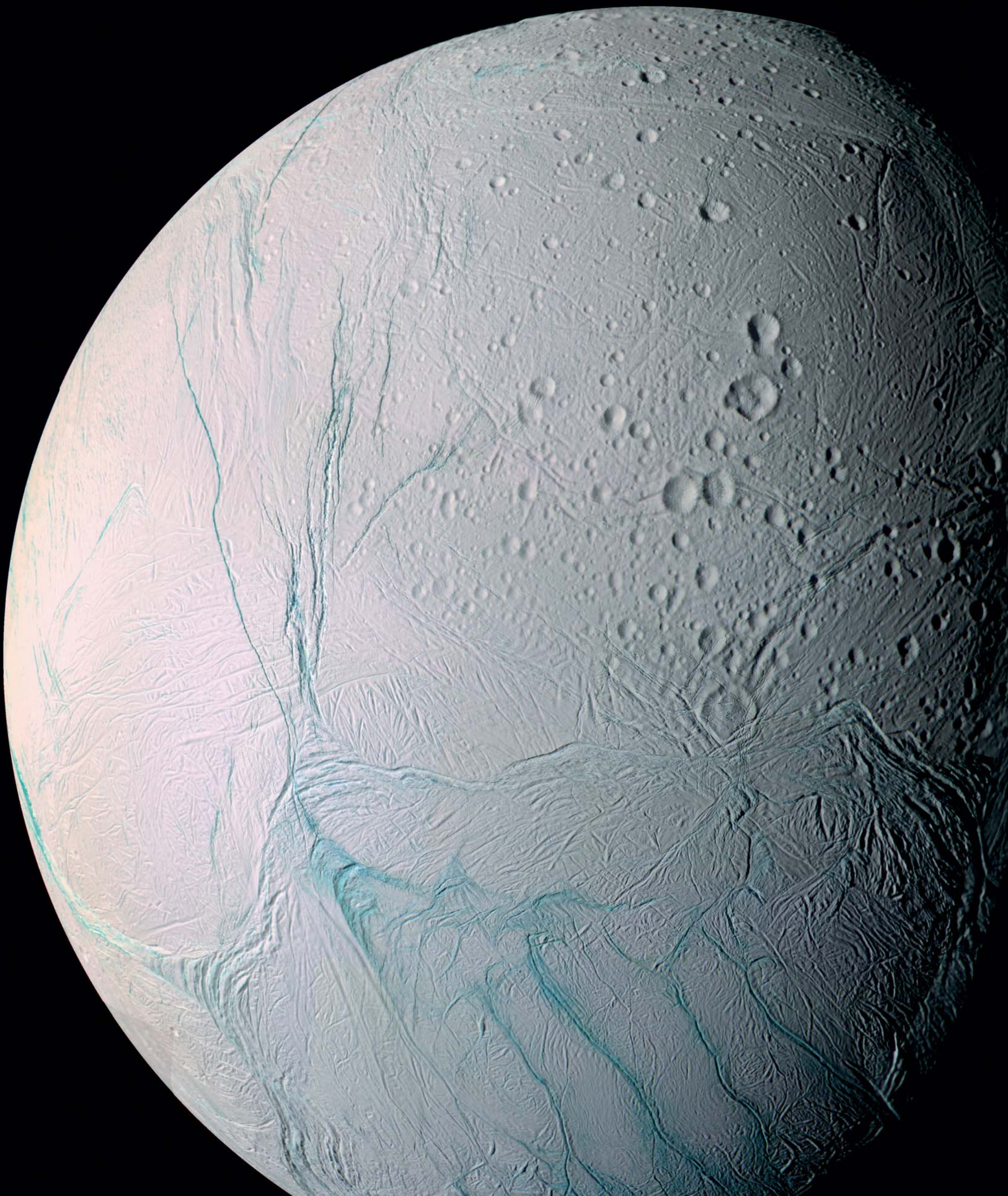
[1] Это прекрасное фото, симфония голубого и серого, было получено космическим зондом «Кассини» во время пролета над южным полушарием Сатурна. Нижнюю часть снимка закрывает часть кольца; выше тьма окутывает окрашенное в голубой цвет северное полушарие, на котором лежат бесчисленные тени колец. Энцелад находится как раз на границе тьмы и света.

[2] На другом снимке Энцелад, как жемчужина, парит над кольцами Сатурна на фоне его золотистой атмосферы. Солнце садится за облака, и тонкие тени колец пересекают диск планеты (вверху слева).

[3] Гигантский снеговой фонтан в солнечных лучах на Энцеладе. Это фото «Кассини» убедительно доказало, что Энцелад — активный мир. Когда вода выбрасывается сквозь трещины на поверхности, она мгновенно кристаллизуется в лед и снежинки.

[4] Голубоватые области «тигровых полос» в южном полушарии Энцелада, по-видимому, являются местами, где ломкая кора планеты подвергается наибольшему напряжению — по крайней мере, сейчас. Это источники ледяных «фонтанов», которые возвышаются над поверхностью спутника.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
237,1	239,0	512	2×10^{-5}	32,9	–198	0,012
тыс. км	тыс. км	км	масс Земли	часа	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)



Еще одно поразительное фото с «Кассини» дает представление об истинной толщине системы колец Сатурна. Над кольцами видна Диона. На заднем плане — Сатурн, цвет которого переходит от привычного желтого в южном полушарии до испещренного тенями колец голубого на севере.

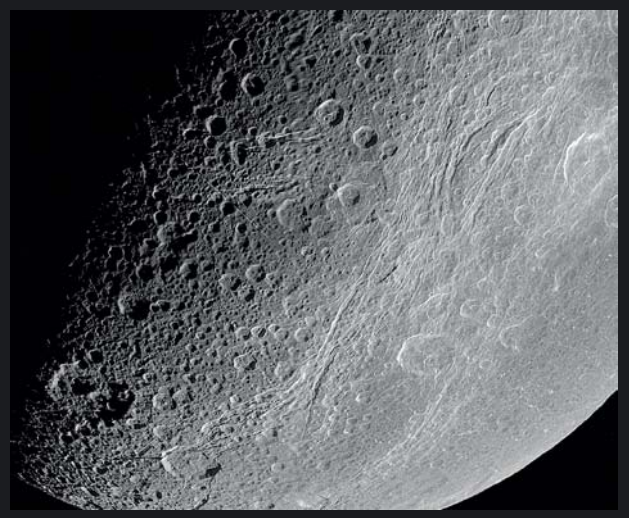
Тефия

На первый взгляд Тефия кажется увеличенной копией Энцелада, но на ее поверхности гораздо больше кратеров и никаких признаков недавней активности. Самый заметный объект на Тефии — гигантский кратер Одиссей, который с момента своего образования испытал много обвалов и сглаживаний в результате сдвигов ледяной коры планеты. Те же сдвиги привели и к появлению широких трещин на поверхности.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
294,7 тыс. км	294,7 тыс. км	1058 км	0,0001 массы Земли	45,3 часа	–187 градусов Цельсия	0,015 g (ускорение свободного падения)

Диона

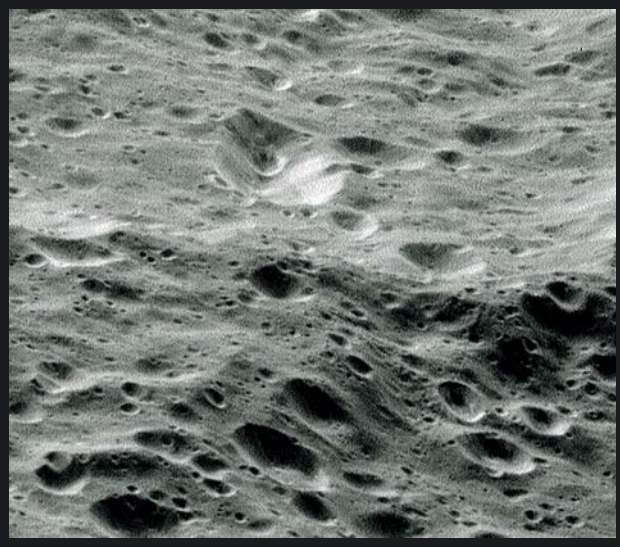
По размеру Диона — почти двойник Тефии. Ее поверхность четко делится на два полушария: светлое, постоянно обращенное вперед при движении спутника по орбите, и повернутое назад более темное, испещренное светлыми линиями, известными как «тонкий рельеф». Хотя раньше их считали просто покрытыми инеем участками, фотографии «Кассини» показали, что на деле эти прожилки — огромные, почти отвесные стены ледяных утесов, признаки того, что кору Дионы когда-то могли изгибать и растягивать приливные силы.



Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
377,5 тыс. км	377,5 тыс. км	1120 км	0,0002 массы Земли	65,5 часа	–186 градусов Цельсия	0,024 g (ускорение свободного падения)

Рея

Рея значительно крупнее своих внутренних собратьев. Это густо покрытый кратерами ледяной шар со множеством отметин от жестоких ударов, наносившихся ему на протяжении миллиардов лет. Если на Дионе и Тефии есть по крайней мере некоторые признаки ледяных извержений, обновлявших их поверхность на заре их истории, то на Рее ничего подобного не заметно. Считается, что из-за своих больших размеров и массы Рея вскоре после образования испытала сжатие, затвердевание и полное замерзание.



Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
527,0 тыс. км	527,0 тыс. км	1530 км	0,0003 массы Земли	108,5 часа	–197 градусов Цельсия	0,028 g (ускорение свободного падения)

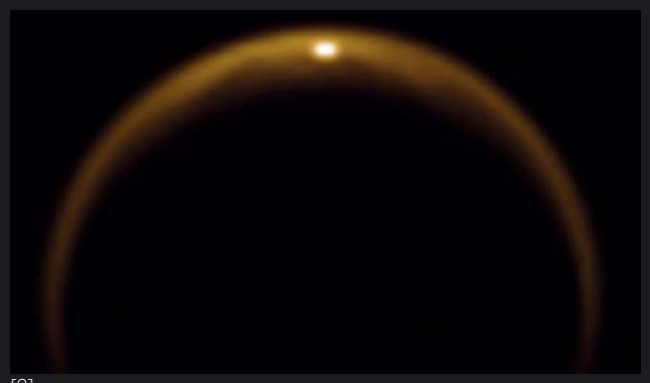
[1]

[1] Инфракрасные камеры зонда «Кассини», способные «видеть» сквозь атмосферу Титана, дали нам первое представление о географии планеты. На левом и правом кадрах — одно и то же полушарие Титана, снятое с промежутком в два с половиной месяца. Центральное фото — вид противоположной стороны спутника. Часть светлых деталей на фотографиях связана с облачностью, но яркие пятна к югу от темного участка могут быть замерзшей водой или углекислотой.

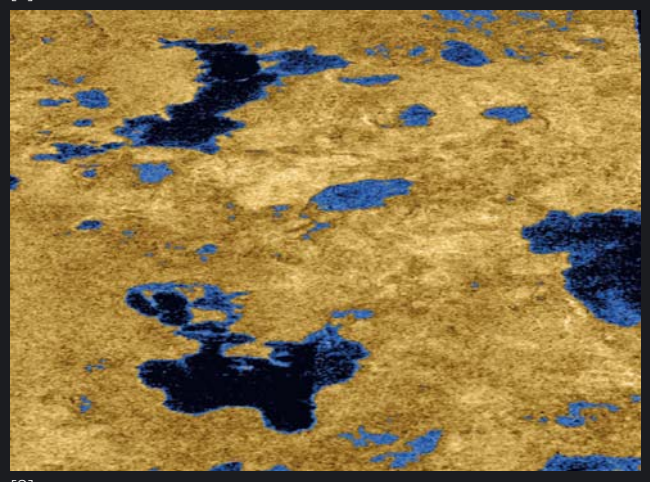
[2] Это великолепное фото получено инструментом VIMS (Visible and Infrared Mapping Spectrometer) с борта «Кассини». Яркий блик в северной полярной области — отражение солнечного света от поверхности так называемого моря Кракена, озера жидкого метана площадью около 400 000 кв. км.

[3] Радарная карта северного полушария Титана, полученная «Кассини» в июле 2006 года, стала первым подтверждением существования «морей» на этой планете. Гладкая поверхность этих озер жидкого углеводорода не отражает, а поглощает лучи радара — в результате на карте получаются темные пятна, на снимке показанные голубым.

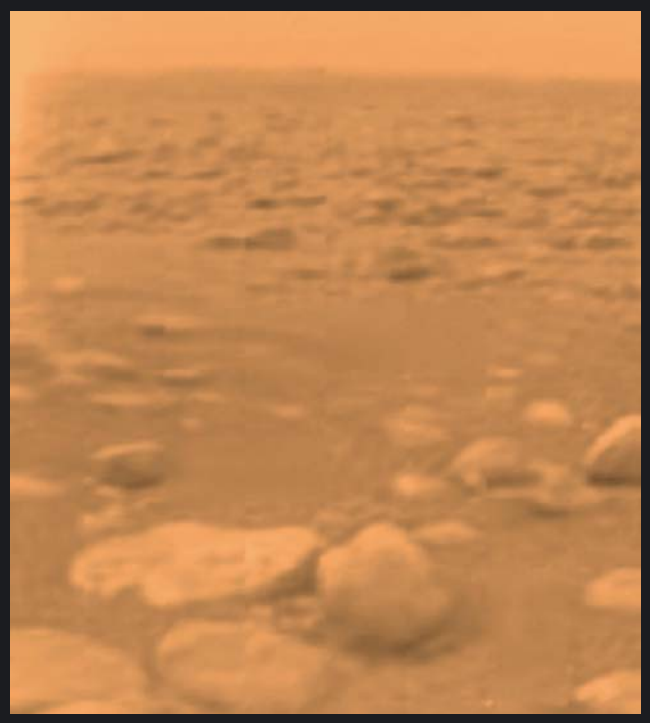
[4] Космический зонд ESA «Гюйгенс» приземлился на Титане на краю высохшего озера в области эстуария — устья древней реки. Поверхность усыпана легкими гладкими булыжниками, состоящими из смеси камня и льда. В месте своей посадки «Гюйгенс» не обнаружил на поверхности ни жидкого метана, ни следов влаги.



[2]



[3]



[4]

Титан

Окутанный плотной оранжевой атмосферой, гигантский спутник Сатурна Титан — скрытая от глаз планета рек, озер и вулканов.

Возможно, самый сложный и интересный спутник в Солнечной системе, Титан, гигантская луна Сатурна, окутан плотной непрозрачной атмосферой, у спутников никогда не встречающейся. Поэтому свои тайны он начал раскрывать только в прошедшем десятилетии, в значительной степени благодаря работе объединенной космической миссии NASA/ESA «Кассини — Гюйгенс», прибывшей в систему Сатурна в 2004 году.

Титан — второй по размеру спутник в Солнечной системе. Спутник Юпитера Ганимед чуть больше, но истинный диаметр Титана долгое время было трудно определить из-за его атмосферы. Хотя зонды «Пионер» и «Вояджер», первыми прошедшие через систему Сатурна, не имели на борту приборов, способных «видеть» сквозь завесу газа, они смогли определить, что атмосфера Титана, как и земная, в основном состоит из инертного азота. Однако в ней есть и несколько процентов метана, который и придает ей характерный оранжевый оттенок и конденсируется в непрозрачные облака.

Титан сохранил плотную атмосферу: тепло далекого Солнца недостаточно, чтобы молекулы газа могли преодолеть притяжение планеты. По сути, Титан оказался в уникальном уголке Солнечной системы, где температура позволяет метану существовать во всех состояниях: твердом (ледяном), жидком и газообразном. Это делает Титан очень похожим на Землю, где тем же преимуществом пользуется вода.

Однако после того, как были выполнены эти интересные наблюдения, Титан оставался загадкой до 2004 года, когда на орбиту вокруг Сатурна вышел зонд «Кассини», оснащенный инфракрасной камерой. Сквозь непрозрачные для обычной оптики метановые облака Титана «Кассини» разглядел рельеф, до мурашек похожий на земной: светлые континентальные возвышенности, разделенные темными областями, известными сейчас как «дюнные моря». И когда в январе 2005 года зонд «Гюйгенс» с парашютом опустился сквозь атмосферу Титана на его поверхность, передавая изображения на Землю, он подтвердил, что рельеф планеты сформирован действием эрозии, той же силы, которая создала реки, озера и сглаженные, закругленные ландшафты Земли. На Титане, по-видимому, существует «круговорот метана», в ходе которого метан постоянно переходит из одного состояния — твердого, жидкого и газообразного — в другое.

Поначалу, однако, давно предполагавшиеся на Титане метановые озера никак не удавалось отыскать. «Гюйгенс» не нашел никаких следов жидкого метана вблизи места своей посадки в экваториальной зоне планеты, хотя тонкая ледяная корка на поверхности могла образоваться в результате недавних осадков. Но только в 2006 году радар «Кассини» зарегистрировал вокруг северного полюса Титана метановые озера с гладкой, как стекло, поверхностью, поперечником в десятки миль. По-видимому, в течение 30-летнего цикла смены времен года на Титане метан и другие химические соединения могут «мигрировать» от одного полюса к другому, скапливаясь в более холодном «зимнем» полушарии.

Недра Титана, по всей вероятности, разделены на слои, по крайней мере частично, и сохраняют достаточно внутреннего тепла для поддержания «криовулканизма» — извержений грязевых масс камня и льда вместо расплавленной лавы. В прошлом поверхность планеты, возможно, была гораздо активнее: геологическая активность могла поддерживаться теплом, выделявшимся при химических изменениях в гипотетически залегавшем глубоко под поверхностью океане. Недавнее открытие инфракрасных «теплых пятен» на поверхности спутника может означать, что случайные извержения все еще изменяют рельеф поверхности.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
1185,2 тыс. км	1258,5 тыс. км	5150 км	0,023 массы Земли	15,9 часа	–179 градусов Цельсия	0,127 g (ускорение свободного падения)

Титан покрыт внешней корой, состоящей из водяного льда. Под ней скрывается океан из воды и аммиака, которым питаются ледяные вулканы. Под океаном — мантия изо льдов различного состава, в том числе из соединений воды и аммиака. В центре планеты — каменное ядро.

Гиперион

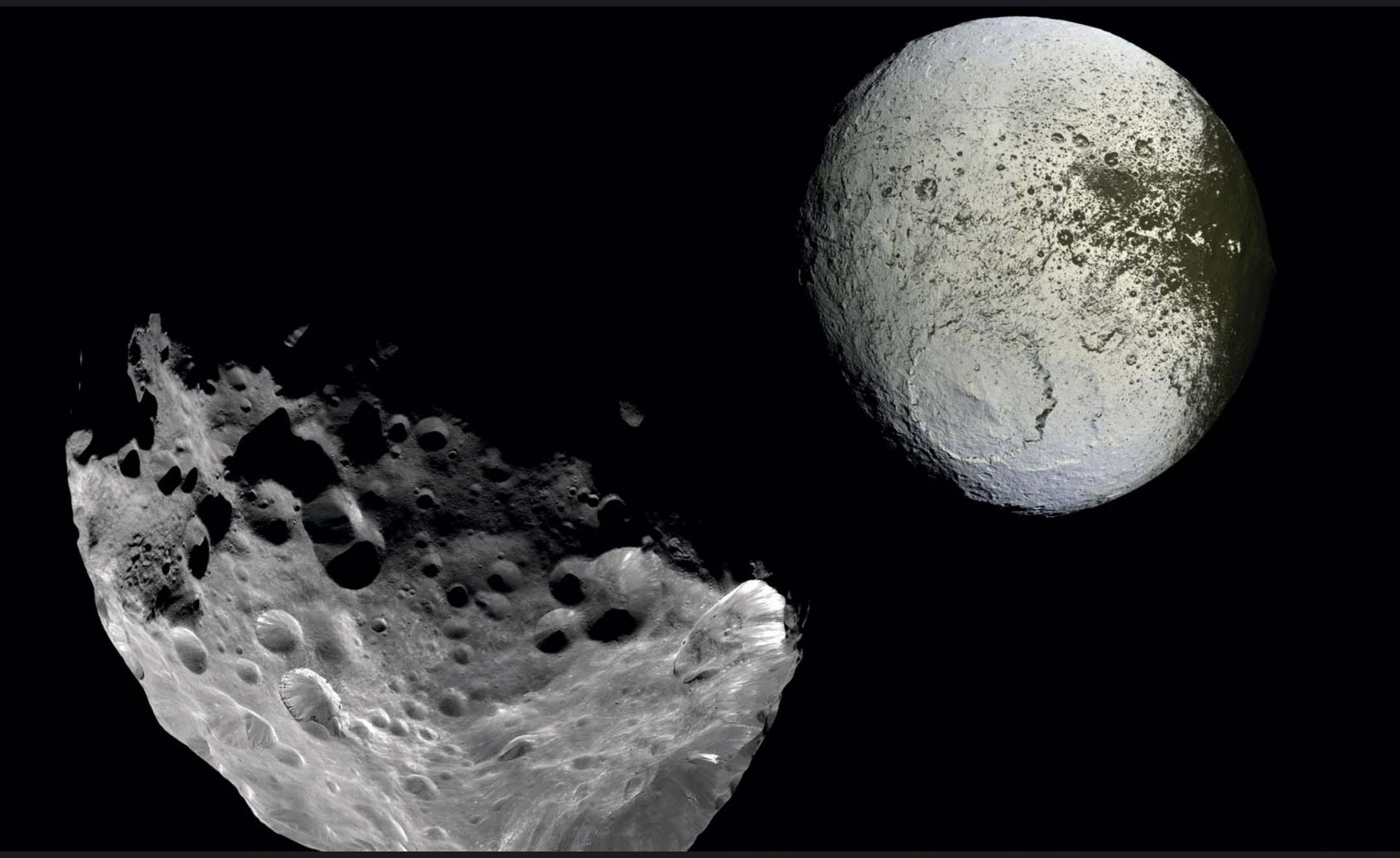
Гиперион — необычный спутник: он выглядит скорее как губка или коралл, чем как луна. Необычны и его размеры — при длине 370 км (230 миль) он достаточно велик, чтобы иметь сферическую форму вместо своих причудливых очертаний. Наиболее вероятное объяснение формы Гипериона в том, что это осколок большого спутника, когда-то разрушенного чудовищным ударом.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
1333	1629,2	370	9×10^{-7}	непостоянный	–190	0,002
тыс. км	тыс. км	км	масс Земли	часа	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)

Япет

Похожий по размерам на Рею, Япет выделяется загадочным горным хребтом, который опоясывает планету в точности по экватору. Еще удивительнее, что половина поверхности луны относительно светлая, а другая покрыта каким-то темным веществом. Япет всегда обращен к Сатурну одной стороной, и темнее именно передняя, ведущая сторона планеты, что, возможно, дает ключ к объяснению этих особенностей.

Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
3454,4	3668,1	1440	0,0003	79,3	–190	0,028
тыс. км	тыс. км	км	массы Земли	часа	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)



Феба

Феба — самый близкий к Сатурну из его нерегулярных спутников, которые, как полагают, являются захваченными астероидами и кометами. Покрыт темным красноватым веществом. Его орбита находится более чем в 6 миллионах километров за орбитой Япета. Обращается вокруг Сатурна в обратном направлении. Одно из объяснений странного вида Япета — бомбардировка пылевыми частицами с поверхности Фебы.

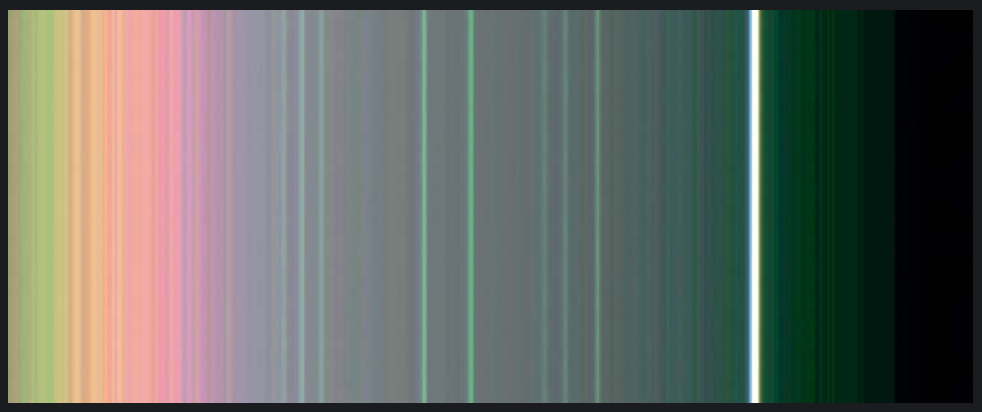
Наименьшее расстояние от Сатурна	Наибольшее расстояние от Сатурна	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
10 685	15 219	220	1×10^{-6}	550	–190	0,005
тыс. км	тыс. км	км	масс Земли	часа	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)

Уран

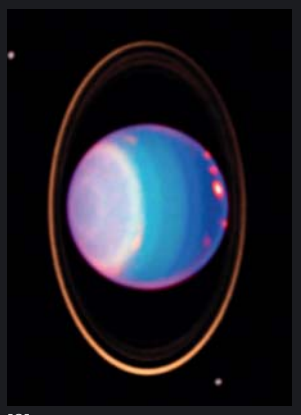
Неподвижный и ровный облачный слой, видимый с борта «Вояджера-2», скрывает самую необыкновенную планету.

Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
152	51 118	14,5	17,24	84	0,77	98	–214	0,89
световые минуты	км	массы Земли	часа	земных года	градуса	градуса	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)

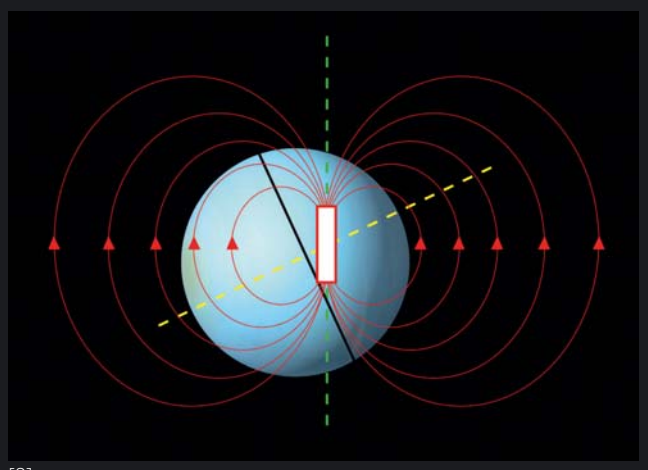
Состоящие из водорода, гелия и метана внешние слои Урана образуют атмосферу, которая по мере движения внутрь планеты переходит из газообразной формы в жидкую. Затем следует мантия из вспененных льдов и каменно-ледяное ядро.



[1]



[2]



[3]

[1] На увеличенном изображении колец Урана видны небольшие цветовые различия, которые означают, что различные группы колец состоят из немного отличающихся материалов. Сама планета слева за рамками кадра; широкая светлая линия — внешнее Эпсилон-кольцо.

[2] Этот снимок, сделанный космическим телескопом «Хаббл», — лучшее из всех полных изображений системы колец Урана. Яркое пятно и хорошо заметные полосы на диске показывают, что за 12 лет, прошедшие с тех пор, как мимо Урана пролетел «Вояджер-2», планета изменилась.

[3] Как ни причудлив наклон оси вращения Урана, он не идет ни в какое сравнение со странностью магнитного поля планеты. Оно отклоняется и от «вертикального», и от направления осевого вращения планеты и даже не проходит через ее ядро. Похоже, что магнетизм Урана каким-то образом возникает в его ледяной мантии.

Первая планета, открытая с телескопом (ее случайно обнаружил британский астроном немецкого происхождения Уильям Гершель в 1781 году), Уран прячется в глубинах внешней Солнечной системы. Он вдвое дальше и вдвое меньше Сатурна. До пролета мимо него в 1986 году «Вояджера-2» мы знали об Уране только, что у него есть спутники и кольца. Пять больших лун Урана были открыты до космической эры: Титанию и Оберон открыл сам Гершель, Ариэль и Умбриэль — Уильям Лассел в 1851 году, Миранду — Джерард Койпер в 1948-м.

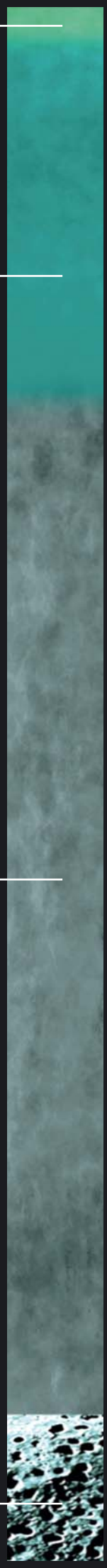
Орбиты этих спутников оказались крайне необычными: они проходили над планетой и под ней, вместо того чтобы располагаться, как обычно, вблизи плоскости всей Солнечной системы. А так как луны почти всегда обращаются вокруг материнской планеты вблизи плоскости ее экватора, наклоненные орбиты спутников Урана говорили о том, что наклонена ось вращения самого Урана. Это предположение сенсационно подтвердилось в 1977 году, когда астрономы, наблюдавшие покрытие (затмение) звезды диском Урана, увидели, что в ходе покрытия свет звезды несколько раз ослабевал и снова возрастал. Это значило, что у Урана есть несколько тонких колец, которые, как и орбиты его спутников, оказались «стоящими торчком».

На деле ось вращения Урана наклонена под углом 98 градусов, так что его северный полюс отклонен немного вниз от горизонтали. В сочетании с периодом вращения в 17 часов 15 минут это привело к установлению на Уране причудливой смены времени суток и времен года. На протяжении половины каждого 84-летнего (в земных годах) орбитального оборота северный полюс направлен на Солнце и на большей части северного полушария стоит непрерывный день. На протяжении второй половины оборота дневной свет достается южному полушарию, а северное погружено в долгую темную ночь. И только в относительно узкой полосе вокруг экватора существует «нормальная» смена дня и ночи.

Когда «Вояджер-2» пролетал мимо системы Урана, вид планеты разочаровал — почти лишенный деталей сине-зеленый шар, монотонная окраска которого нарушалась лишь слоями розоватой дымки у горизонта. Последующие фото, полученные с земными телескопами, показали, что сейчас Уран, похоже, «проснулся»: на нем появились различные яркие детали, напоминающие бури и другие атмосферные структуры, характерные для остальных планет-гигантов. Этот период активности, возможно, связан со сменой времен года на Уране. По одной из идей, атмосферные потоки, которые переносят тепло от подсолнечного полюса к темному и холодному, идут под прямым углом к направлению Кориолисовых сил, вызванных вращением планеты, и противодействие этих двух факторов не позволяет установиться крупномасштабным погодным структурам. Когда в ходе движения Урана по орбите день и ночь в противоположных полушариях на короткое время уравновешиваются, потоки между полюсами ослабевают и силы Кориолиса начинают доминировать, позволяя сформироваться облачным полосам и мощным ураганам.

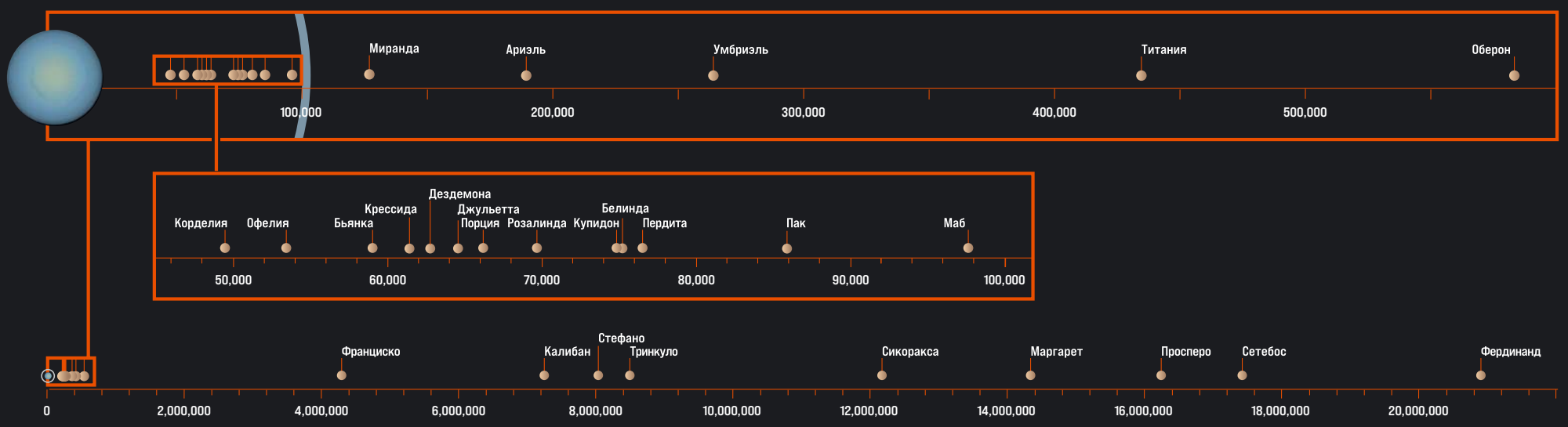
Уран имеет несколько отличий от других планет-гигантов, и эти отличия тоже связываются с «неправильным» наклоном планеты. Во-первых, у Урана, видимо, нет внутреннего источника тепла, который позволяет другим гигантским планетам излучать больше энергии, чем они получают от Солнца, и который, возможно, определяет их «погоду». Во-вторых, Уран обладает странным магнитным полем, ось которого, по-видимому, никак не связана с осью вращения планеты и даже не проходит через ее центр.

Чем вызван аномальный наклон оси Урана? Самое вероятное объяснение — вначале планета вращалась, как все, вертикально, но ее ось изменила направление вследствие столкновения с другим крупным планетоидом. Его вторжение могло внести хаос и в орбиты спутников Урана, но приливные силы материнской планеты вскоре вернули их на орбиты в плоскости ее нового экватора.



Луны Урана

[внизу] На сегодня у Урана открыто 29 спутников, но лишь пять из них могут считаться значительными небесными телами.



Титания

Титания — крупнейший из спутников Урана, четвертый из его главных спутников в порядке удаления от планеты. Мешанина темных и светлых пятен на ее поверхности, заметные трещины — свидетельства ее бурного прошлого. Планета была достаточно крупной и теплой, чтобы ледяные криовулканические извержения переформатировали ее рельеф, а трещины говорят о том, что на ней, возможно, даже начинались тектонические процессы.

Наименьшее расстояние от Урана	Наибольшее расстояние от Урана	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
435,0 тыс. км	436,7 тыс. км	1580 км	0,0006 массы Земли	8,7 земных дня	–213 градусов Цельсия	0,039 g (ускорение свободного падения)

Оберон

Оберон — второй по размеру и самый далекий от Урана из «большой пятерки». Его поверхность сравнительно темная, и, хотя на ней и есть несколько разломов, по активности Оберон не может сравниться с Титанией. Самое интересное на нем — большие, как бы расплесканные кратеры. Они окружены светлыми ледяными выбросами, по-видимому изверженными непосредственно из-под поверхности. Дно кратеров темное, а значит, удары метеоритов пробивали кору, позволяя темному материалу из недр выплескиваться на поверхность.

Наименьшее расстояние от Урана	Наибольшее расстояние от Урана	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
129,4 тыс. км	130,2 тыс. км	474 км	0,0005 массы Земли	13,5 земных дня	–213 градусов Цельсия	0,036 g (ускорение свободного падения)

Умбриэль

Умбриэль — средний из главных спутников Урана, как по размерам, так и по расстоянию от планеты. Он чуть больше Ариэля, густо покрыт кратерами и никогда не был геологически активным. Светлое пятно в верхней части изображения вовсе не полярная шапка — это кратер Вунда в южном полушарии Умбриэля, вблизи экватора.

Наименьшее расстояние от Урана	Наибольшее расстояние от Урана	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
264,7 тыс. км	267,3 тыс. км	1170 км	0,0002 массы Земли	99,5 часа	–213 градусов Цельсия	0,023 g (ускорение свободного падения)

Ариэль

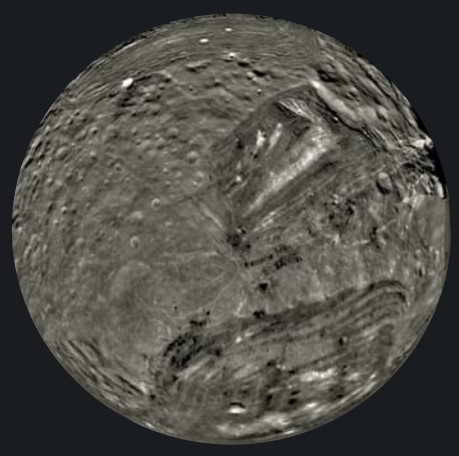
У Ариэля, второго по счету от Урана из больших спутников, относительно светлая поверхность с небольшим количеством кратеров. На заре своей истории эту луну, по-видимому, достаточно разогрели приливные силы Урана, и ее поверхность была переформатирована криовулканизмом (см. с. 77). Ариэль давно остыл, и его поверхность покрыта длинными каньонами — трещинами в коре, образовавшимися в процессе замерзания.

Наименьшее расстояние от Урана	Наибольшее расстояние от Урана	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
190,7 тыс. км	191,8 тыс. км	1160 км	0,0002 массы Земли	60,5 часа	–213 градусов Цельсия	0,028 g (ускорение свободного падения)

Миранда

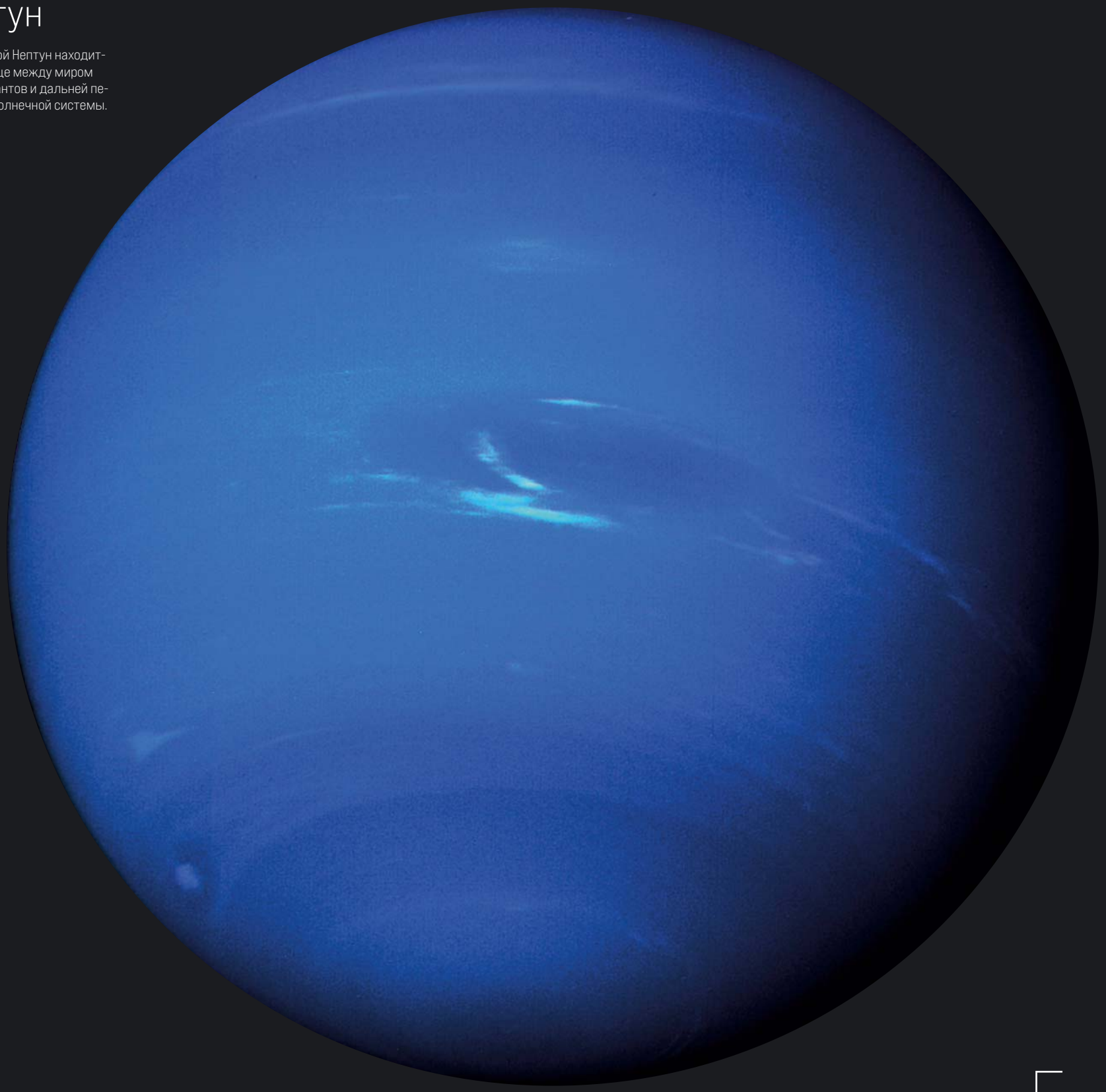
Самая маленькая и ближайшая к Урану из главных лун, Миранда вся как бы покрыта лоскутками и заплатками. Ее поверхность отличается удивительным разнообразием видов рельефа — концентрические валы вокруг так называемых корон, усыпанные кратерами древние равнины, зубчатые каменные стены многокилометровой высоты. Наиболее вероятное объяснение этого геологического коллажа: прежде чем замерзнуть, недра Миранды были расплавленными, участки коры плавали в магме и формировали поверхность.

Наименьшее расстояние от Урана	Наибольшее расстояние от Урана	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
129,4 тыс. км	130,2 тыс. км	474 км	1×10^{-5} массы Земли	33,9 часа	–213 градусов Цельсия	0,008 g (ускорение свободного падения)

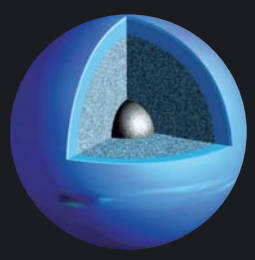


Нептун

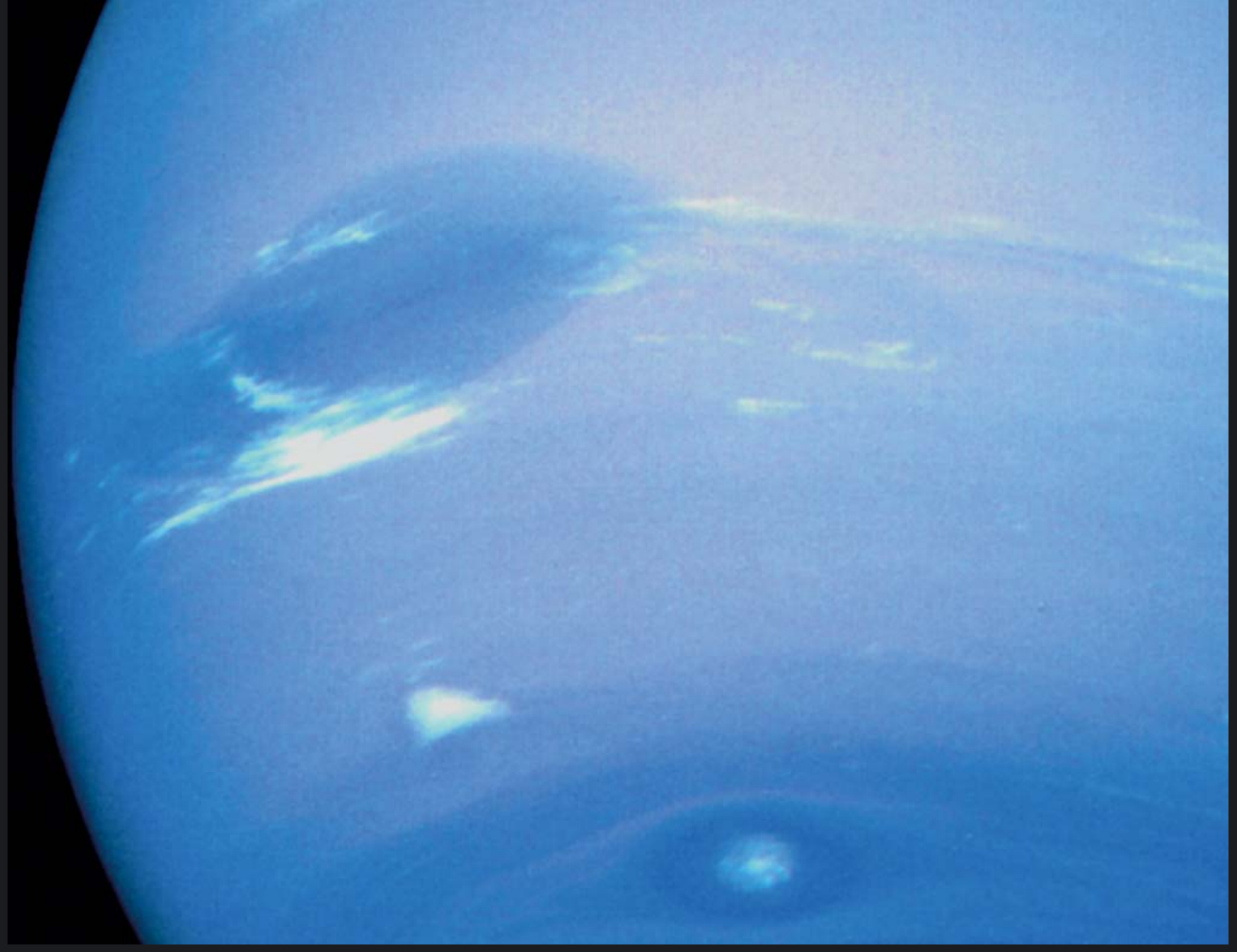
Ярко-голубой Нептун находится на границе между миром планет-гигантов и дальней периферией Солнечной системы.



Расстояние от Земли	Диаметр	Масса	Продолжительность дня	Продолжительность года	Наклонение орбиты	Наклон оси вращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
248	49 532	17,1	16,11	164,9	1,77	28,3	–200	1,13
световых минут	км	массы Земли	часа	земных года	градуса	градуса	градусов Цельсия	g (ускорение свободного падения)



По строению Нептун похож на Уран: внешняя атмосфера из водорода, гелия и метана, глубоко залегающая мантия изо льдов различного химического состава, компактное каменно-ледяное ядро.



[1]

[1] Скорость движения облаков в атмосфере Нептуна зависит от их широты и высоты. Во время пролета «Вояджера-2» было замечено, что Большое Темное Пятно (в центре) совершает оборот вокруг оси планеты медленнее, чем Малое Темное Пятно (внизу), а их обоих легко обгоняет высотное белое облако под названием Скутер.

[2] Иногда сильные ветры и связанные с вращением Нептуна Кориолисовы силы вытягивают находящиеся на большой высоте белые облака в длинные ленты вокруг диска планеты, которые отбрасывают темные тени вниз, на голубую, как океан, поверхность.

[2]

Хотя Нептун был открыт еще в 1846 году и по диаметру раз в пять больше Земли, он так далеко — около 30 астрономических единиц от Солнца, — что еще недавно мы о нем почти ничего не знали. Ситуация изменилась в 1989 году, когда вблизи него пролетел космический зонд «Вояджер-2», увенчав этим свою 12-летнюю миссию по исследованию внешней Солнечной системы. После с виду спокойного Урана Нептун оказался миром неожиданностей — необыкновенно активной планетой с одной еще более необычной гигантской луной.

Цветом Нептун немного отличается от Урана — из-за различий в содержании гелия в атмосферах этих планет. Во внешних слоях атмосферы Нептуна около 3% гелия, поэтому он поглощает больше красных лучей от Солнца и в отраженном свете выглядит скорее темно-синим, чем бирюзовым, как Уран. Однако, так как обе планеты очень похожи размерами и общим строением, думают, что в недрах Нептуна тоже много «грязных» льдов различного химического состава.

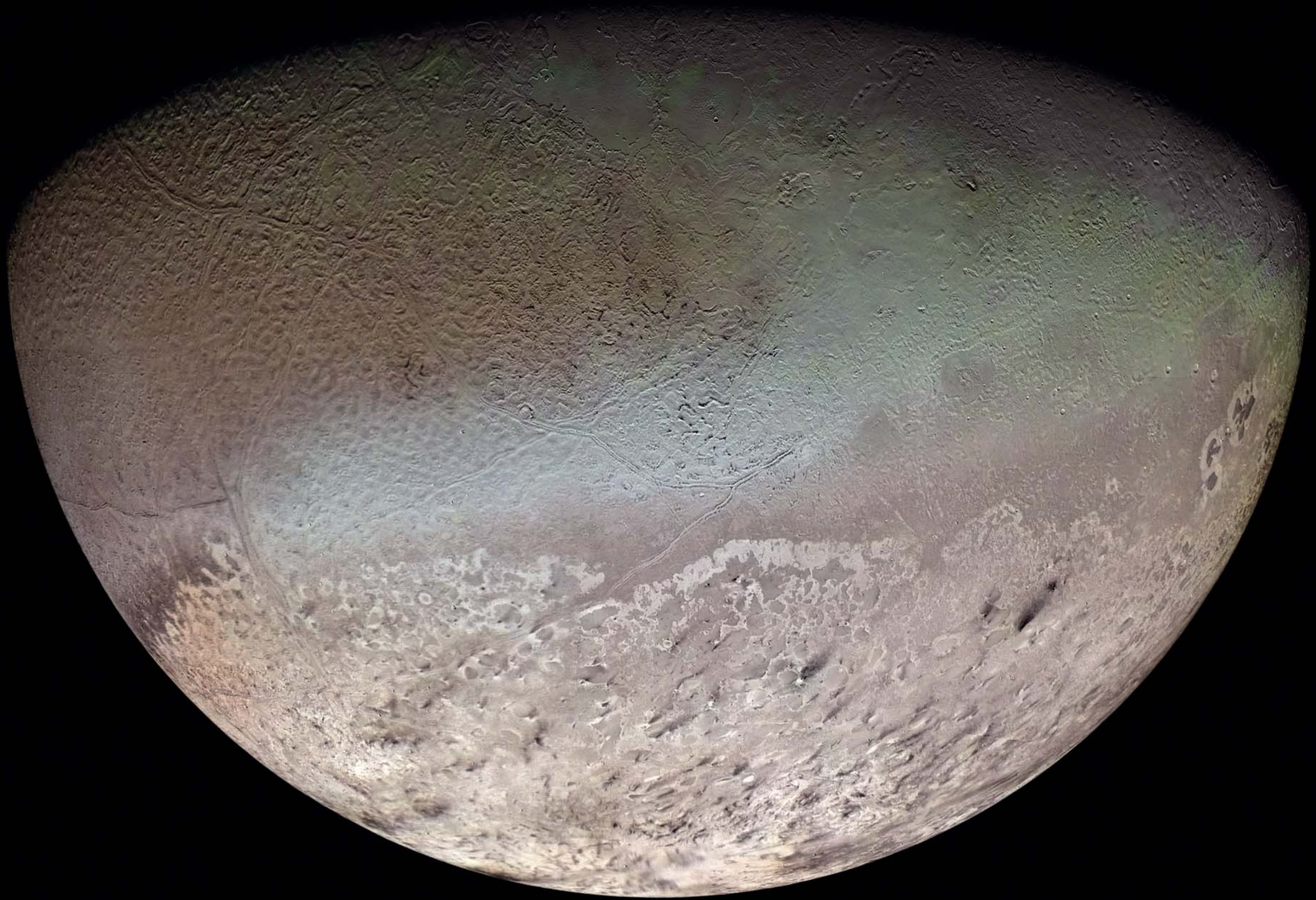
Нептун совершает оборот вокруг Солнца за 165 лет. Наклонение его оси, в отличие от оси Урана, невелико — 28 градусов, примерно такое же, как у Земли. Поэтому на Нептуне похожие на земные, только невероятно долгие, времена года. Какой бы катаклизм ни заставил ось Урана принять такое странное положение, с Нептуном ничего подобного не случилось. Некоторые астрономы считают, что этим можно объяснить, почему Нептун, как и гиганты Юпитер и Сатурн, по всей видимости, имеет внутренний источник энергии, а Уран — не имеет.

Недра Нептуна генерируют огромное количество энергии — он испускает в два с лишним раза больше излучения, чем получает от Солнца, в основном в виде инфракрасных (тепловых) лучей. Это тепло определяет погоду на планете. Во время посещения окрестностей Нептуна «Вояджером-2» одно из его полушарий было охвачено гигантским циклоном, который тут же окрестили Большим Темным Пятном по аналогии с похожим явлением на Юпитере. Вокруг и выше темного пятна двигались на большой высоте белые облака, прозванные скутерами за их быстроту. Наблюдая их движение, группа «Вояджера» вычислила, что на Нептуне достигнута, возможно, самая высокая скорость ветра в Солнечной системе: до 2000 км/ч. Никто точно не знает, как Нептун вырабатывает столько тепла. По одной из теорий, глубоко в его недрах при высоком давлении и температуре происходит химическое разложение метановых льдов; выделяющиеся при этом атомы углерода объединяются в кристаллы с образованием тепла. Другими словами, если верить этой теории, на Нептуне буквально идут алмазные дожди, трение которых при проходе сквозь атмосферу вносит вклад в ее нагрев.

Нептун приберег для «Вояджера» еще один сюрприз. Астрономы давно догадывались, что у этой планеты есть система колец, такая же, как вокруг Урана и Юпитера, но наблюдательных доказательств этому получить не удавалось. Некоторые считали, что у Нептуна есть только «кольцевые дуги» — короткие фрагменты колец. Снимки «Вояджера» доказали, что кольца Нептуна полные, но очень неровные, в некоторых местах гораздо толще, чем в других.

• Спор о Нептуне

Нептун стал первой планетой, открытой математиком, хотя спор о том, кому все-таки принадлежит честь его открытия, продолжается больше ста лет. Вскоре после открытия Урана в 1781 году астрономы поняли, что с орбитой новой планеты что-то не так — Уран оказывался то впереди, то позади предвычисленного положения. Это с очевидностью указывало на гравитационное воздействие другой планеты. Но только в 1840-х двум математикам удалось решить эту задачу и предсказать положение восьмой планеты: англичанину Джону Каучу Адамсу, молодому неопытному магистру, и французу Урбену Леверье, одному из самых знаменитых ученых того времени. Адамс, по-видимому, закончил свои вычисления в 1845 году, но ему не удавалось привлечь к ним внимание профессиональных астрономов, которые могли бы заняться поисками новой планеты. У Леверье таких трудностей не возникло — получив его письмо, Иоганн Галле, директор Берлинской обсерватории, той же ночью, 23 сентября 1846 года, увидел Нептун.



Луны Нептуна

Почти все спутники Нептуна — маленькие, неправильной формы, с вытянутыми эксцентричными орбитами — это захваченные им астероиды. Исключение составляет Тритон, огромная луна диаметром 2707 км, обращающаяся вокруг Нептуна по идеально круговой орбите.

[1]

[1] Протей, самая крупная, диаметром 440 км, из шести малых лун, находящихся внутри и вокруг системы. Близость к Нептуну защищает их от воздействия гравитации Тритона. Пестро-серая поверхность Протея, как оспинами, покрыта следами бесчисленных метеоритных ударов, среди которых — один большой круглый кратер.

[2]

[2] Хотя поперечник Нереиды 340 км , на лучшем из ее снимков, полученных «Вояджером», она еле различима. Дело в том, что ее эллиптическая орбита крайне вытянута: от 817 200 км от поверхности Нептуна в самой близкой точке до 9,5 миллиона км в самой далекой.

Тритон

Тритон (на соседней странице) по размерам почти полноценная планета — его диаметр составляет более половины диаметра Меркурия. На поверхности Тритона причудливо сочетаются различные виды рельефа. Можно было ожидать, что на таком огромном расстоянии от Солнца Тритон должен быть мертвым холодным миром, рельеф которого сформирован в основном метеоритными ударами. Но большая часть поверхности имеет сравнительно свежий вид — кратеры сглажены другими видами геологической активности в относительно недавнем прошлом. Новая поверхность имеет странную пористую структуру, прозванную «дынной коркой».

Самая неожиданная особенность поверхности Тритона — вулканическая активность. «Вояджер-2» зарегистрировал на его диске множество темных прожилок, и, анализируя снимки, полученные под разными углами, астрономы поняли, что эти детали на деле находятся над поверхностью, перемещаясь в невероятно разреженной атмосфере. В некоторых областях, по-видимому, имеются множественные структуры, напоминающие гейзеры, — они выбрасывают вверх фонтаны темного вещества.

Температура поверхности Тритона крайне низка: –235 градусов Цельсия (–391 по Фаренгейту), что всего на 38 градусов Цельсия (60 Фаренгейта) выше абсолютного нуля. До открытия Зены (см. с. 90) Тритон был самым холодным из известных объектов в Солнечной системе. Почти немыслимо, чтобы гейзеры Тритона могли быть струями кипящей воды (как на Земле и спутнике Сатурна Энцеладе); скорее они состоят из жидкого азота. Поверхность планеты покрыта смесью замерзших химических соединений, среди которых азот, метан и окись углерода.

Остается, однако, вопрос — как мог Тритон сохранить достаточно тепла, чтобы его рельеф мог изменяться в относительно недавнее время, и чтобы под корой планеты до сих пор оставались запасы жидкости? Ответ, по всей видимости, связан с его орбитой. Такая разгадка тайны Тритона может к тому же объяснить и отсутствие у Нептуна других крупных спутников.

Необычность орбиты Тритона в том, что, хоть она идеально круговая, спутник обращается по ней в обратном направлении, то есть навстречу вращению самого Нептуна. Большие спутники планет должны конденсироваться из того же вращающегося облака газа и пыли, что и сама их материнская планета, а значит, и вращаться они должны в одном с ней направлении. Ретроградное обращение Тритона указывает на то, что он не образовался вместе с Нептуном, а был им захвачен — так же как были захвачены малые астероиды, которые обращаются вокруг всех планет-гигантов.

Вероятно, Тритон образовался в поясе Койпера — области малых ледяных тел за орбитой Нептуна. Он, а не Плутон мог бы стать для нас первым посланником этого мира. Однако случайная встреча с Нептуном изменила его судьбу. Его массивное тело ворвалось в первоначальную систему спутников Нептуна и расшвыряло все их семейство, вытолкнув его членов либо в межпланетное пространство, либо на вытянутую эллиптическую орбиту (возможно, единственным уцелевшим могла быть Нереида, третья крупная луна Нептуна, у которой как раз такая орбита). Когда Тритон оказался на орбите вокруг Нептуна, колоссальные приливные силы замедлили его вращение и сделали его орбиту идеально круговой. Приливное тепло разогрело недра Тритона, вызвав обширную вулканическую активность, наподобие той, что наблюдается на спутнике Юпитера Ио, — только на Тритоне извергавшееся вещество состояло из грязевых масс камня и льда, а не соединений серы.

Приливные силы действуют на Тритон и сегодня, обрекая его на эффектную гибель. Он постепенно сближается с Нептуном по спирали, и настанет день, когда тяготение гиганта разорвет когда-то захваченную им луну, фрагменты которой размером с материк врежутся в Нептун. В астрономической шкале времени эта катастрофа ожидается в относительно близком будущем — вероятно, в течение следующих 10 миллионов лет.

Наименьшее расстояние от Урана	Наибольшее расстояние от Урана	Диаметр	Масса	Период обращения	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
354,8 тыс. км	354,8 тыс. км	2707 км	0,003 массы Земли	141 час	–235 градусов Цельсия	0,08 g (ускорение свободного падения)

Дальние окраины

За Нептуном лежит огромная область почти совершенно пустого пространства. Здесь солнечный ветер уже выдыхается, но тяготение Солнца по-прежнему царит, удерживая на вытянутых далеких орбитах рои малых ледяных миров.

Плутон и пояс Койпера

Первым из всех внешних миров был открыт Плутон, девятая планета. Это небольшое тело заметил в 1930 году американский астроном Клайд Томбо, занятый поисками новой планеты, влияющей на Уран и Нептун. Однако вскоре оказалось, что Плутон гораздо меньше всех остальных планет Солнечной системы и не способен повлиять на своих гигантских соседей. Некоторое время в иерархии Солнечной системы Плутон стоял особняком, но в 1948 году голландский ученый Джерард Койпер предположил, что он может принадлежать к огромному поясу ледяных тел, окружающему Солнечную систему за Нептуном.

Почти полвека после этого пояс Койпера оставался всего лишь интересной теорией. Сам Томбо много лет искал его и открыл много новых астероидов и комет, но ничего столь же далекого и медленно движущегося среди звезд, как Плутон. Все изменилось с появлением нового поколения мощных и совершенных телескопов. В 1992 году астрономы открыли малую планету 1992 QB1 поперечником всего 320 км, после чего начались безостановочные находки новых далеких астероидов. Среди них оказались сравнимые по размерам с Плутоном и даже превосходящие его, что окончательно лишило его права называться «уникальной девятой планетой»: Варуна, Квавар, Иксион и Зена, «десятая планета». Открытие превосходящей размером Плутон Зены — позже переименованной в Эриду — привело к пересмотру научного определения понятия «планета». В результате бурной дискуссии Плутон лишился этого статуса и вошел в новый класс небесных тел — «карликовые планеты».

Сегодня считается, что пояс Койпера начинается сразу за орбитой Нептуна, на расстоянии примерно 40 а.е. от Солнца, и тянется до 80 а.е. от него. Он образует не уплощенный диск, а кольцо в виде «бублика», в который входят и объекты «рассеянного диска» с сильно наклоненными и вытянутыми орбитами (возможно, выброшенные из пояса при сближениях с Нептуном). Вероятно, ледяные карликовые планеты и образовались там, где мы видим их сейчас, являясь самыми далекими объектами, сформировавшимися из первоначальной солнечной туманности.

За внешней границей пояса Койпера лежит пустота, простирающаяся примерно на половину светового года от Солнца (около 30 000 а.е.), — по крайней мере, такова общепринятая точка зрения. В 2003 году, однако, принятые модели внешней Солнечной системы были опрокинуты открытием Седны, странного объекта вне пояса Койпера, с очень эксцентричной орбитой и необычно красной поверхностью. Возможно, это первый объект, принадлежащий гипотетическому «внутреннему облаку Оорта», хотя, по другой экзотической теории, он может быть и телом, пришедшим из системы другой звезды.

За поясом Койпера проходит и «гелиопауза» — подвижный барьер между областью влияния Солнца и межзвездным пространством. Хотя солнечная гравитация действует на гораздо больших расстояниях, в гелиопаузе солнечный ветер — поток частиц, разлетающихся от Солнца по всей Солнечной системе, — ослабевает настолько, что уже не может противостоять «звездному ветру», направленному извне и создаваемому миллиардами других звезд. Положение гелиопаузы зависит от солнечной активности и меняется в широких пределах.

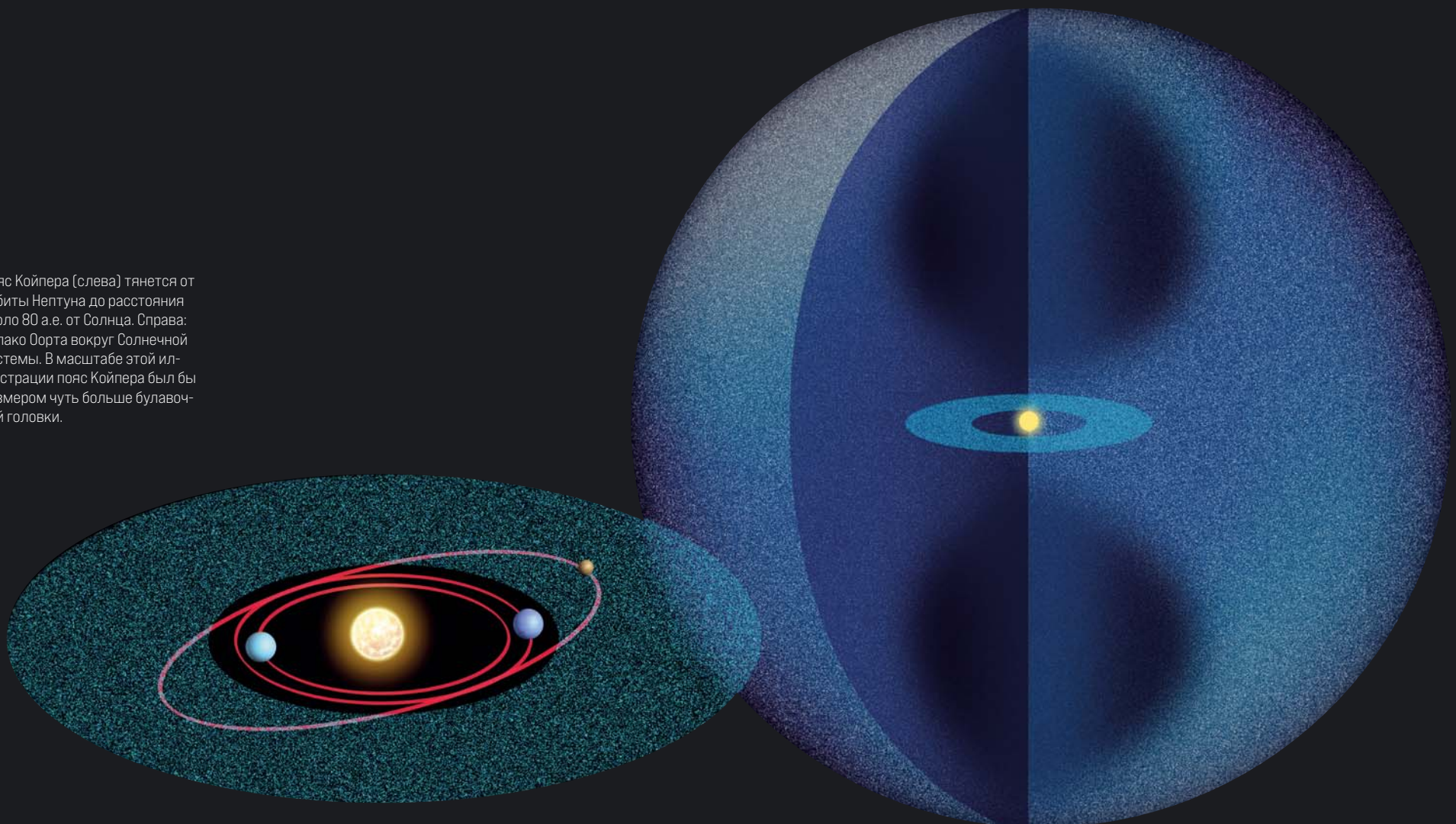
Облако Оорта

Сейчас Седна — самый далекий индивидуальный объект, когда-либо наблюдавшийся в Солнечной системе. Но мы знаем, что множество таких тел еще ждут своего часа. На пределе зоны гравитационного влияния Солнца, начиная с расстояния от него в половину светового года и примерно до полутора световых лет, лежит огромная сферическая область — облако Оорта, гигантское гало малых замерзших тел — кометных ядер.

Косвенных доказательств существования пояса Койпера было неожиданно мало, и все же мы открыли и изучили множество его объектов. С облаком Оорта все наоборот: хотя мы не можем его увидеть (и, возможно, никогда не сможем прямо зарегистрировать), косвенных доказательств его существования гораздо больше. Впервые в 1950 году о нем заговорил голландский астроном Ян Оорт, изучавший орбиты долгопериодических комет. Оорт понял, что у них у всех афелии расположены в этой области пространства при отсутствии какого-либо выделенного направления или наклонения, а это, очевидно, значило, что существует сферическая оболочка или резервуар кометного материала, откуда кометы приходят и куда возвращаются. Считается, что здесь образовались все кометы, но прохождения мимо гигантских планет (особенно Юпитера) привели некоторые из них на короткопериодические орбиты с периодами менее 200 лет и афелиями в области пояса Койпера.

По некоторым оценкам, в облаке Оорта скрывается триллион «спящих» комет, ждущих, пока случайное столкновение или гравитационное воздействие близкой звезды не изменит их орбиты и не направит их в сторону Солнца. Но откуда они взялись? На таком расстоянии от Солнца не нашлось бы материала, достаточного для образования огромного роя ледяных тел. Сейчас считается, что кометы сформировались в той же густонаселенной области пространства, что и планеты-гиганты со своими спутниками. В момент образования гиганты, возможно, находились несколько дальше от Солнца, чем они находятся сейчас, и, взаимодействуя с огромным количеством комет, через рой которых проходили их орбиты, постепенно приближались к Солнцу, одновременно катапультируя кометы на периферию Солнечной системы. К тому же принципу прибегают при гравитационных маневрах («эффект пращи»), чтобы разгонять космические зонды при прохождении между планетами.

Многие из этих ледяных тел оказались навсегда выброшены из Солнечной системы; орбиты многих других были изменены тяготением соседней звезды или остатка протопланетной туманности, еще окружавшего молодое Солнце. Теперь они оказались в постоянном заточении в облаке Оорта. Но время от времени в результате случайных гравитационных возмущений какие-то из них снова по эллиптической орбите возвращаются к месту своего рождения и ненадолго возникают на нашем небе в виде эффектных комет.



Пояс Койпера (слева) тянется от орбиты Нептуна до расстояния около 80 а.е. от Солнца. Справа: облако Оорта вокруг Солнечной системы. В масштабе этой иллюстрации пояс Койпера был бы размером чуть больше булавочной головки.

Планета X

Не прячется ли в пространстве за Нептуном что-нибудь более масштабное? Этот вопрос волновал многие поколения астрономов. Практически нельзя исключить возможности того, что там дожидается своего открытия огромный холодный мир. Первые предсказания существования большой девятой планеты появились сразу после открытия Нептуна в 1846 году — ведь его положение было вычислено по возмущениям, которые он вносил в движение Урана, заставляя своего внутреннего соседа то обгонять свои предсказанные небесные координаты, то отставать от них. Теперь стало казаться, что у Нептуна тоже есть такие возмущения и что все отклонения в движении Урана учет влияния Нептуна все равно не объясняет.

В конце XIX и начале XX века появился целый ряд таких предсказаний (в 1909 году Уильям Пикеринг из Гарвардской обсерватории зашел так далеко, что предположил существование девяти новых планет). Однако самой убедительной и устойчивой из всех оказалась идея «планеты X», выдвинутая Персивалем Ловеллом в 1915 году. Чтобы найти эту планету, Ловелл даже основал обсерваторию во Флагстаффе (штат Аризона), и, хотя он не дожил до начала поисков, именно здесь Клайд Томбо в 1930 году открыл Плутон.

Плутон оказался вблизи предсказанного Ловеллом положения «планеты X», но астрономы были разочарованы — это была карликовая планетка, которая не могла повлиять на движение ее гигантских соседей. Томбо и другие астрономы продолжили поиски «планеты X». С тех пор по мере появления новых данных и расчетов такие поиски время от времени возобновляются. Однако эра космических зондов принесла лучшее понимание поведения Урана и Нептуна; в частности, были пересмотрены оценки их масс. Постепенно стало ясно, что орбиты ледяных гигантов сейчас определены с большой точностью и никакого постороннего воздействия на них не заметно. Не сбылись и надежды на то, что зонды «Вояджер» и «Пионер», сейчас покидающие Солнечную систему, могут вдруг отклониться от курса и тем самым указать на местоположение «планеты X». Сейчас ясно, что, если неизвестная большая планета и существует, она должна либо быть очень далеко, либо двигаться по орбите с большим наклонением по отношению к орбитам других планет. Ни одна из этих возможностей не вяжется с современными моделями образования Солнечной системы. Поэтому приходится с сожалением заключить, что неоткрытых крупных планет больше нет.

Звезда-компаньон?

Стоит упомянуть еще об одном гипотетическом члене Солнечной системы, хоть его существование и маловероятно: оно разрушило бы основы наших представлений о Солнце. Это так называемый массивный спутник Солнца, который во многих экзотических теориях носит имя Немезиды, греческой богини возмездия.

Наше Солнце, во всех отношениях вполне средняя звезда, имеет все же одну особенность: оно одиноко. Большинство звезд входят в двойные системы: одни образуют пару со звездой одинаковой с собой яркости или ярче себя; другие «вальсируют» с плотным погасшим остатком своего некогда массивного компаньона; третьи только выглядят одиночными, потому что присутствие карликового компаньона на расстоянии около светового года на них практически не влияет.

Что, если у Солнца есть звезда-компаньон именно этой последней категории? Слабые красные карликовые звезды и коричневые карлики (промежуточные объекты между планетами-гигантами и самыми малыми звездами) трудно зарегистрировать даже с современными приемниками, а далекая карликовая звезда, совершающая вокруг Солнца оборот за много миллионов лет, не выдаст себя гравитационным воздействием. Существование такой звезды и лежит в основе одной из самых дерзких научных теорий.

С тех пор как в 1979 году по всему миру в слое, соответствующем границе мелового и третичного геологических периодов, был найден редкий элемент иридий, стало общепринятым, что 65 миллионов лет назад произошло столкновение Земли с крупной кометой, которое совпало с исчезновением динозавров и 85% видов наземных существ, а возможно, и было причиной этого исчезновения. История Земли пестрит такими массовыми вымираниями. Поэтому геологи начали выяснять, не могут ли все биологические эволюционные катастрофы быть связаны с такими столкновениями. Было найдено и датировано много кратеров, но действительно ли массовые вымирания вызваны ударными столкновениями, до сих пор неясно. Однако еще больше вопросов вызывают заявления некоторых ученых, что массовые вымирания и появления крупных ударных кратеров происходят через регулярные интервалы примерно в 26 миллионов лет.

Идею о том, что вымирания следуют регулярному циклу, пока мало кто поддерживает. Но если бы она подтвердилась, никаким земным механизмом ее объяснить было бы нельзя. Поэтому ученые обратились к звездам и долгопериодическим звездным орбитам. Если образование крупных ударных кратеров циклично, то объяснение может быть таким: нечто, движущееся по эллиптической орбите, возмущает облако Оорта через регулярные интервалы времени. Никакая планета не может иметь орбиту с периодом обращения в 26 миллионов лет, но слабая карликовая звезда может. Сторонники этой теории назвали «звезду смерти» Немезидой. Если такая звезда существует, даже как слабый коричневый карлик, она находится в пределах досягаемости современных телескопов. Вопрос в том, куда их направить — ведь Немезида может скрываться в любой части неба, а ее движение по орбите будет таким медленным, что по ее гравитационному воздействию найти ее не удастся.

Плутон
134340

Это, несомненно, самый известный из всех объектов пояса Койпера. С момента его открытия в 1930 году до 2006 года Плутон формально считался самостоятельной планетой, но после открытия немного большей по размеру Эриды (справа) был «разжалован» — теперь он классифицируется как карликовая планета пояса Койпера.

Эллиптическая орбита Плутона проходит между 30 и 40 а.е. от Солнца. В течение двух десятилетий из каждого своего орбитального оборота, длящегося 248,6 земного года, Плутон бывает ближе к Солнцу, чем Нептун. Однако столкновение между этими планетами невозможно: орбита Плутона наклонена к общей плоскости Солнечной системы, в которой обращаются Нептун и остальные большие планеты, на 17 градусов.

У гигантского по сравнению с материнской планетой спутника Плутона, Харона, диаметр около 1200 км — больше половины диаметра самого Плутона. Плутон и Харон находятся в состоянии приливного захвата: они постоянно повернуты друг к другу одной стороной. У каждой из четырех малых лун Плутона поперечник не превышает нескольких десятков километров.

В 2015 году космический зонд NASA «Новые горизонты» пролетел через систему Плутона и передал на Землю поразительные снимки неожиданно сложных геологических структур: горных хребтов, замерзших «морей», следов ледяного вулканизма. Астрономы все еще пытаются понять, как этот маленький холодный мир мог иметь такую активную историю. Поверхность Плутона состоит из камня и льдов разного химического состава, в том числе воды, азота и метана. Когда Плутон приближается к Солнцу, льды испаряются и образуют разреженную атмосферу, но большую часть длинного года планеты они покрывают ее поверхность.

Вероятно, у Плутона имеется тонкая ледяная кора, покрывающая состоящую в основном из водяного льда мантию. Видимо, у него есть и большое каменное ядро.

Перигелий	Афелий	Диаметр	Масса
4,1 световых часа	6,8 световых часов	2304 км	0,02 массы Земли

Год длится	Наклон орбиты	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
248,6 часа	17 градусов	–230 градусов Цельсия	0,06 g (ускорение свободного падения)

Эрида
136199

Названная своими первооткрывателями Зеной, Эрида — крупнейший из известных объектов пояса Койпера. Ее открытие заставило астрономов впервые задуматься о формальном определении планеты. В результате Эрида попала в новую категорию «карликовых планет» — независимо обращающихся вокруг Солнца тел с массой, достаточной для приобретения сферической формы, но недостаточной, чтобы своей гравитацией расчистить окрестности от объектов меньшего размера. В память о бурных дебатах по этим вопросам астрономы решили назвать новую планету именем греческой богини раздора.

Эрида всего на 5% больше Плутона, но значительно ярче; ее поверхность имеет самую большую в Солнечной системе отражающую способность после спутника Сатурна Энцелада. Она принадлежит «рассеянному диску» — области, заполненной объектами пояса Койпера с сильно вытянутыми и наклоненными орбитами, выброшенными сюда в результате тесных сближений с Нептуном. В долгом путешествии вокруг Солнца ее сопровождает собственная луна Дисномия, обращающаяся вокруг нее за 15,8 дня.

[слева] Это самое четкое из существующих изображений Эриды. Неудивительно, что после горячих споров об определении планеты, которые вызвало ее открытие, Эрида получила имя греческой богини распрей и раздоров. Изображение вверху страницы — фантазия художника.

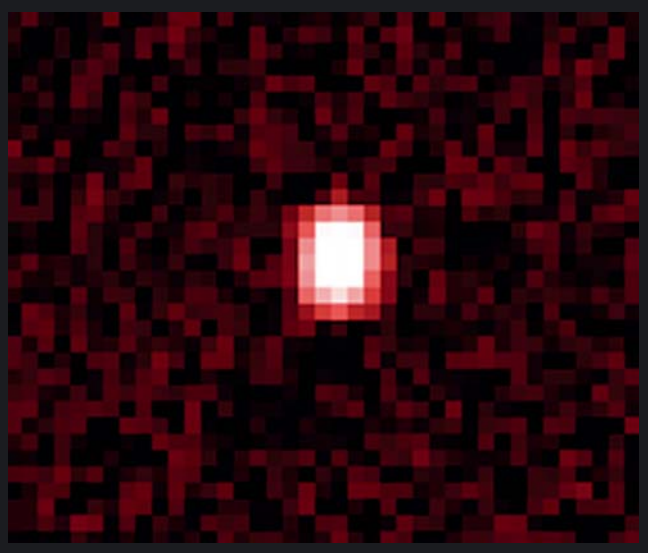
Перигелий	Афелий	Диаметр	Масса
5,3 световых часа	13,6 световых часа	2400 км	? масс Земли

Год длится	Наклон орбиты	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
557 часа	44 градусов	–245 градусов Цельсия	? g (ускорение свободного падения)

Квавар
50000

Квавар вдвое меньше Плутона и Зены по диаметру, и все же его открытие в 2002 году стало вехой в изучении пояса Койпера. Первые объекты пояса, найденные еще в начале 1990-х, были сравнительно невелики — несколько сот километров в поперечнике. Квавар оказался первым крупным телом, обнаруженным в этой области. Его открытие нанесло последний удар представлениям об «уникальности» Плутона и подтолкнуло астрономов к поискам других больших объектов.

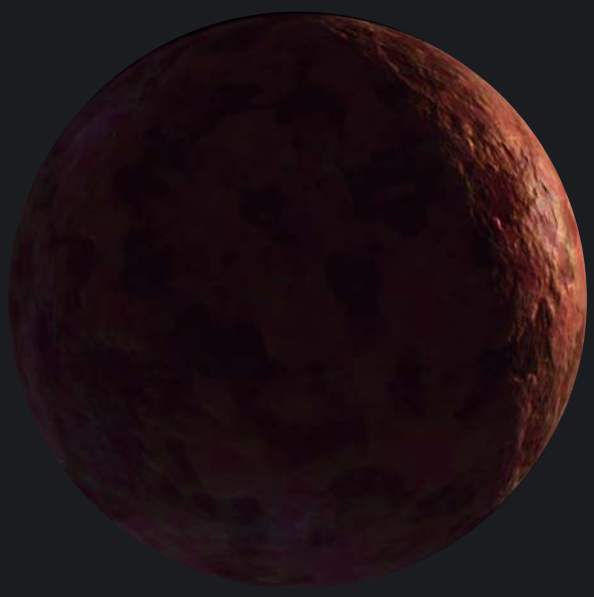
Орбита Квавара гораздо ближе к круговой, чем у Плутона или Эриды. Его среднее расстояние от Солнца — 43 а.е. Хотя он тоже почти наверняка состоит из камня и льда, его поверхность сравнительно темная — видимо, она в меньшей степени, чем у его более крупных собратьев, покрыта льдами.



[Слева] Квавар стал первым объектом пояса Койпера, диаметр которого был измерен непосредственно по угловому диаметру размытого изображения, полученного космическим телескопом «Хаббл». Рисунок вверху — фантазия художника.

Перигелий	Афелий	Диаметр	Масса
5,8 световых часа	6,2 световых часов	1260 км	0,0003 массы Земли

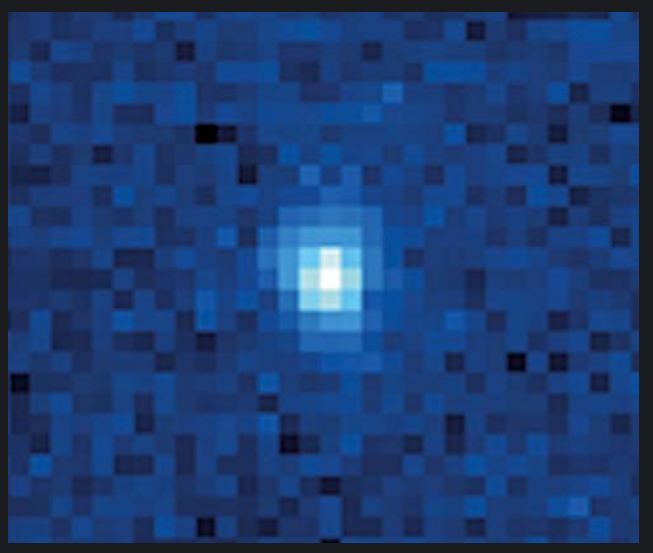
Год длится	Наклон орбиты	Средняя температура оверхности	Среднее тяготение на поверхности
286 земных года	8 градуса	–230 градусов Цельсия	0,033 g (ускорение свободного падения)



Седна
90377

Седна — самый далекий объект, наблюдающийся в Солнечной системе. Орбита этого маргинального небесного тела лежит в огромной пустой области между поясом Койпера и облаком Оорта. В точке наибольшего сближения с Солнцем Седна оказывается на внешнем краю пояса Койпера, но в афелии ее вытянутая орбита уносит ее почти в 13 раз дальше. Некоторые астрономы считают, что Седна принадлежит гипотетическому «внутреннему облаку Оорта», но других тел с такой странной орбитой пока не найдено.

У Седны есть и другие странности. Это один из самых красных объектов в Солнечной системе, то есть она имеет необычную поверхность, отличную от ледяных тел пояса Койпера. По-видимому, у нее очень медленное вращение — с периодом около 20 дней, и пока нет никаких признаков наличия спутника, приливное взаимодействие с которым могло бы это объяснить.



[Слева] Космическому телескопу «Хаббл» пришлось напрячь свое электронное зрение, чтобы получить этот снимок Седны в поисках у нее спутника. Иллюстрация вверху — рисунок художника, передающий истинный красный оттенок поверхности планеты.

Перигелий	Афелий	Диаметр	Масса
10,6 световых часа	5,6 световых дней	1800 км	0,0005 массы Земли

Год длится	Наклон орбиты	Средняя температура поверхности	Среднее тяготение на поверхности
10 500 земных лет	12 градусов	–261 градусов Цельсия	0,043 g (ускорение свободного падения)

Кометы

Ненадолго забредающие
во внутреннюю Солнечную
систему кометы иногда дают
нам шанс вблизи исследовать
объекты, населяющие ее
далекие окраины.

Не все ледяные миры Солнечной системы вечно обитают в холодных пространствах за Нептуном. Иногда случайное столкновение двух ледяных тел или даже гравитация проходящей мимо звезды может швырнуть глыбу льда поперечником в несколько километров внутрь Солнечной системы. Здесь эта глыба проведет несколько недель или месяцев в виде одного из самых удивительных явлений природы — кометы.

Твердая часть кометы называется ее ядром, и обычно это просто замерзшая глыба грязного льда, поверхность которой покрыта темным, похожим на сажу веществом. Но когда ядро попадает во внутреннюю часть Солнечной системы, оно, возможно, впервые за всю свою историю начинает чувствовать солнечное тепло. Темная корка ядра хорошо поглощает его, и вскоре лед под ней тоже начинает разогреваться. Водяной лед и льды другого состава превращаются в пар и другие газы, которые вырываются наружу, разрушая корку, проделывая в ней трещины и дырки.

Вырвавшиеся на свободу газы образуют вокруг ядра слабую атмосферу, называемую комой, — облако, многократно превосходящее размеры самого ядра. Нередко размер комы может достигать сотен, тысяч, а то и миллионов километров. Это слабое газовое гало сопровождает ядро в его путешествии вокруг Солнца.

Межпланетное пространство вовсе не вакуум. Комета летит сквозь постоянный поток частиц, несущихся от Солнца со средней скоростью в 1,6 миллиона км/ч (1 миллион миль в час), — солнечный ветер. Когда комета приближается к Солнцу и активность ее поверхности возрастает, под воздействием солнечного ветра газовые струи, выбрасываемые ею, превращаются в направленный от Солнца газовый шлейф — зарождающийся кометный хвост.

У некоторых комет хвосты почти не развиваются, у других они могут растягиваться на много миллионов километров. В этом случае хвост часто расщепляется на две составляющие. Бело-голубой газовый хвост, ионизованный, то есть приобретающий электрический заряд под воздействием солнечного ветра, вытягивается вдоль прямой, всегда направленной прямо от Солнца. Желтоватый хвост пыли с поверхности кометы и из ее недр не так легко поддается давлению солнечного ветра и часто искривляется в направлении орбитального движения кометы, отклоняясь от газового хвоста. Бывает, что у комет появляется короткий хвост в форме шипа, направленный к Солнцу, — результат отражения света от газа в коме.

Пока комета огибает Солнце, ее непрочная внутренняя структура испытывает сильные напряжения, вызванные как гравитацией, так и тепловым воздействием. Часто случается, что кометам не удается пережить это испытание — одни, подойдя слишком близко к Солнцу, полностью испаряются, другие падают на Солнце, а третьи распадаются на цепочку «мини-комет», продолжающих двигаться по той же орбите.

Если же комета благополучно огибает Солнце, она возвращается во внешнюю Солнечную систему, чтобы снова вернуться через несколько десятилетий (короткопериодические кометы с афелием в поясе Койпера) или через много тысяч лет (долгопериодические кометы, которые возвращаются в облако Оорта). Теперь хвост как бы указывает комете путь из Солнечной системы, сходя на нет, когда она снова впадает в долгий холодный сон.

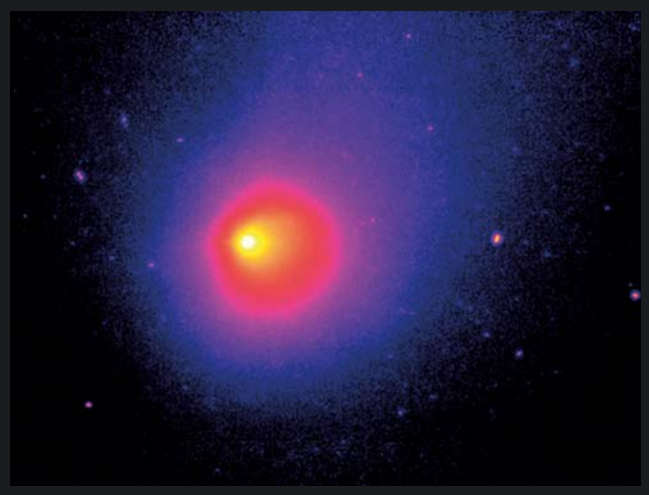
[1] **29P**
Кентавр
Орбита этой кометы проходит сразу за Юпитером. Она принадлежит внешнему поясу «кентавров» — тел, мигрировавших к Солнцу из пояса Койпера.
Перигелий: 46 световых минут.
Диаметр: 30 км (18 миль).
Период обращения: 14 лет.

[2] **Комета Галлея**
Короткопериодическая комета
Самая знаменитая комета. Прослеживается по историческим хроникам до 240 года до н. э.
Перигелий: 4,9 световой минуты.
Длина: 15,3 км (9,5 мили).
Период обращения: 76 лет.

[3] **Комета Темпеля**
Короткопериодическая комета
Комета Темпеля — цель космического зонда в фантастическом фильме «Столкновение с бездной». Это слабая короткопериодическая комета, орбита которой изменилась после ее сближения с Юпитером в 1881 году.
Перигелий: 12,5 световой минуты.
Диаметр: 6 км (3,7 мили).
Период обращения: 5,5 года.

[4] **Комета Боррелли**
Короткопериодическая комета
Орбита этой короткопериодической кометы не заходит дальше Юпитера. После многих оборотов вокруг Солнца ее поверхностные льды почти полностью испарились, и теперь это самый темный объект во внутренней Солнечной системе.
Перигелий: 11,3 световой минуты.
Длина: 8 км (5 миль).
Период обращения: 6,86 года.

[5] **Комета Вильда 2**
Короткопериодическая комета
Большинство комет с очень короткими периодами быстро истощает свои запасы льда из-за постоянного воздействия солнечного света. У кометы Вильда 2, однако, свежая ледяная поверхность. Это значит, что она только недавно, несколько десятилетий обращается по своей нынешней орбите внутри орбиты Юпитера.
Перигелий: 13,1 световой минуты.
Диаметр: 5,5 км (3,4 мили).
Период обращения: 6,39 года.



[1]

[2]

[3] [4] [5]

NEAT
Долгопериодическая комета
Открыта в рамках проекта НАСА по отслеживанию околоземных астероидов NEAT (Near-Earth Asteroid Tracking); прошла через внутреннюю Солнечную систему в 2002 году.
Перигелий: 50 световых секунд.
Диаметр: неизвестен.
Период обращения: 37 000 лет.

МЕЖЗВЕЗДНЫЙ МИР

Среди звезд

Пустота между звездами наполнена смесью молекул газа и пылевых частиц. Они составляют каркас нашей Галактики и дают жизнь новым поколениям звезд.

В типичной галактике, такой как наш Млечный Путь, очень мало по-настоящему пустого пространства. То, что кажется межзвездной пустотой, наполнено газом и пылью, хотя они очень разрежены и, как правило, невидимы. Многие газопылевые облака можно зарегистрировать, только заметив, что они загораживают свет от более далеких объектов. Они становятся видимыми, лишь когда их освещают близлежащие звезды; тогда их называют «туманностями».

Туманностью можно считать почти любой расплывчатый незвездный объект в Галактике. Они бывают четырех типов. Самые маленькие — относительно компактные планетарные туманности, остатки умирающих звезд; о них мы подробно расскажем позже (с. 124–137). Остальные три типа: темные, отражательные и эмиссионные туманности — облака гораздо больших размеров и гораздо более бесформенные.

Темная туманность, как видно из самого ее названия, — облако газа и пыли, которое становится заметным, только когда экранирует свет других туманностей или далеких звезд. Самый известный пример — туманность Конская Голова в Орионе (с. 100), великолепный силуэт шахматного коня, как будто нарочно поставленный на фоне светящегося газа. Однако Конская Голова — совсем не самая большая и значительная темная туманность. Большой Провал в созвездии Лебедя на северном небе и Угольный Мешок в Южном Кресте четко выделяются на фоне звездных облаков Млечного Пути и заметны гораздо лучше.

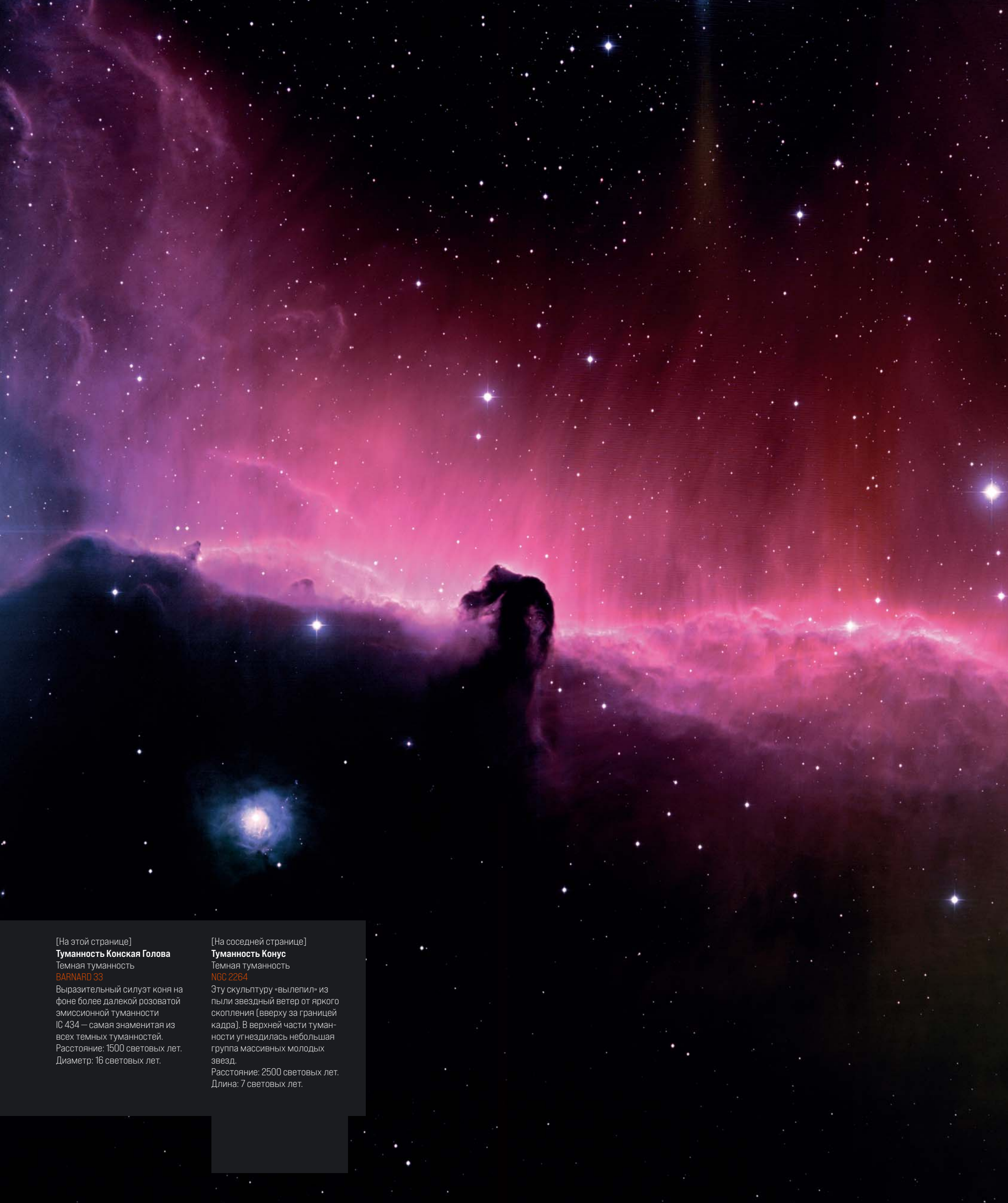
Отражательные и эмиссионные туманности светятся, хотя и по разным причинам. Первые появляются, если тесно расположенные пылевые частицы в облаке газа отражают и рассеивают звездный свет. Это очень похоже на рассеяние солнечного света в атмосфере Земли. Так как коротковолновые голубые лучи рассеиваются легче, чем длинноволновые красные, отражательные туманности обычно имеют голубоватый оттенок, а свет звезд, находящихся внутри них, слегка окрашен желтым.

Эмиссионные туманности, напротив, излучают собственный свет, хотя и он в конечном счете является переработанным звездным излучением. Горячие молодые звезды часто испускают интенсивное излучение настолько высоких энергий, что оно в основном лежит за пределами видимой области, в ультрафиолетовой части спектра. Когда такая звезда окружена облаком газа, его атомы или молекулы поглощают ультрафиолетовые лучи и переходят в возбужденное состояние. Это, однако, длится недолго. Частицы газа теряют энергию, излучая каскад световых волн, энергия и цвет которых определяются внутренней структурой этих частиц. Те же принципы определяют и цвет излучения неоновой лампочки. Анализируя различные энергии излучения, испускаемого эмиссионной туманностью, астрономы могут определить, из атомов и молекул какого газа она состоит.

Большинство обширных и эффектных туманностей, видимых на небе, эмиссионные. При помощи чувствительных приемников и длинных экспозиций в их излучении можно выявить множество деталей. Однако большие туманности обычно включают в себя и темные, и отражающие, и эмиссионные облака. Эти облака — «строительный материал» нашей Галактики и всей Вселенной в целом, вещество, из которого образуются звезды.

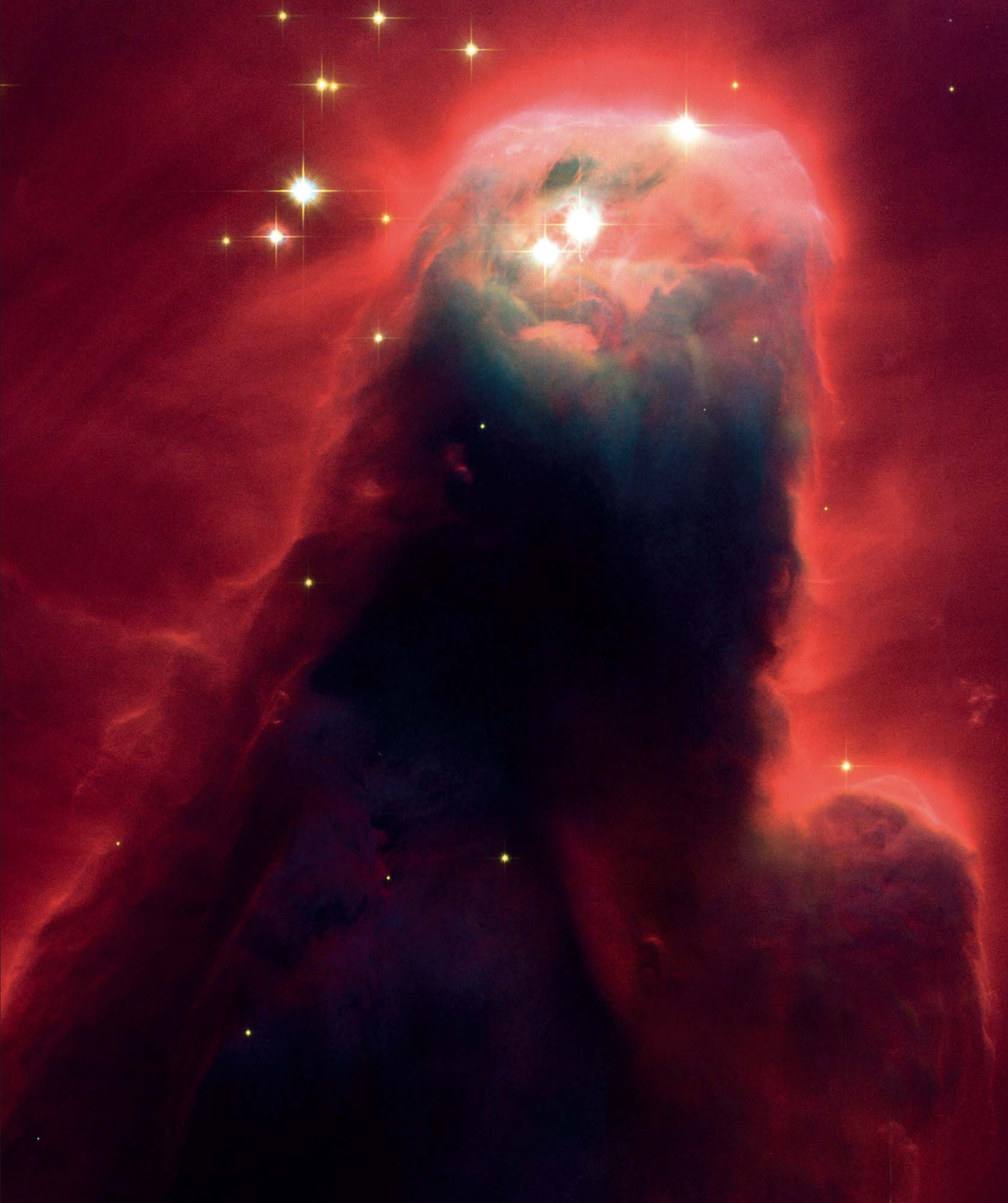
[На соседней странице]
Туманность Орел
Темная/эмиссионная туманность
M16
Пыль заполняет гигантскую область звездообразования, обрамляя небесно-голубую эмиссионную туманность. В ее центре темные пылевые столбы — «инкубатор» звезд.
Расстояние: 6500 световых лет.
Диаметр: 20 световых лет.

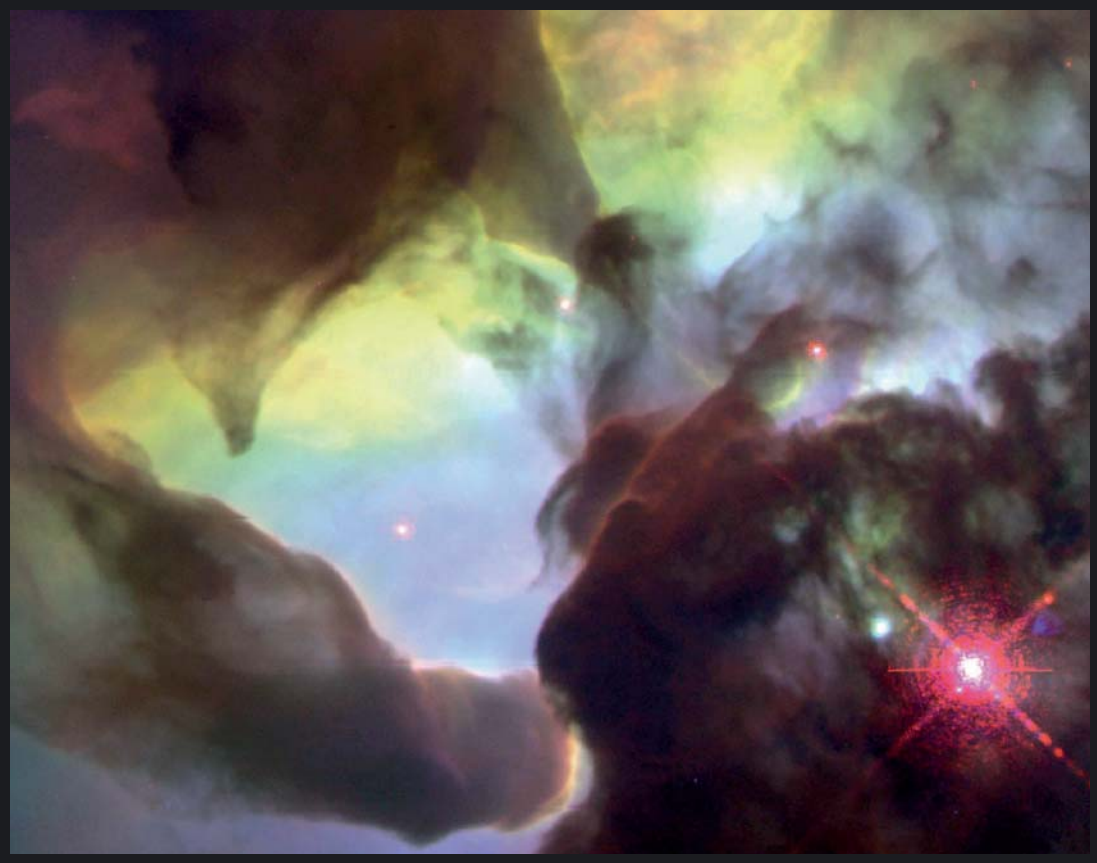
[На этой странице]
Туманность Розетка
Темная/эмиссионная туманность
NGC 2237
Звездный ветер от недавно сформировавшегося яркого звездного скопления в центре туманности выталкивает газ и пыль во внешнее пространство. Так заканчивают свое существование многие туманности — жертвы звезд, которые в них же и образовались.
Расстояние: 5000 световых лет.
Диаметр: 100 световых лет.



[На этой странице]
Туманность Конская Голова
Темная туманность
BARNARD 33
Выразительный силуэт коня на фоне более далекой розоватой эмиссионной туманности IC 434 — самая знаменитая из всех темных туманностей.
Расстояние: 1500 световых лет.
Диаметр: 16 световых лет.

[На соседней странице]
Туманность Конус
Темная туманность
NGC 2264
Эту скульптуру «вылепил» из пыли звездный ветер от яркого скопления (вверху за границей кадра). В верхней части туманности угнездилась небольшая группа массивных молодых звезд.
Расстояние: 2500 световых лет.
Длина: 7 световых лет.





[1] **Туманность Киля**
Эмиссионная туманность
NGC 3372
Запутанная смесь звезд, газа и межзвездной пыли, одна из крупнейших областей звездообразования в Млечном Пути. На снимке, полученном инфракрасной камерой HAWK-I в Европейской Южной обсерватории, можно заметить несколько ярких скоплений новорожденных звезд, в том числе скопление Trumpler 14 (в центре справа).
Расстояние: 8000 световых лет.
Диаметр: 200 световых лет.

[2] **Туманность Лагуна**
Эмиссионная туманность
M8, NGC 6523
Внутри этой густонаселенной звездообразующей туманности сформировались два гигантских межзвездных торнадо. По-видимому, эти газовые массы переплелись, когда их внешние слои разогрело излучение яркой звезды Гершель 36 (внизу справа).
Расстояние: 5000 световых лет.
Диаметр: 70 световых лет.

[1] [2]
[3] [4] [5]

[4] Тройная (Трехраздельная)
Туманность
M20, NGC 6514
Темная/эмиссионная туманность
Яростное излучение скопления гигантских звезд спектрального класса O в центре Тройной Туманности сносит все на своем пути, выметая газ из туманности и замедляя рост других звезд.
Расстояние: 7600 световых лет.
Диаметр: 40 световых лет.

[3] [5] **Туманность Лебедь**
M17
Темная/эмиссионная туманность
Туманность Лебедь (или Омега) богата не только водородом и гелием, но и более тяжелыми элементами: углеродом, азотом и кислородом, выброшенными в предсмертных конвульсиях звездами предыдущих поколений. Серные облака, «выделенные» излучением горячих молодых звезд, особенно ясно видны на фото [5].
Расстояние: 5500 световых лет.
Диаметр: 15 световых лет.

Жизнь звезд

Столетиями люди пытались понять, почему светят звезды. Теперь мы знаем, что их ядерные печи — алхимические лаборатории Вселенной. Это в них образуются все тяжелые элементы. Из звездного вещества состоим в конечном счете и мы сами.

Звезды бывают разных размеров — от гигантов, в которые поместится большая часть Солнечной системы, до карликов едва ли больше нашей планеты. Бывают и еще меньшие, еще более странные объекты. Цвет излучения звезд может быть красным или коричневым, а может — сине-фиолетовым. А некоторые звезды раздвигают и эти границы, излучая большую часть энергии в невидимых ультрафиолетовых или инфракрасных лучах. Он могут быть и в миллионы раз слабее Солнца, и в миллионы раз ярче. И массы их тоже разные — от одной двенадцатой до многих десятков солнечных масс.

Все эти вариации связаны друг с другом. Иногда эти связи легко проследить, иногда трудно. Однако главное, что объединяет все звезды, — великая цепь звездной эволюции, цикл изменений, через который проходят в течение своей жизни все звезды. Современная теория звездной эволюции — выдающееся достижение астрономии. Ведь ее выводы сделаны на основании «моментального снимка» космоса, каким мы видим его сегодня, — мы не можем наблюдать, как звезды переходят из одной стадии своей эволюции в другую.

Характеристики звезд

Звезды находятся на непредставимо огромных расстояниях от Земли — даже до ближайших из них несколько световых лет, а один световой год равен 9,5 триллиона км. Это значит, что даже в самые мощные телескопы звезды видны лишь как световые точки. Но из этих маленьких светящихся точек можно извлечь очень много информации. Надо лишь знать, как на них смотреть.

Звезды на ночном небе очень разные по яркости и цвету. Цвет любого излучающего объекта зависит от его температуры, а значит, уже это простое свойство звезды позволяет нам оценить, насколько она горяча. Мы знаем, что при нагревании в плавильной печи металл сначала становится красным, потом желтым, потом белым и, наконец, голубым. Значит, голубые звезды горячее, чем красные.

Яркость — более сложная характеристика, на нее влияет не только внутренняя энергия звезды (часто называемая ее светимостью), но и расстояние между звездой и Землей (звезда излучает ограниченное количество энергии, которое на большом расстоянии рассеивается в большем объеме пространства). Звезды так далеки, что никакие обычные методы измерения расстояний для них неприменимы и астрономам приходится изобретать различные ухищрения. Для окрестных звезд удобнее всего начинать с измерения звездного параллакса — это кажущееся смещение объекта на фоне более далекого фона, когда мы смотрим на этот объект с двух разных точек. Чем больше будет расстояние между этими точками, тем больше будет и это смещение и тем легче определить до него расстояние. К счастью, нам не надо заботиться о выборе двух далеко отстоящих друг от друга точек наблюдения, так как, летя по своей околосолнечной орбите, Земля каждые полгода переносит нас в противоположную точку окружности диаметром в 300 миллионов км.

Зная параллакс звезды, относительно просто по ее видимой звездной величине на земном небе вычислить ее светимость. Тут уже используются методы, которые сегодня позволяют астрономам оценивать яркость звезды только по характеристикам ее света (см. раздел «Спектроскопия» справа).

Массу звезды труднее определить непосредственно, но измерения орбит двойных и кратных звезд (см. с. 114) позволяют вычислять их относительные массы. Зная их, можно проследить, как масса влияет на эволюцию звезд, сформировавшихся из одного вещества в одно и то же время. Масса оказывается ключевым фактором жизни и смерти звезд.

Диаграмма Герцшпрунга — Расселла

Решающим шагом к пониманию звездной эволюции стала диаграмма Герцшпрунга — Рассела (H-R), независимо друг от друга построенная американцем Генри Норрисом Расселом и датчанином Эйнаром Герцшпрунгом около 1910 года. Этот график, который и сегодня остается прекрасной иллюстрацией сути звездной эволюции, просто сопоставляет цвет звезд с их светимостью, но в этом таится бездна информации. Оказывается, огромное большинство звезд следуют простой зависимости между цветом и светимостью: чем ярче звезда, тем горячее ее поверхность. Эта часть диаграммы называется главной последовательностью, и то, что на ней так много звезд, означает, что большинство звезд следуют этому правилу на протяжении большей части своей жизни. Над этой диагональной полосой лежат очень яркие звезды с холодной поверхностью: это значит, что они гораздо больше горячих звезд эквивалентной яркости, ведь поверхностная температура звезды зависит от количества энергии, выходящего с каждого квадратного метра ее фотосферы. Такие яркие большие звезды, естественно, называются гигантами, а в крайних случаях — сверхгигантами или даже гипергигантами. Ниже главной последовательности лежат звезды, более слабые, чем они должны быть при таком цвете, — белые звезды, очень слабые, но горячие. Единственным объяснением этому может быть исключительно малая площадь их поверхности, поэтому они зовутся белыми карликами. Сравнение свойств звезд с известными массами вскоре показало, что самыми тяжелыми являются яркие голубые звезды, а самыми маленькими и легкими — слабые красные.

Пазл складывается

Диаграмма H-R может многое рассказать нам о статистике по различным типам звезд, однако, как мы уже говорили, у нас перед глазами, по сути, лишь «мгновенный снимок» звездного мира. Но когда достижения ядерной физики принесли понимание того, что источником энергии звезд является идущий в недрах каждой из них термоядерный синтез, эта застывшая картина ожила. Стало ясно, что звезды распределены по диаграмме в соответствии не только с их текущими параметрами, но и с их возрастом.

Судьба каждой звезды определяется в самом начале ее пути. Именно масса звезды, параметр, закладываемый при ее формировании, предопределяет весь этот путь до самого конца. Как только в ядре звезды начинается ядерное горение и ее размеры и яркость постепенно стабилизируются, звезда занимает свое место на главной последовательности. Массивные звезды яркие и голубые, маломассивные — тусклые и красные. Большинство звезд занимают на диаграмме одно и то же место на протяжении почти всей жизни. Однако, когда запасы «горючего» в ядре звезды в конце концов истощаются и термоядерные реакции переходят в ее внешние слои, звезда быстро увеличивает яркость и давление излучения раздувает ее оболочку, как воздушный шар. Блеск звезды растет, но ее поверхность, наоборот, быстро остывает — звезда становится красным гигантом. Похожие процессы идут и в самых массивных звездах, но те могут разгораться настолько сильно, что их раздувшиеся поверхности остаются горячими. Такие сверхгиганты могут быть оранжевыми, желтыми и даже бело-голубыми.

Когда ядерное горение распространяется по всему объему красного гиганта с массой примерно как у Солнца, его внешние слои становятся неустойчивыми и сбрасываются в пространство, образуя планетарную туманность. От звезды остается только ее ядро, которое под действием собственной тяжести коллапсирует — сжимается примерно до размера Земли. Хотя этот объект горячий и белый, из-за своих размеров он дает мало света. Это белый карлик.

У звезд с массой больше восьми масс Солнца судьба иная. Они сжигают все больше и больше вещества своих недр, становясь при этом все ярче, но и все более неустойчивыми. Наконец «горючее» заканчивается, и звезда внезапно обрушивается внутрь себя. Это приводит к колоссальному взрыву — вспышке сверхновой.

Конечно, истинная история звезды гораздо сложнее этой схемы. Для полного понимания звездной эволюции мы должны подробно изучить все стадии жизни звезд.

• Спектроскопия

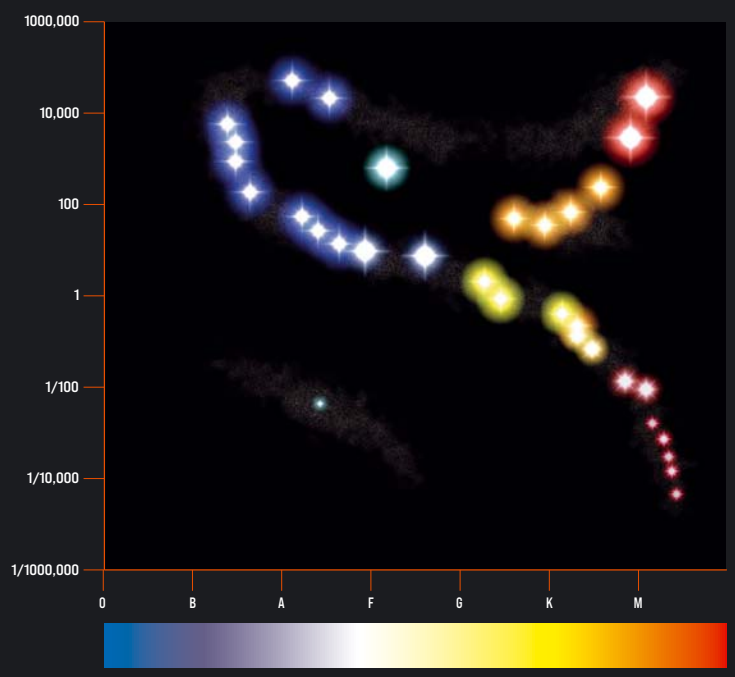
Спектроскопия, наверное, самый важный инструмент астронома. Она позволяет определить химический состав далеких звезд и даже может рассказать об их движениях. Это важнейшие сведения: ведь звезды слишком далеко, чтобы измерять их характеристики непосредственно.

Принцип спектроскопии прост — свет звезды раскладывается в спектр по цветам, а в спектре отыскиваются темные линии. Звездный свет представляет собой смесь всех цветов, и каждый цвет соответствует определенной длине волны и энергии. Если какая-то длина волны в спектре отсутствует, должно быть что-то, что ее поглощает, а это, скорее всего, атомы внешней атмосферы звезды. Так как каждый атом или молекула поглощают уникальный набор значений энергии, определяемый структурой этого атома, мы можем отождествить каждую серию линий в спектре с каким-либо веществом в атмосфере звезды.

Положение каждой линии поглощения в спектре фиксировано, но движение звезды или другого объекта по лучу зрения вызывает смещение линий по длине волны в ту или другую сторону. Это проявление эффекта Допплера — сжатия или растяжения длины световых волн при движении объекта от наблюдателя или к нему. Свет от удаляющегося объекта будет казаться краснее обычного, от приближающегося — голубее. В ежедневной жизни это незаметно, но точное определение длин волн спектральных линий позволяет этот эффект измерить. Так мы узнаем, как по отношению к нам движутся звезды и галактики.

Эмиссионная туманность
В этой гигантской области звездообразования можно найти звезды на всех стадиях их жизни. Светящиеся облака водорода отмечают места рождения новых светил; вверху в центре — скопление молодых звезд; вверху слева сбрасывает кольцеобразные оболочки старый голубой сверхгигант. Он превратится в сверхновую, взрыв которой обогатит пространство тяжелыми элементами и запустит новую волну создания миров.
Расстояние: 20 000 световых лет.
Диаметр: 175 световых лет.

[Внизу] Если нанести на диаграмму Герцшпрунга — Рассела 20 самых ярких и 20 самых близких звезд нашего неба, почти все они разместятся на главной последовательности, за исключением нескольких красных гигантов, сверхгигантов и белого карлика.



Самые яркие звезды

Название	Светимость (в единицах Солнца)	Спектральный класс
	1	G2
	23	A1
	832	A9
	1.5	G2
	69	K1.5
	48	A0
	58	G6
	14,4628	B8
	8	F5
	275	B3
	63,130	M2
	4,788	B1V
	5757	B0.5
	10	A7
	110	K5
	10,005	M1.5
	1,585	B1V
	44	K0
	13	A3
	6,312	B0.5
	63,130	A2

Ближайшие звезды

Название	Светимость (в единицах Солнца)	Спектральный класс
Солнце	1	G2
Проксима Центавра	0.000052	M5.5
Альфа Центавра A	1.5	G2
Звезда Барнарда	0.00043	M3.8
Вольф 359	0.000017	M5.8
BD +36 2147	0.0052	M2.1
UV Кита A	0.000052	M5.6
UV Кита B	0.000033	M5.6
Сириус A	23	A1
Сириус B	0.0027	DA
Росс 154	0.00048	M3.6
Росс 248	0.0001	M4.9
Эпсилон Эридана	0.3	K2
Росс 128	0.0003	M4.1
61 Лебедя A	0.076	K3.5
61 Лебедя B	0.036	K4.7
Эпсилон Индейца	0.13	K3.5
BD +43 44 A	0.0057	M1.3
BD +43 44 B	0.00036	M3.8
Лейтен 789-6	0.00013	M5
Процион A	8	F5

[1]

[2]

Рождение звезд

Звезды рождаются в темных заводях галактик. Их рождение скрыто от глаз — оно идет в густых пылевых коконах.

Процесс рождения звезды невероятно долог, с точки зрения человека, но протекает удивительно быстро в астрономических масштабах. Всего за несколько миллионов лет, если все идет нормально, звездные зародыши, скрытые в межзвездной среде, сжимаются в полноценные звезды, достаточно горячие и плотные, чтобы в них начались ядерные реакции, которые будут снабжать их энергией на всем протяжении их жизни.

Зародыши звезд — это небольшие уплотнения в гигантских газо-пылевых облаках, заполняющих плоский диск нашей Галактики. Такие облака могут миллионы лет оставаться непотревоженными, пока случайное событие — взрыв близкой сверхновой или столкновение с пролетающей мимо звездой — не приводит их в движение и не запускает процесс звездообразования. (Этот процесс, впрочем, может инициироваться и другими, более предсказуемыми силами — см. с. 168.)

Там, где появляется уплотнение в облаке газа или слипание пылевых зерен, начинает действовать гравитация. Постепенно она преодолевает случайные движения частиц газа и пыли, стягивая их в протозвездные ядра. Чем больше становится протозвезда, тем сильнее ее тяготение и больше область действия ее гравитационных сил. Наконец, громадное облако межзвездного вещества распадается на несколько сжимающихся газопылевых коконов, в центре каждого из которых скрывается зреющая протозвезда.

Сжатию неизбежно сопутствует выделение тепла. Молекулы газа и пылевые зерна сталкиваются друг с другом, и протозвездные ядра начинают разогреваться. Это свечение вначале слишком слабое, чтобы его можно было заметить, но в инфракрасных лучах его можно зарегистрировать специальными телескопами. Тепло, выделяющееся в ядре, — это просто кинетическая энергия движения частиц. Их стремление разлететься в разные стороны сдерживается растущим притяжением протозвезды, так что ее ядро продолжает уплотняться и разогреваться.

В то же время сжимающаяся звезда все быстрее вращается. Закон сохранения углового момента, непреодолимый закон, который заставляет вертящегося фигуриста ускорять вращение, когда он прижимает к себе локти, действует и в космическом масштабе. В сочетании с торможением, вызванным столкновениями частиц, и с универсальными законами статистики мелкие случайные движения в начальном протозвездном облаке быстро упорядочиваются и принимают определенное направление. Вокруг звезды образуется уплощенный вращающийся диск (тот же механизм был описан в разделе, посвященном кольцам Сатурна, на с. 68).

На стадии раннего гравитационного сжатия звезды уже излучают, хотя только невидимые и низкоэнергетические инфракрасные волны. Вскоре, однако, температура в ядре становится достаточной для начала термоядерного синтеза.

Правда, это не те реакции синтеза, что идут в недрах звезд типа Солнца. В протозвездах происходит слияние ядер дейтерия — тяжелого изотопа водорода. Оно может происходить при гораздо более низких температурах, чем слияние ядер обычного водорода. Но, так как дейтерия в ядрах протозвезд сравнительно мало, он дает гораздо меньше энергии, чем стандартная термоядерная реакция. Обычно эта стадия — лишь краткий эпизод на пути к состоянию полноценной звезды, но для имеющих очень малую массу «недоразвитых» звезд, называемых коричневыми карликами, это единственный источник энергии на всю их жизнь.

На стадии горения дейтерия излучение звезд из инфракрасного становится красным — тусклым, но уже видимым. Последний шаг по пути к тому, чтобы стать настоящей звездой, делается, когда температура в ядре поднимается достаточно высоко для начала водородного синтеза. Этот процесс генерирует столько энергии, что температура ядра продолжает стремительно расти и водородное горение быстро охватывает все ядро. Протозвезда становится звездой.

[3]

[4]

[5]

[1] **Барнард 68**
Молекулярное облако
Это небольшое облако холодного темного газа и пыли только в начале своего пути к тому, чтобы стать областью звездообразования. Оно расположено на фоне густо усыпанных звездами областей Млечного Пути настолько близко к Земле, что перед ним нет никаких звезд.
Расстояние: 500 световых лет.
Диаметр: 0,6 светового года.

[2] **NGC 1999**
Отражательная туманность
Туманность с размытыми очертаниями отражает свет звезды, расположенной вблизи ее центра. На ее фоне силуэт Т-образной «глобулы Бока», где тоже рождаются звезды.
Расстояние: 1500 световых лет.
Диаметр: 0,9 светового года.

[3] **Переменная туманность Хаббла**
Отражательная туманность
Блеск и видимая форма этой небольшой отражательной туманности варьируют синхронно с изменениями блеска массивной молодой звезды в ее центре.
Расстояние: 2500 световых лет.
Диаметр: 10 световых лет.

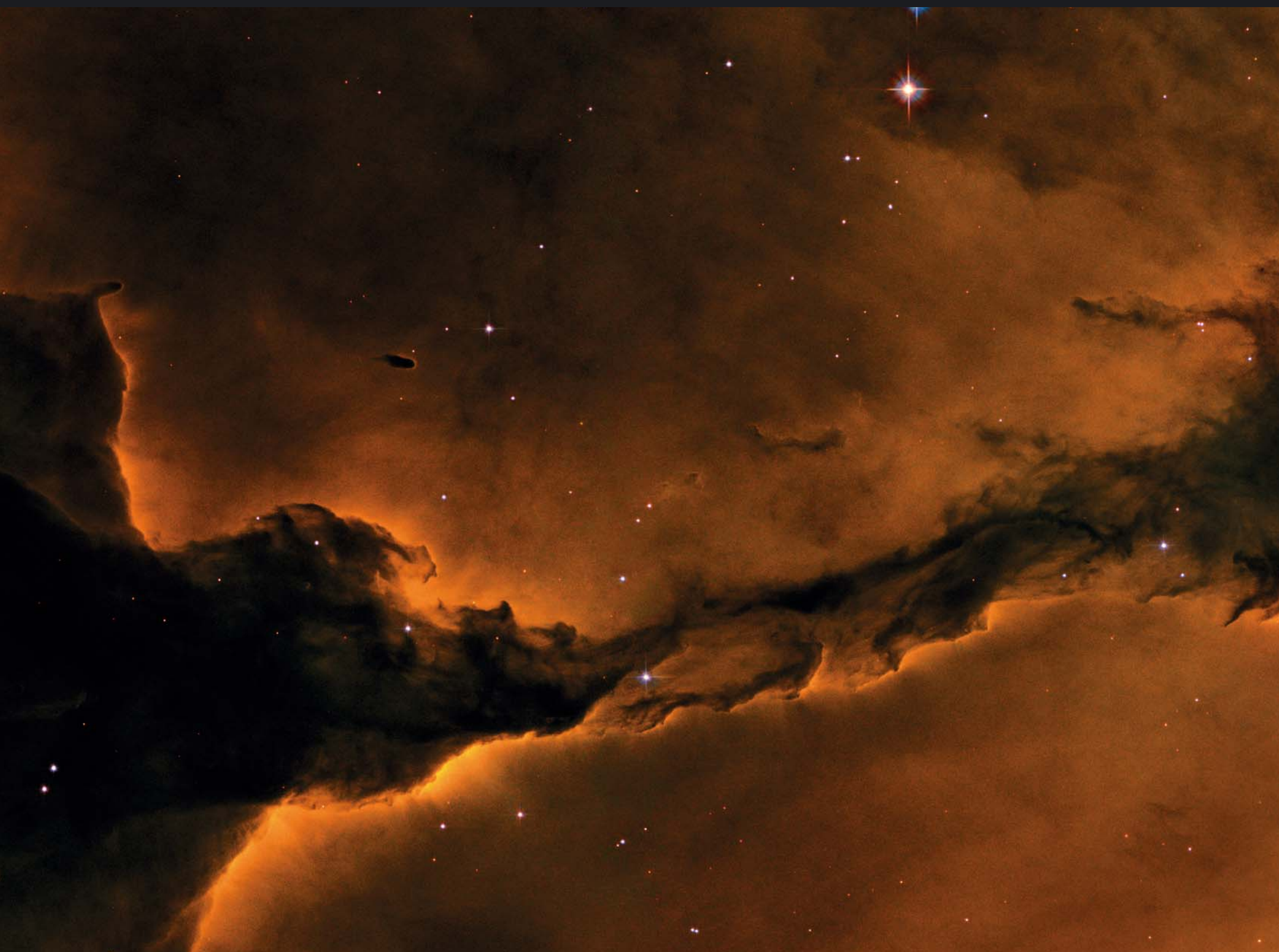
[4] **Глобулы Бока вблизи NGC 281**
Глобулы Бока
Цепочка коллапсирующих глобул Бока, еще удерживаемых вместе клочьями когда-то плотного темного облака, на фоне эмиссионной туманности NGC 281.
Расстояние: 9500 световых лет.
Длина: 3 световых года.

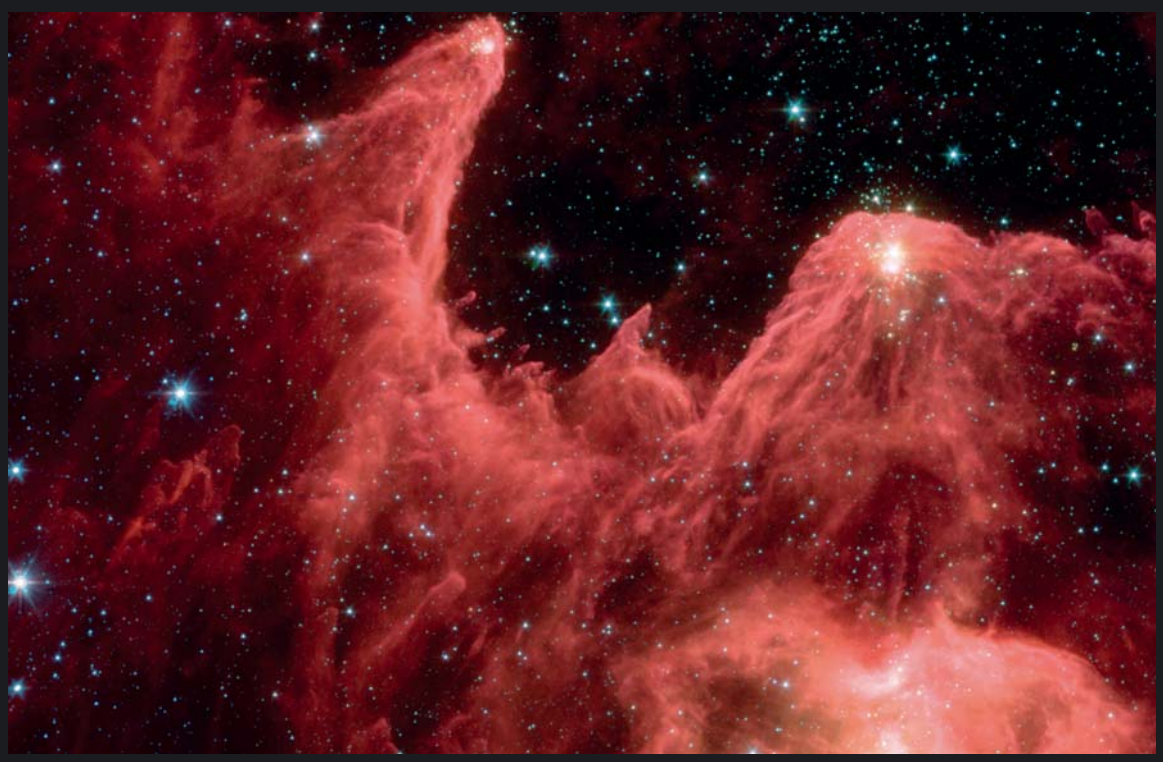
[5] **Глобулы Теккерея**
Глобулы Бока
Две глобулы Бока, наложившись друг на друга на луче зрения, создали на фоне эмиссионной туманности IC 2944 силуэт, похожий очертаниями на Австралию.
По оценкам, «строительного материала» в каждой из них хватит на 15 Солнц.
Расстояние: 5900 световых лет.
Диаметр: 1,4 светового года.

[1] [3] **Столпы Творения**
Темная/эмиссионная туманность
M16
Эти эффектные «пальцы» в Туманности Орел — рассеивающиеся облака пыли и газа, постепенно распадающиеся на отдельные глобулы Бока. На фото [3] видны все три «столпа»; на фото [1] — более детальный крупный план одного из них. Каждая из этих колонн вылеплена мощным излучением новорожденных массивных звезд на ее вершине. Неровности и комки вдоль боковых сторон «столпов» — зародыши будущих планетных систем. Расстояние: 6500 световых лет. Длина: 9,5 светового года.

[2] **Горы Творения**
Темная/эмиссионная туманность
W5
На этом инфракрасном снимке образование звезд показано в еще более крупном масштабе, среди пейзажа сформированных излучением «гор» и «башен». Внутри туманности, в облаках интенсивно красного искусственного цвета обнаруживаются сложные органические молекулы — семена жизни внутри зародышей звезд. Расстояние: 7000 световых лет. Длина «колонн»: 50 световых лет.

[1]





[2]

[3]

Туманность Ориона
Эмиссионная туманность
M42
Молекулярное облако в Орионе протянулось более чем на 100 световых лет и занимает на небе большую часть созвездия, оставаясь при этом невидимым. Но там, где в нем рождаются новые звезды, они освещают облака, из которых родились. Это и есть Туманность Ориона. Расстояние: 1500 световых лет. Диаметр: 30 световых лет.

[1]

[2]

Молодые звезды

Молодые звезды подвержены «трудностям роста»: вспышкам и неустойчивости. Их размеры нестабильны, они расшвыривают вещество во все стороны.

Если «родовые схватки» у звезд проходят относительно мирно, это с лихвой возмещается их неистовым «отрочеством». Даже когда в недрах звезды начинается водородное горение, обычно она еще окружена большим газопылевым облаком. Некоторые из таких облаков впоследствии порождают планетную систему, но чаще их вещество выпадает на поверхность звезды, и при этом происходит бурное энерговыделение.

Тем временем внутренняя структура звезды продолжает развиваться. В начале стадии водородного синтеза происходит внезапный гигантский рост энерговыделения из ядра. Проходя сквозь внешние слои звезды, излучение раздувает звезду, как воздушный шар, от размеров Юпитера до размеров Солнца. Зачастую это внезапное расширение приводит к краткому периоду неустойчивости звезды: если она превысит оптимальный размер, вступит в свои права ее гравитация, и внешним слоям придется снова сжаться. С другой стороны, при расширении внешние газовые слои часто сбрасываются и образуют вокруг звезды медленно остывающие оболочки, которые загораживают ее свет и вызывают колебания блеска.

Такие молодые переменные звезды известны как звезды типа Т Тельца (по имени первой изученной представительницы звезд этого типа, слабой звезды в созвездии Тельца). Обычно они рождаются с массой менее трех солнечных и на протяжении фазы Т Тельца (которая может длиться до 10 миллионов лет) могут потерять до одной солнечной массы газа. Похожие процессы идут и на более массивных звездах, но их излучение достаточно мощное, чтобы быстро отбросить оболочки на большое расстояние. Поэтому у таких звезд нет переменности блеска.

Другой вид потери массы, так называемое биполярное истечение, происходит на гораздо более короткой временной шкале, всего за несколько тысяч лет, но потери при этом гораздо больше. После того как в звезде устанавливается режим устойчивого излучения, на нее продолжает выпадать остаток газа протозвездной туманности, но общая масса звезды практически не увеличивается. Вещество отбрасывается от молодой звезды мощным звездным ветром, истекающим из полюсов и направляемым ее магнитным полем. Сами эти выбросы — джеты — обычно невидимы, но там, где выброшенный газ врезается в другие газовые облака, он их нагревает. Образуются красивые светящиеся компактные туманности: объекты Хербига — Аро. Для молодых звезд механизм сброса избыточной массы жизненно важен — ведь если бы на звезду обрушилось все окружающее ее вещество туманности, ее вращение резко ускорилось бы до опасного предела, за которым звезда становится неустойчивой и может разлететься на части.

Биполярное истечение выметает из окрестностей новорожденной звезды большую часть избыточного вещества. Но действуют и другие механизмы. Тепловое излучение звезды испаряет летучие соединения в ее окрестностях, и образовавшиеся легкие газы выдуваются наружу звездным ветром. Вблизи звезды остается только жароустойчивая тугоплавкая пыль, а газы и льды сохраняются лишь на больших расстояниях от нее, что типично для образующихся планетных систем. Такой была и Солнечная система.

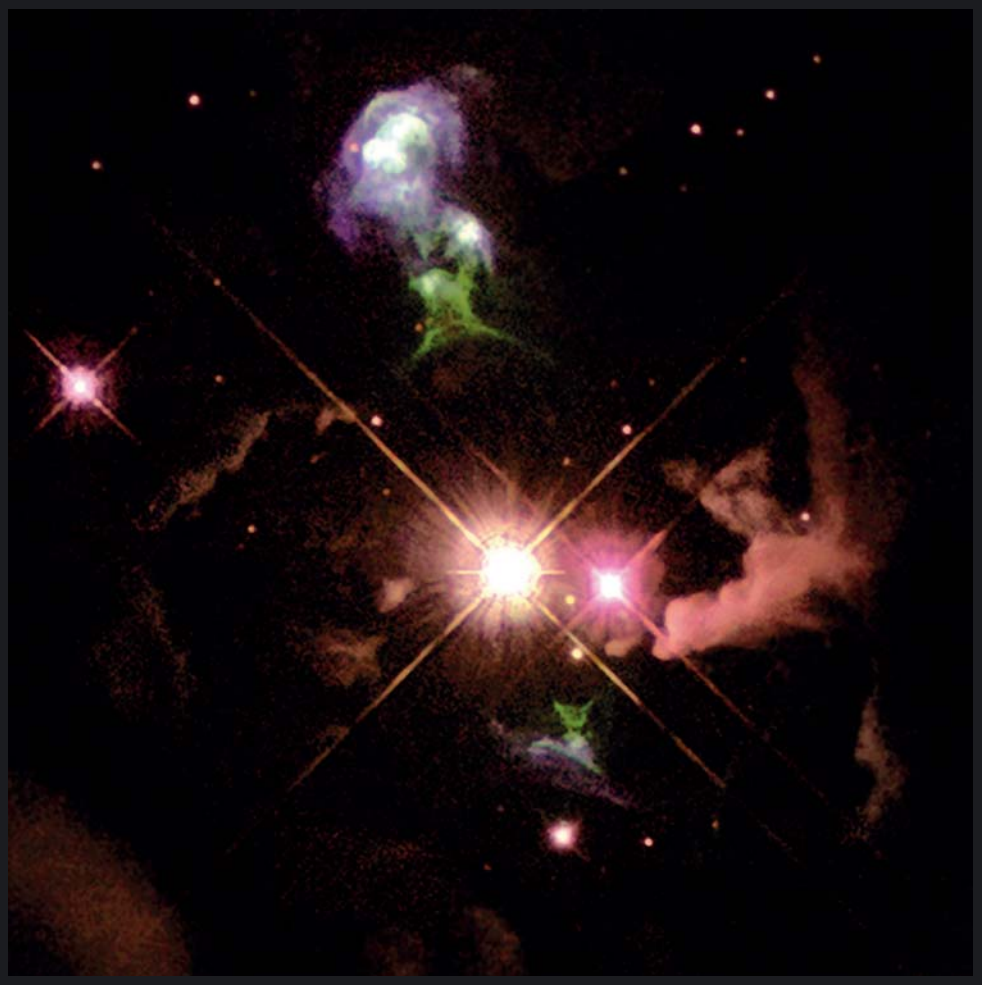
[3]

[1] **HH 47**
Объект Хербига — Аро
Этой протозвезде еще предстоит выбраться из своего кокона (внизу слева). Ее присутствие скрыто шлейфом горячего газа длиной в 5 триллионов км (3 триллиона миль). Шлейф скручен, а это может означать, что на нашу звезду-младенца влияет другая невидимая звезда, возможно родившаяся вместе с ней.
Расстояние: 1500 световых лет.

[2] **HH 34**
Объект Хербига — Аро
Юная звезда выбрасывает вещество в пространство, но не в виде конусообразного джета, а отрывочными импульсами. Такие «выхлопы», возможно, способствуют звездообразованию, так как уносят избыточный угловой момент, который в противном случае мог бы помешать падающему на звезду материалу достичь ее поверхности.
Расстояние: 1500 световых лет.

[3] **LL Ориона**
Звезда типа Т Тельца
По мере роста протозвезды поток высокоэнергетических частиц, которые она испускает, возбуждает вещество в газопылевом коконе, в котором она созревала, и начинает разрушать его. Такие разгорающиеся звезды и есть звезды типа Т Тельца.
Расстояние: 1500 световых лет.

[4] **HH 32**
Объект Хербига — Аро
«Трудности роста»: молодая звезда выпустила в противоположных направлениях перпендикулярно плоскости диска два джета длиной в 2 триллиона км.
Расстояние: 1000 световых лет.



[4]

Кратные звезды

Звезды часто образуются парами, триплетами, квартетами и даже еще более многочисленными группами.

Так как звезды рождаются в скоплениях, нет ничего удивительного в том, что некоторые из них остаются вместе на протяжении всей жизни. По сути, большинство звезд Млечного Пути — члены двойных или кратных звездных систем, а одиночные звезды вроде нашего Солнца встречаются сравнительно редко.

И все же некоторые из самых ярких и заметных двойных звезд на небе на деле всего лишь результат проекции: компоненты этих «оптических двойных» могут быть разделены многими десятками световых лет, но при наблюдении с Земли они случайно оказались на одном луче зрения.

Истинные двойные звезды (часто называемые двойными системами, чтобы избежать путаницы с оптическими двойными) гораздо интереснее. Различить в телескоп с Земли можно только двойные, расположенные близко к нам, или те, компоненты которых далеко отстоят друг от друга. В таких системах звезды обычно совершают один оборот друг вокруг друга за много десятилетий или даже столетий. Более далекие от нас системы или те, в которых звезды расположены близко друг к другу, при наблюдении с Земли сливаются в одну звезду, но и в этих случаях существуют способы определить их двойственность и изучить свойства их компонентов (см. статью «Спектроскопические двойные» справа).

Почему важно наблюдать кратные звездные системы? Звезды, входящие в такую систему, находятся на одном и том же расстоянии от нас. Поэтому многие параметры таких звезд можно сравнивать непосредственно, не внося поправок на различие в расстоянии. Например, кратные звезды подтверждают соотношение между цветом и яркостью, которое выполняется для большинства звезд, и позволяют определить главную последовательность на диаграмме Герцшпрунга — Расселла.

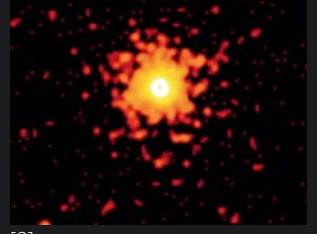
Кроме того, в двойной системе легко сравнивать массы звезд (относительно просто это делать и в более сложных кратных системах). Обращаясь вокруг общего центра масс, звезды напоминают детей разного веса, балансирующих на качелях: тот, то тяжелее, должен располагаться ближе к центру масс, а тот, кто полегче, — дальше от него. Измеряя движения звезд, непосредственно или используя допплеровские смещения линий в их спектрах (см. статью «Спектроскопия», с. 104), астрономы вычисляют относительные размеры орбит, а отсюда и относительные массы звезд. В течение долгого времени это был единственный способ измерять массу звезд, а связь между массой, светимостью и поверхностной температурой — еще один ключ к пониманию звездной эволюции.

В кратные системы могут входить звезды всех типов: обычные звезды главной последовательности, гиганты, приближающиеся к концу своей жизни, маленькие и плотные остатки звезд. Когда звезды расположены очень близко друг к другу, они могут быть связаны непосредственно — например, маленькая и плотная звезда стягивает на себя вещество большего компаньона, и в системе происходит массообмен. В результате могут возникнуть «новые» и другие катаклизмические переменные звезды (см. с. 120). В других случаях тяготение одной из звезд может деформировать другую, компоненты системы могут находиться в непосредственном контакте друг с другом, а в самых экзотических ситуациях орбита одной из звезд может целиком лежать внутри атмосферы ее гигантского соседа.

• Спектроскопические двойные
Когда звезды слишком близки, чтобы их можно было разделить визуально, их двойственность может проявляться в их спектрах. Когда они движутся по своим орбитам в противоположных направлениях относительно Земли, в их спектрах наблюдается расщепление линий. Одна из звезд движется от Земли, и благодаря эффекту Допплера ее линии чуть смещаются к красному концу спектра; в то же время ее звезда-компаньон движется в противоположном направлении, к Земле, и ее линии смещаются в голубую сторону. В результате при движении компонентов двойной звезды по орбитам линии в спектре то расщепляются, то вновь соединяются. К спектроскопическим относится большинство известных нам двойных звезд. Расщепление линий позволяет исследовать и подробности строения более сложных кратных звездных систем.

[1]

[2]



[3]

[1] **Трапеция**
Рассеянное скопление
Тэта Ориона
Трапеция Ориона — группа из примерно десятка звезд, образовавшихся около миллиона лет назад. В нее входят четыре самые горячие и массивные звезды в Туманности Ориона. Скопление заставляет светиться окружающие его темные молекулярные облака, возбуждая в них атомы потоком высокоэнергетического излучения. Трапеция окружена роем коричневых карликов, тусклых звезд, слишком маленьких, чтобы в их ядрах могло идти термоядерное горение водорода, — они светят только за счет перехода их гравитационной энергии в тепло.
Расстояние: 1500 световых лет.

[2] **Мира**
Двойная звезда
Омикрон Кита
Система Миры состоит из старого красного гиганта (Мира А) и белого карлика (Мира В). Если бы Мира А находилась в центре Солнечной системы, ее внешние слои достигали бы пояса астероидов между Марсом и Юпитером. На снимке, полученном космическим телескопом «Хаббл», заметен крюкообразный отросток, направленный от Миры А к Мире В: в системе идет обмен массой. Гравитация белого карлика выкачивает вещество из внешних слоев красного гиганта.
Расстояние: 400 световых лет.

[3] **Проксима Центавра**
Красный карлик
Проксима Центавра, входящая в тройную звездную систему альфа Центавра, — ближайшая к Солнцу звезда. По размерам она примерно вдесятеро меньше Солнца и в 18 000 раз тусклее, но во время вспышек на ее поверхности может за несколько минут утроить свой блеск.
Расстояние: 4,22 светового года.

Внесолнечные планеты

Сейчас открыто много планет вокруг других звезд. Некоторые из них совсем не похожи на планеты Солнечной системы.

Еще пару десятилетий назад единственными надежно известными нам планетами были планеты нашей Солнечной системы. Поиски тел, обращающихся вокруг других звезд, неизменно кончались ничем. Некоторые астрономы начали даже задумываться, не являются ли планетные системы по какой-то причине исключительно редким явлением. Однако революция в астрономии, которая произошла в середине 1990-х, привела не просто к нескольким открытиям в этой области — сотни других миров, часто называемых внесолнечными планетами или экзопланетами, стали доступны наблюдениям.

Первые внесолнечные планетные системы были обнаружены в процессе их образования, как гигантские газопылевые диски, окружающие молодые звезды и дающие необычно много инфракрасного излучения. Протопланетные туманности — очевидное свидетельство формирования планет. Наблюдать их гораздо легче, чем уже образовавшиеся планеты, очень слабые и трудно различимые на фоне блеска даже самых слабых материнских звезд. На сегодня получены прямые изображения лишь нескольких экзопланет.

К счастью, целый ряд других остроумных методик позволяет астрономам преодолеть эти ограничения. Первым успешным методом был тайминг пульсаров — измерение мельчайших изменений в регулярных пульсациях вращающихся нейтронных звезд (см. с. 144), вызванных тем, что обращающиеся вокруг пульсаров планеты смещали их в разные стороны. Самой же эффективной методикой оказалось измерение лучевых скоростей — регистрация допплеровских сдвигов в спектрах звезд. Обращающаяся вокруг звезды планета периодически то чуть оттягивает звезду от Земли, то сдвигает ее в сторону Земли, отчего сдвигаются и спектральные линии звезды. Чем более массивна планета и чем ближе она к материнской звезде, тем заметнее смещения линий и больше их частота. Таким способом можно выявить у звезды и несколько планет.

Метод лучевых скоростей несколько ограничен — с ним нельзя определить наклон орбиты планеты к лучу зрения, можно получить лишь нижнюю оценку массы. Другой метод, известный как метод транзитов, основан на регистрации малых ослаблений блеска звезды, вызванных прохождением планеты перед ее диском. Чтобы такое было возможно, требуется геометрически точное совпадение луча зрения с плоскостью орбиты планеты. Зато, если это случилось, мы получаем много информации, в том числе точные данные об орбите и размерах и даже — измеряя спектр звезды во время транзита — об атмосфере планеты. Этот метод предпочтителен для поисков маломассивных планет, чье притяжение слишком слабо для регистрации методом лучевых скоростей. Именно методом транзитов спутник NASA «Кеплер» открыл сотни экзопланет в густонаселенном звездном поле в созвездии Лебедя.

Из статистических моделей, основанных на количестве и разнообразии планет, открытых миссией «Кеплер», следует их распространенность — в Млечном Пути их много миллиардов. Но большинство открытых экзопланет оказались совсем не похожими на те, которые мы видим в нашей упорядоченной Солнечной системе. Вот, например, «горячие Юпитеры», газовые гиганты, более близкие к материнским звездам, чем Меркурий к Солнцу. Их атмосферы иногда тянутся за ними, как кометные хвосты. «Горячие Юпитеры» встречаются относительно часто, но это может быть просто результатом легкости их обнаружения. Еще легче регистрировать газовые гиганты, более массивные, чем Юпитер, — такие планеты почти неотличимы от коричневых карликов, «недозвезд» с массами от 13 до 80 масс Юпитера.

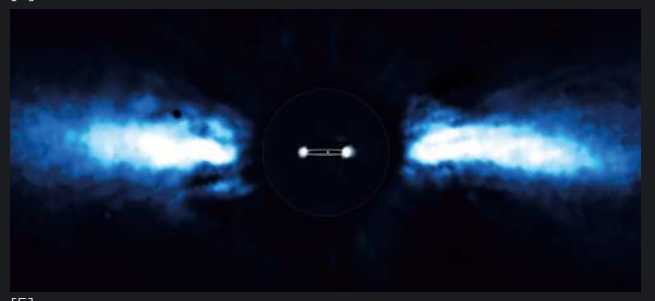
Среди других типов экзопланет — «теплые Нептуны», гигантские планеты-океаны, и «сверхземли», каменистые миры с массами в несколько раз выше земной, но гораздо меньше газовых гигантов. За последние несколько лет открыты и планеты земного типа, массы или орбиты которых похожи на земные. Точного близнеца Земли пока найти не удается, но это рано или поздно наверняка случится. Следующей грандиозной задачей будет более подробное изучение физических параметров этих миров и поиски на них признаков существования жизни.

[1]

[2]

[3]

[4]



[5]

[1] **Пылевое кольцо Фомальгаута**
Протопланетный диск
Альфа Южной Рыбы
Пылевое кольцо вокруг этой близкой звезды иногда называют «поясом Койпера у Фомальгаута». В нем имеются признаки существования невидимой планеты: звезда находится не в центре кольца, а его внутренний край очерчен более четко, чем внешний: признак того, что вещество оттуда «выметено» силами тяготения.
Расстояние: 25 световых лет.

[2] [3] **Проплиды Ориона**
Протопланетные диски
Эти молодые звезды на фоне Туманности Ориона окружены дисками пыли и газа. Если эти диски не слишком деформированы излучением центральной звезды, они могут быть благодатной почвой для образования планет.
Расстояние: 1500 световых лет.

[4] **C2M1207b**
Внесолнечная планета
Этот инфракрасный снимок, полученный Очень большим телескопом Европейской южной обсерватории, — первое прямое изображение внесолнечной планеты. 2M1207b — горячий газовый гигант с массой в несколько Юпитеров, обращающийся вокруг слабой красной карликовой звезды.
Расстояние: 230 световых лет.

[5] **Бета Живописца**
Протопланетный диск
Первый протопланетный пылевой диск был открыт в 1980-х по избытку инфракрасного теплового излучения у звезды Бета Живописца. С тех пор диск тщательно изучался, и в нем была найдена небольшая планета, орбита которой показана на фото.
Расстояние: 63 световых года.

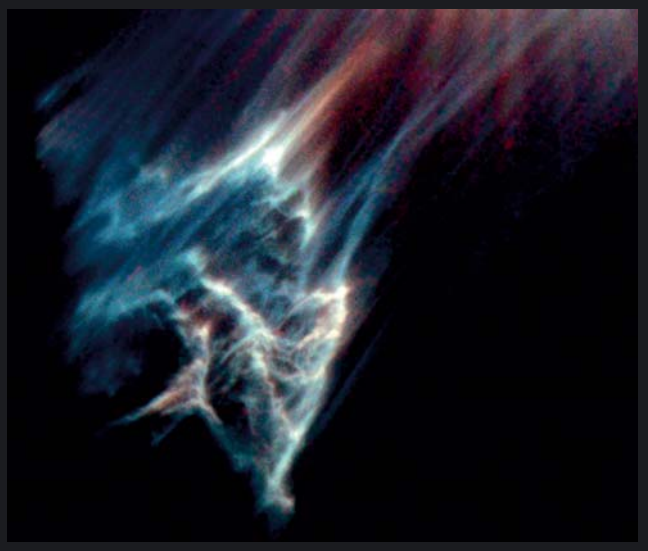
[1]

[2]

[1] **M52**
Рассеянное скопление
NGC 7654
Скопление M52 (слева вверху) и Туманность Пузырь (справа внизу). Возраст M52 — около 35 миллионов лет, поперечник — 20 световых лет.
Расстояние: 5000 световых лет.
Количество звезд: 200.

[2] **Скопление Эта Хамелеона**
Рассеянное скопление
Mamajek 1
Скопление Эта Хамелеона было открыто в 1999 году, практически у нас под боком. Его возраст всего 6 миллионов лет. В нем 10 звезд типа Т Тельца (см. с. 112), только что образовавшихся из темных облаков, которых много в созвездии Хамелеона.
Расстояние: 316 световых лет.
Количество звезд: 18.

[3] **Туманность Барнарда (Меропы)**
Отражательная туманность
IC 349
Это облако межзвездной пыли и газа проходит на волосок (но галактический!) от Меропы, одной из звезд в Плеядах, — всего на расстоянии 500 миллиардов км (300 миллиардов миль). Эта встреча буквально разрывает облако на части: давление излучения звезды выметает из него мелкие пылевые частицы, как солому из пшеницы.
Расстояние: 440 световых лет.



[3]

Рассеянные скопления

Звезды рассеянных скоплений, образовавшись в одной и той же области пространства, несколько миллионов лет проводят вместе, прежде чем разойтись в разные стороны.

Рассеянные скопления — небесные шкатулки с бриллиантами. На ночном небе эти россыпи звезд, преимущественно белых и голубых, притягивают взор. В них обычно не бывает больше пары сотен звезд, и часто они погружены в светящиеся туманности.

Все эти особенности рассеянных скоплений объясняются их происхождением — это группы недавно сформировавшихся звезд, которые еще не разошлись по своим пространственным и эволюционным путям. Возраст Плеяд в созвездии Тельца — возможно, самого известного рассеянного скопления — всего несколько десятков миллионов лет.

Звезды каждого скопления родились из одной протозвездной туманности, но они находятся в постоянном движении друг относительно друга и через несколько десятков или сотен миллионов лет постепенно разлетятся в разные стороны. Правда, к этому времени самые массивные, быстрее всех эволюционирующие звезды уже истратят все свое «ядерное горючее» и станут красными гигантами или (если они достаточно массивны) сверхновыми. Поэтому самые горячие и яркие звезды почти всегда входят в молодые скопления и часто еще окружены клочьями туманности, из которой они сконденсировались. Почти все рассеянные скопления содержат и много слабых маломассивных звезд, но внимание привлекают, конечно, именно яркие их члены.

Для астрономов рассеянные скопления так же ценны, как кратные звезды, — как группы звезд на более или менее одинаковом расстоянии. Это значит, что все различия в характеристиках звезд связаны с их физическими параметрами, а не с различиями в расстоянии до них. В близких скоплениях, где наряду с яркими бело-голубыми звездами можно наблюдать более слабые красные и желтые, мы можем сравнивать блеск и цвет всех членов скопления и строить для него уже известную нам диаграмму Герцшпрунга — Расселла.

В типичном скоплении звезды обычно разделены расстояниями от нескольких световых месяцев до световых лет (хотя тесные двойные и кратные звездные системы, как и в Галактике в целом, составляют большинство). После долгого и медленного дрейфа звезды в конце концов оказываются так далеко друг от друга, что уже почти не воспринимаются как единое целое — например, пять ярких звезд «ковша» Большой Медведицы 500 миллионов лет назад образовались в одном скоплении. Сегодня они в числе других входят в «Движущуюся группу Большой Медведицы», группу звезд, которые летят примерно в одном направлении со скоростями около 50 000 км/ч (31 500 миль в час) относительно Земли.

Рассеянные скопления часто погружены в туманности. Самые молодые и яркие скопления обычно находятся в областях звездообразования и окружены темными и эмиссионными туманностями. Мощный звездный ветер от молодых звезд обычно быстро отгоняет окружающие облака прочь, но даже скопления с возрастом в десятки миллионов лет могут еще быть окружены призрачными отражающими туманностями — бледными остатками гигантских звездообразовательных комплексов, в которых эти скопления появились на свет. Плеяды, вероятно, лучший пример рассеянного скопления вблизи отражательной туманности, но, по иронии судьбы, эта туманность как раз не играла никакой роли в формировании Плеяд, а просто случайно прошла через скопление.

Плеяды
Рассеянное скопление
M45
Древним грекам были известны Плеяды, или Семь Сестер, дочерьми Атласа, титана, осужденного на то, чтобы держать на своих плечах небо, и Плейоны, дочери Океана (две звезды вверху посредине). Имена сестер (от центра по часовой стрелке): Альциона, Астеропа, Тайгета, Целено, Электра, Меропа и, в центре, Майя. На самом деле сестер выходит восемь, так как Астеропа — двойная звезда. Голубая вуаль — проходящее мимо пылевое облако.
Расстояние: 440 световых лет.
Число звезд: 8.

Шаровые скопления

Древние «звездные города», по населению сравнимые с малыми галактиками.

Если рассеянные скопления — группы беспорядочно разбросанных молодых горячих звезд, то шаровые скопления — почти полная их противоположность. Эти независимые звездные сообщества представляют собой хорошо структурированные сферы из многих тысяч, а иногда и миллионов звезд, удерживаемых внутри компактных областей пространства собственным тяготением. Они обращаются вокруг центра нашей Галактики (и других галактик), но мало связаны с ее структурой — их длинные эллиптические орбиты почти целиком лежат в холодной и пустой области «гало» выше и ниже густонаселенной галактической плоскости.

Звезды в шаровых скоплениях тоже другие. В основном это не горячие бело-голубые «буяны», а спокойные красные и желтые звезды среднего возраста, похожие на те, что сталкиваются друг с другом в эллиптических галактиках и переполняют ядра спиральных. Астрономы даже придумали для них термин «звезды населения II», в отличие от звезд населения I, характерных для нашей околосолнечной области.

В центре шарового скопления звезды разделены всего несколькими световыми днями, а не годами, как вокруг нас. На планете, которая могла бы там существовать, стоял бы непрерывный ослепительный день — ночью небо покрывалось бы тысячами звезд, каждая из которых светила бы как полная Луна.

У этих сияющих звездных сфер есть секрет: внутри них нет газа и пыли. В большинстве шаровых скоплений активные короткоживущие звезды давно уже должны были истощить свои запасы «горючего», состариться и взорваться в виде сверхновых. В плоскости Галактики разлетевшиеся во все стороны остатки таких звезд снова захватываются притяжением облаков и повторяют бесконечный цикл звездных перевоплощений. Но в сравнительно легком шаровом скоплении быстро распространяющиеся ударные волны от сверхновых не только преодолевают оковы гравитации, но и выметают наружу газ, оставшийся между звездами. На второе поколение звезд уже не хватает материала, и в скоплении остаются только маломассивные долгоживущие звезды первого поколения.

Из этой схемы есть интересное исключение. В некоторых шаровых скоплениях встречаются группы ярких голубых звезд — так называемые голубые бродяги, — которые наверняка образовались совсем недавно. Из какого же газа они могли сформироваться? На этот вопрос найден изобретательный и эффектный ответ: в переполненных шаровых скоплениях звезды часто сталкиваются и сливаются. Когда две спокойные оранжевые или желтые звезды соединяются в один массивный объект, рост температуры и силы тяжести у новообразованной звезды сдвигает ее назад по эволюционной лестнице. Новая звезда получается более яркой и горячей.

Многие тайны шаровых скоплений остаются неразгаданными, и главное — мы не вполне понимаем, как они образуются. По некоторым признакам они рождаются при столкновениях галактик, на ранних стадиях их формирования. Гигантские эллиптические галактики, такие как M87, которые за время своей жизни поглотили множество малых галактик, окружены большим количеством шаровых скоплений. В некоторых других сталкивающихся галактиках наблюдаются даже шаровые скопления в процессе образования.

[1] **M4**
Шаровое скопление
NGC 6121
M4 — ближайшее к Земле шаровое скопление. Его протяженность 70 световых лет, но более половины его массы сосредоточено в пределах десяти световых лет от его центра.
Расстояние: 7000 световых лет.
Число звезд: более 100 000.

[2] **M80**
Шаровое скопление
NGC 6093
Шаровые скопления — старейшие объекты Галактики. Каждая звезда на этом снимке либо находится на более поздней стадии эволюции, либо, в нескольких отдельных случаях, более массивна, чем Солнце.
Расстояние: 28 000 световых лет.
Число звезд: более 100 000.

[3] **NGC 6397**
Шаровое скопление
Звезды в шаровых скоплениях разделяет всего несколько световых недель, риск столкнуться велик. Когда столкновения происходят, образуются голубые бродяги — новые, более горячие и яркие звезды, резко отличающиеся от старого населения скопления.
Расстояние: 8200 световых лет.
Число звезд: более 100 000.

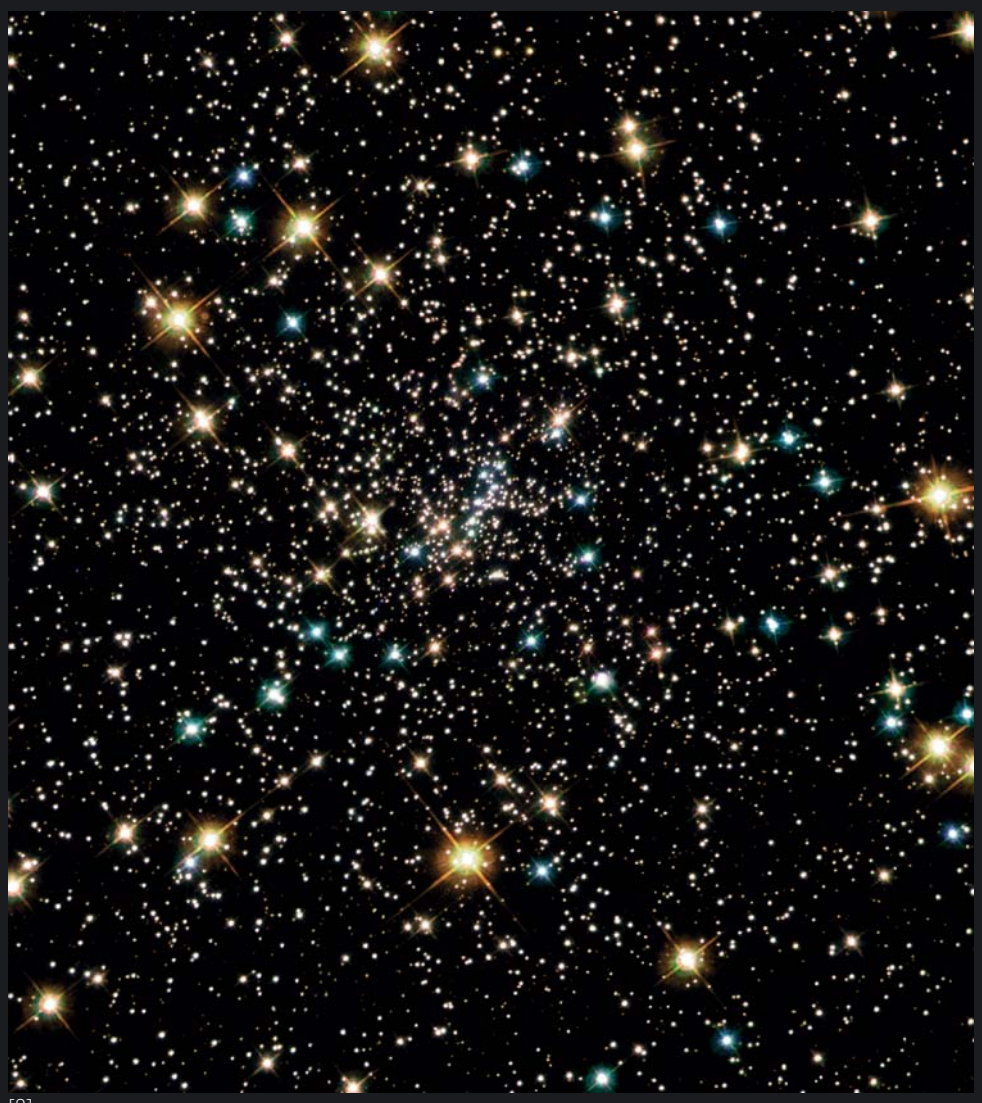
[4] **47 Тукана**
Шаровое скопление
NGC 104
47 Тукана, названное так потому, что вначале было каталогизировано как звезда, — второе по яркости и по размерам шаровое скопление в Галактике: его поперечник почти 120 световых лет.
Расстояние: 13 000 световых лет.
Число звезд: более миллиона.

[5] **Омега Центавра**
Шаровое скопление
NGC 5139
На этом снимке, сделанном космическим телескопом «Хаббл» в усиленных цветах, — тесно заполненная звездами центральная область шарового скопления Омега Центавра. Звезды здесь отстоят друг от друга всего на несколько световых часов, в то время как для нашей области Галактики характерны расстояния между звездами в несколько световых лет.
Расстояние: 17 000 световых лет.
Число звезд: более 10 миллионов.

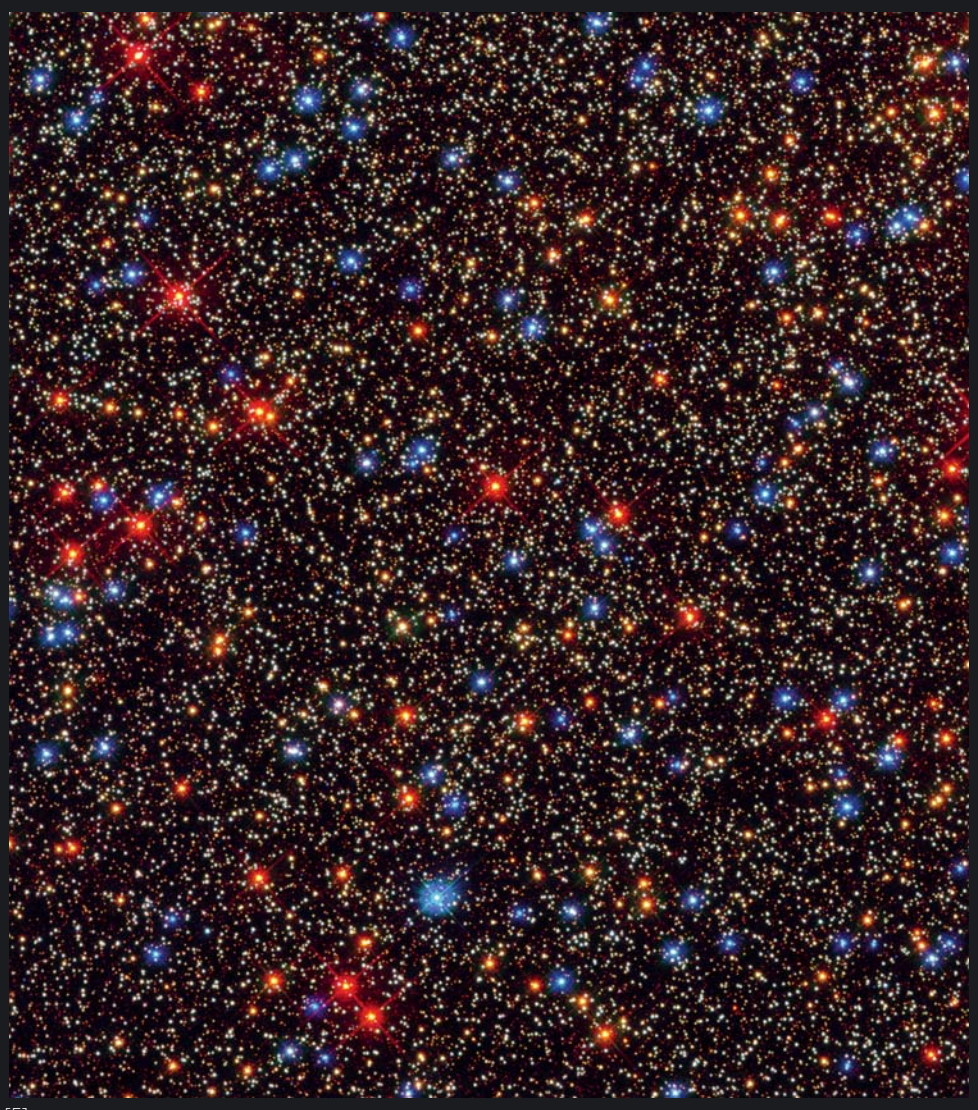
[6] **Омега Центавра**
Шаровое скопление
NGC 5139
Омега Центавра — крупнейшее шаровое скопление нашей Галактики. При диаметре в 150 световых лет оно больше многих малых галактик. Возможно, это остаток ядра галактики, целиком поглощенной Млечным Путем.
Расстояние: 17 000 световых лет.
Число звезд: более 10 миллионов.

[1]

[2]



[3]
[4]



[5]
[6]

[1]

Переменные звезды

Удивительно, как много есть
причин изменения блеска звезд
за относительно короткое время.

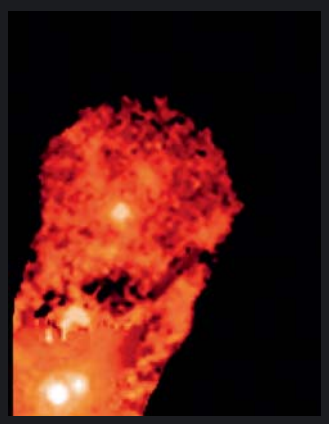
Хотя звездная эволюция протекает неторопливо и занимает миллионы лет, нельзя сказать, чтобы звезды на небе оставались совсем уж неизменными. Многие из них изменяют свой блеск на временных шкалах от нескольких часов до многих лет. Изменения блеска — лишь видимое проявление физических процессов в звездах и их системах. Тщательно исследуя их, астрономы открыли много возможных причин переменности звездного света.

Есть четыре основные категории переменных звезд: затменные двойные, вращающиеся звезды, пульсирующие переменные и катаклизмические переменные. С затменными двойными дело обстоит проще всего — в этом случае никаких физических изменений в свойствах самой звезды не происходит. Две звезды, расположенные достаточно близко друг к другу или достаточно далеко от нас, чтобы казаться одной звездой, обращаются вокруг общего центра тяжести, и при этом одна из них периодически закрывает от нас другую. Большую часть времени поток света от такой пары является суммой потоков от обращенных к Земле полушарий обоих компонент системы, но, когда одна из этих звезд загораживает от нас другую, поток от другой звезды или часть его блокируется, и блеск системы падает. Когда это затмение заканчивается, система возвращается к обычному блеску. У затменных двойных часто бывает два «минимума» различной глубины, в зависимости от относительных размеров и яркости компонентов. Такая же картина наблюдается, когда внесолнечная планета проходит по диску своей материнской звезды, только уменьшение блеска гораздо меньше (см. с. 115).

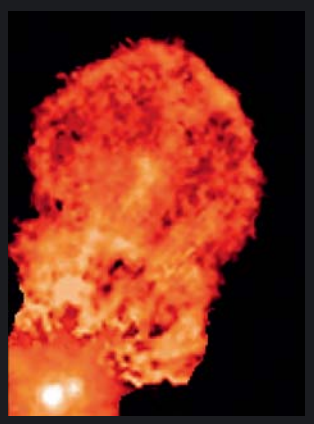
Переменность, связанная с вращением, бывает двух типов. Самый простой случай — одиночная звезда с горячими яркими или темными, типа солнечных, пятнами на поверхности. При вращении звезды, когда светлые или темные области поворачиваются к наблюдателю, общий поток света звезды изменяется. Другой тип вращательной переменности встречается в тесной двойной системе, где притяжение одной из звезд придает другой яйцеобразную форму. При вращении системы суммарная площадь искаженной поверхности звезд, видимой с Земли, меняется, а с ней меняется и общий блеск.

Пульсирующие звезды — самый сложный для понимания вид переменных, но основной принцип пульсаций относительно прост. На различных стадиях своей жизни звезды могут проходить через фазу, на которой хрупкое равновесие направленного наружу лучевого давления и сил тяготения становится сверхчувствительным к малейшим изменениям. Звезда легко может оказаться в полосе неустойчивости: иногда доминирует давление, а иногда — гравитация. Когда преобладает давление, внешние слои звезды расширяются, площадь поверхности растет и звезда становится ярче. Но увеличение площади поверхности влечет охлаждение и покраснение звезды. Наконец, звезда расширяется до точки, в которой начинает преобладать гравитация, и после этого снова сжимается, становясь более непрозрачной для излучения, а ее поверхность снова нагревается. У каждой звезды могут найтись различные сложные механизмы запуска пульсаций и различные пути их проявления, поэтому имеется множество видов пульсирующих переменных. Однако особенно подвержены такой неустойчивости молодые и старые звезды.

Катаклизмические переменные встречаются в тесных двойных системах. Наиболее известны «новые» — двойные звезды, в которых более массивный компонент уже стал белым карликом, а его компаньон еще не дошел до стадии красного гиганта. Если звезды расположены достаточно близко друг к другу, то, когда вторая звезда расширяется, ее внешние слои захватываются тяготением белого карлика, устремляются к маленькому и плотному звездному остатку и образуют вокруг него слой горячего газа. «Похищенный» белым карликом газ сжимается мощным тяготением звезды. По мере его накопления температура и давление в этой «атмосфере» растут настолько, что в ней начинается термоядерный синтез и быстро охватывает всю ее толщу. В системе происходит мощная вспышка. Астрономы называют этот взрыв «новой».



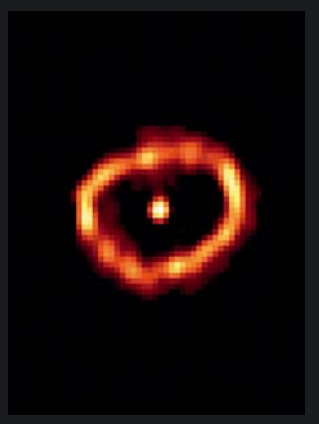
[2]



[3]

[4]

[5]

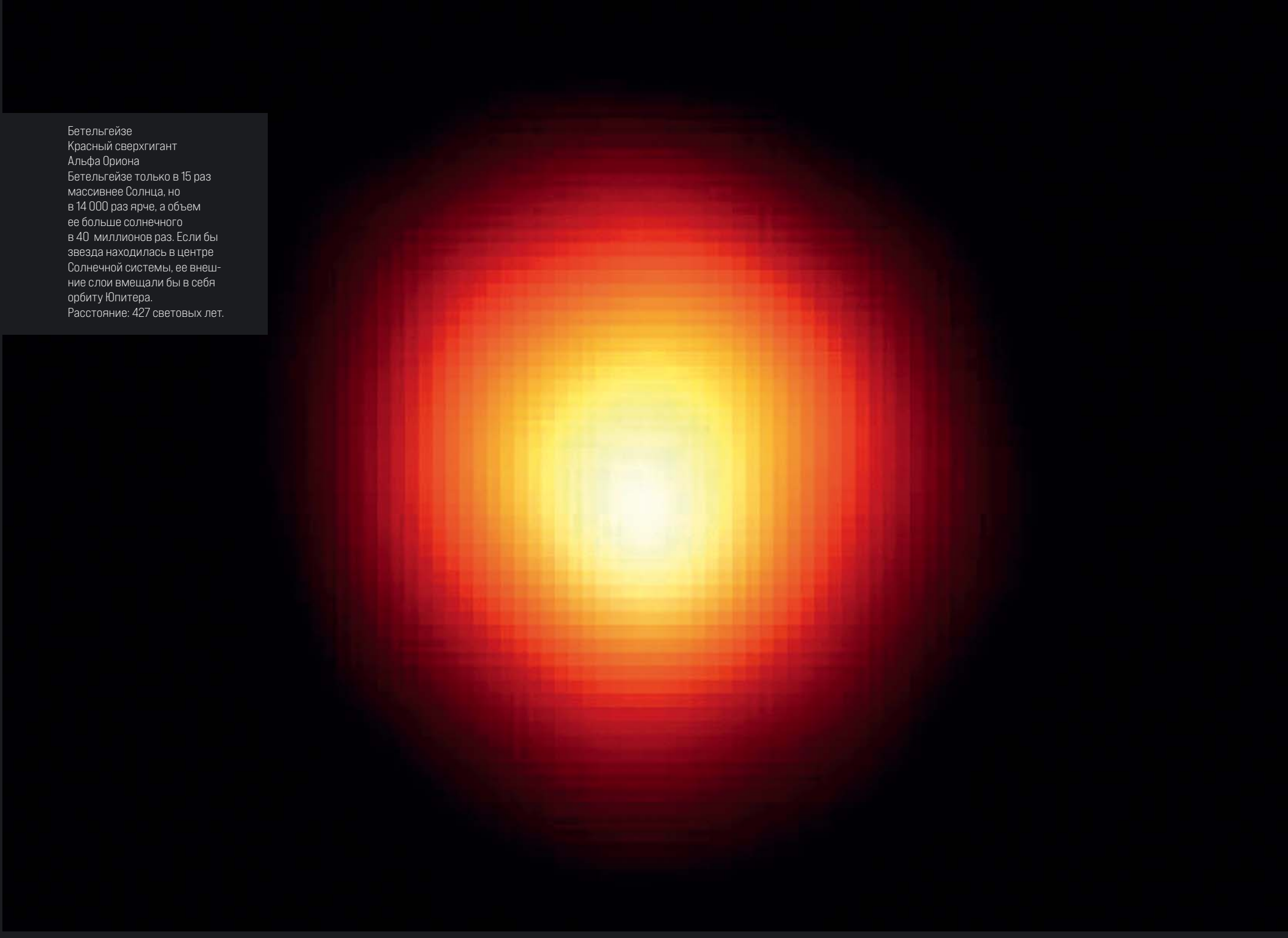


[6]

[1] **V838 Единорога**
Переменная звезда
V838 Mon
В январе 2002 года вспыхнул красный гигант на внешнем краю Млечного Пути: его светимость в 600 000 превысила светимость Солнца. К апрелю вспышка закончилась, но ее «отзвуки» все еще доходят до Земли. Этот необычный эффект светового эха связан с отражением света от расширяющихся оболочек, сброшенных звездой во время предыдущих вспышек.
Расстояние: 20 000 световых лет.

[2] [3] [4] **XZ Тельца**
Двойная система
Три снимка, полученные в 1995 [2], 1998 [3] и 2000 [4] годах, позволяют проследить эволюцию пузырей плазмы, выбрасываемых молодой двойной системой XZ Тельца. Перегретый газ из невидимого диска вокруг одной или обеих звезд системы разгоняется их взаимодействующими магнитными полями и выбрасывается в пространство со скоростью около 540 000 км/ч. Когда расширяющийся плазменный пузырь остывает, он излучает за счет рекомбинации электронов и атомов.
Расстояние: 500 световых лет

[5] [6] **Новая Лебедя 1992**
Новая
Новая Лебедя 1992 вспыхнула 19 февраля 1992 года. Вспышка была вызвана аккрецией водорода на поверхность белого карлика. Катаклизмическая термоядерная детонация превратила большую часть окружающего систему газа в расширяющуюся светящуюся оболочку. Снимки космического телескопа «Хаббл», полученные спустя 15 [5] и 22 месяца [6] после взрыва, прослеживают расширение оболочки от примерно 119 до 155 миллиардов км.
Расстояние: 10 400 световых лет.



Бетельгейзе
Красный сверхгигант
Альфа Ориона
Бетельгейзе только в 15 раз массивнее Солнца, но в 14 000 раз ярче, а объем ее больше солнечного в 40 миллионов раз. Если бы звезда находилась в центре Солнечной системы, ее внешние слои вмещали бы в себя орбиту Юпитера.
Расстояние: 427 световых лет.

Красные гиганты

Превращаясь в красного гиганта, звезда вступает в заключительную фазу своего жизненного цикла.

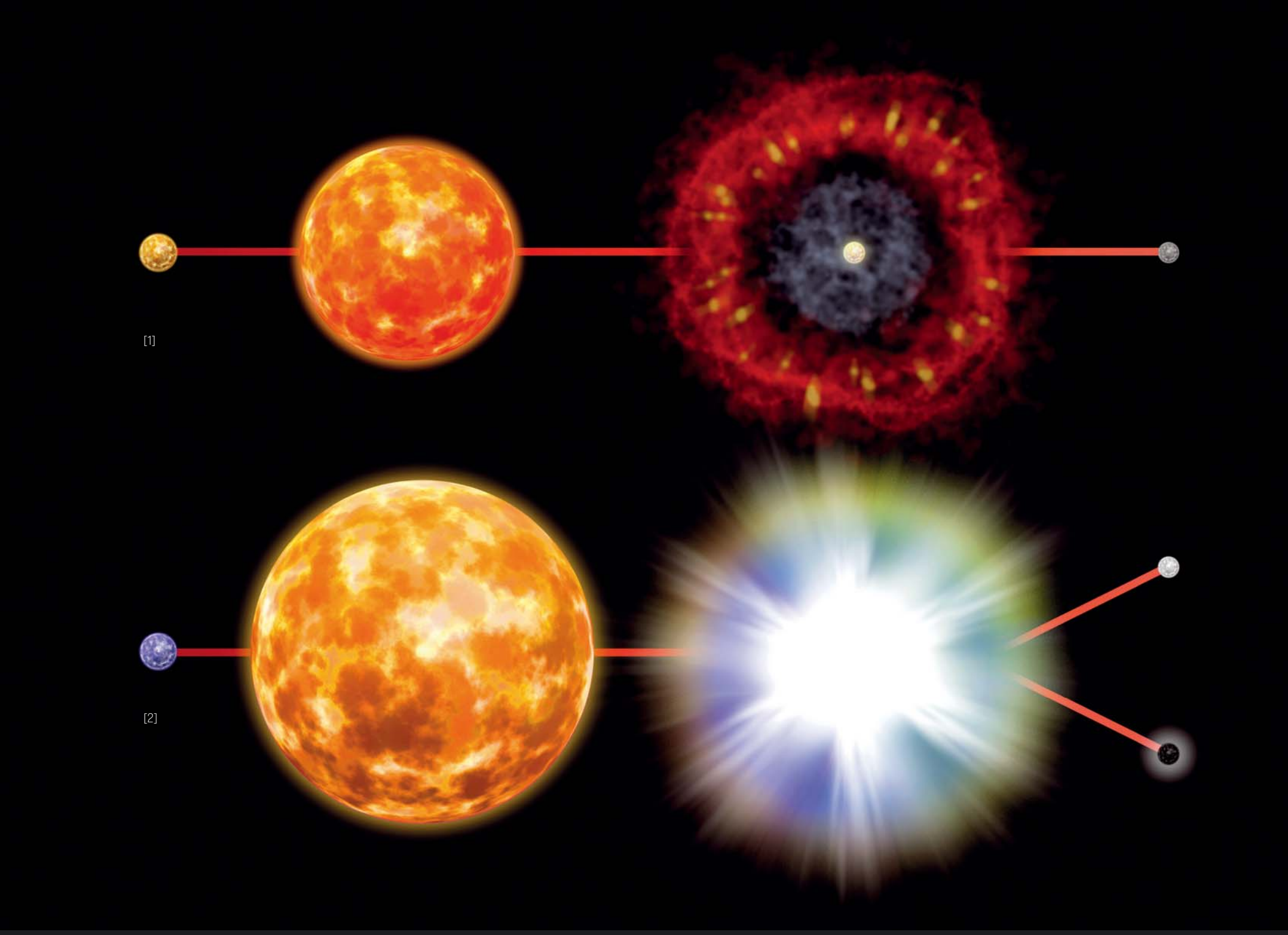
«Средний возраст» звезды, пребывая в котором она более или менее устойчиво светит на протяжении миллионов или даже миллиардов лет, заканчивается, когда подходит к концу запас водорода в ее ядре. До этих пор звезду снабжали энергией реакции слияния ядер водорода в ядра гелия, но теперь, чтобы продолжать светить, ей нужны новые запасы горючего. Переход к новым способам производства энергии ведет к физическим изменениям структуры звезды. Она становится гораздо ярче и увеличивается в размерах — входит в фазу красного гиганта.

Этот переход начинается, когда реакции термоядерного синтеза распространяются из центральной области звездного ядра на сферическую оболочку вокруг него. Звезды почти полностью состоят из водорода (с некоторым количеством гелия и нескольких более тяжелых элементов), поэтому теоретически в «горючем» нет недостатка. Но для реакций термоядерного синтеза требуется огромное давление и температура. В остальной части звезды, вне ее ядра, направленное наружу давление излучения не позволяет установиться такому режиму.

Однако, когда термоядерные реакции в звездном ядре ослабевают и прекращаются, условия во всей толще звезды начинают меняться. Направленное против сил тяготения лучевое давление ослабевает, и звезда начинает медленно сжиматься. Температура вокруг ядра вскоре становится достаточно высокой, чтобы слияние ядер водорода могло начаться и здесь. Источник энергии звезды восстанавливается, но при одном важном отличии: рост объема и площади поверхности сферической оболочки, которая теперь снабжает звезду энергией, приводит к резкому скачку светимости — от 1000 до 10 000 раз. Внезапный рост энергии излучения, выходящего из звезды, заставляет ее расширяться: ее диаметр увеличивается в несколько сот раз, а поверхность звезды растет тысячекратно. В результате, хотя звезда теперь во много раз ярче, чем прежде, с единицы ее поверхности теперь уходит меньше энергии, то есть на деле звезда остывает и краснеет. В зависимости от конкретных условий равновесия между энерговыделением и размерами гигантские звезды могут иметь разные цвета, но красный, конечно, преобладает.

Фаза красного гиганта — относительно краткий период в жизни звезды. Даже когда ее внешние слои расширяются, ядро (в котором теперь преобладает гелий, образовавшийся в результате слияния ядер водорода) все еще медленно сжимается под действием собственного веса. Наконец оно становится таким горячим и плотным, что реакции слияния начинаются в самом гелии. При термоядерном горении гелия образуются более тяжелые элементы: углерод и кислород. Когда энергия вновь начинает поступать из ядра, ее поток заставляет оболочку, в которой идет горение водорода, расширяться, и реакции в ней ослабевают. Общая светимость звезды падает, и она снова сжимается почти до нормальных размеров.

Ядерное горение гелия длится гораздо меньше, чем первоначальная стадия горения водорода. Вскоре запасы гелия в ядре звезды тоже истощаются. Начинается предпоследняя в жизни многих звезд фаза второго красного гиганта. Описанный выше процесс сжатия повторяется, и на этот раз в околоядерной оболочке начинается горение гелия. Звезда снова расширяется. Но для большинства звезд это второе расширение оказывается последним — они заканчивают свое существование, порождая планетарную туманность. Меньшая доля звезд, однако, встречает свой конец гораздо эффектнее — взрывом сверхновой.



[1]

[2]

• [1] Маломассивные звезды
Звезды с массой порядка солнечной могут сжигать водород в своих ядрах миллиарды лет, пока не превратятся в красных гигантов. После краткого периода сжатия и «второго дыхания», когда в их ядрах сгорает гелий, они вновь раздуваются в красные гиганты и становятся неустойчивыми. Колебания внешней атмосферы таких звезд приводят к тому, что она сбрасывается в виде тонких оболочек и образует планетарную туманность, светящуюся под влиянием излучения остатка звезды в ее центре. Наконец даже те внутренние слои звезды, где продолжались термоядерные реакции, рассеиваются в пространстве. Теперь на ее месте мы видим лишь горячий остаток ее ядра, стиснутый собственным тяготением до размера Земли, — белый карлик.

• [2] Массивные звезды
Звезды с массой больше восьми солнечных проходят совсем другой эволюционный путь. Они сжигают водород в своих ядрах гораздо быстрее, а затем становятся красными гигантами или даже гораздо большими сверхгигантами. Последовательно сжигая в своем ядре все более тяжелые элементы, звезда проходит несколько стадий расширения и сжатия и в конце концов становится неустойчивой. Термоядерное горение внезапно останавливается, ядро коллапсирует (резко сжимается), и образуется мощная обратная ударная волна, которая расшвыривает внешние слои звезды. Это взрыв сверхновой. Обычно остаток ядра сжимается в сверхплотную нейтронную звезду размером с город, но, если масса ядра превышает пять солнечных, может образоваться черная дыра.

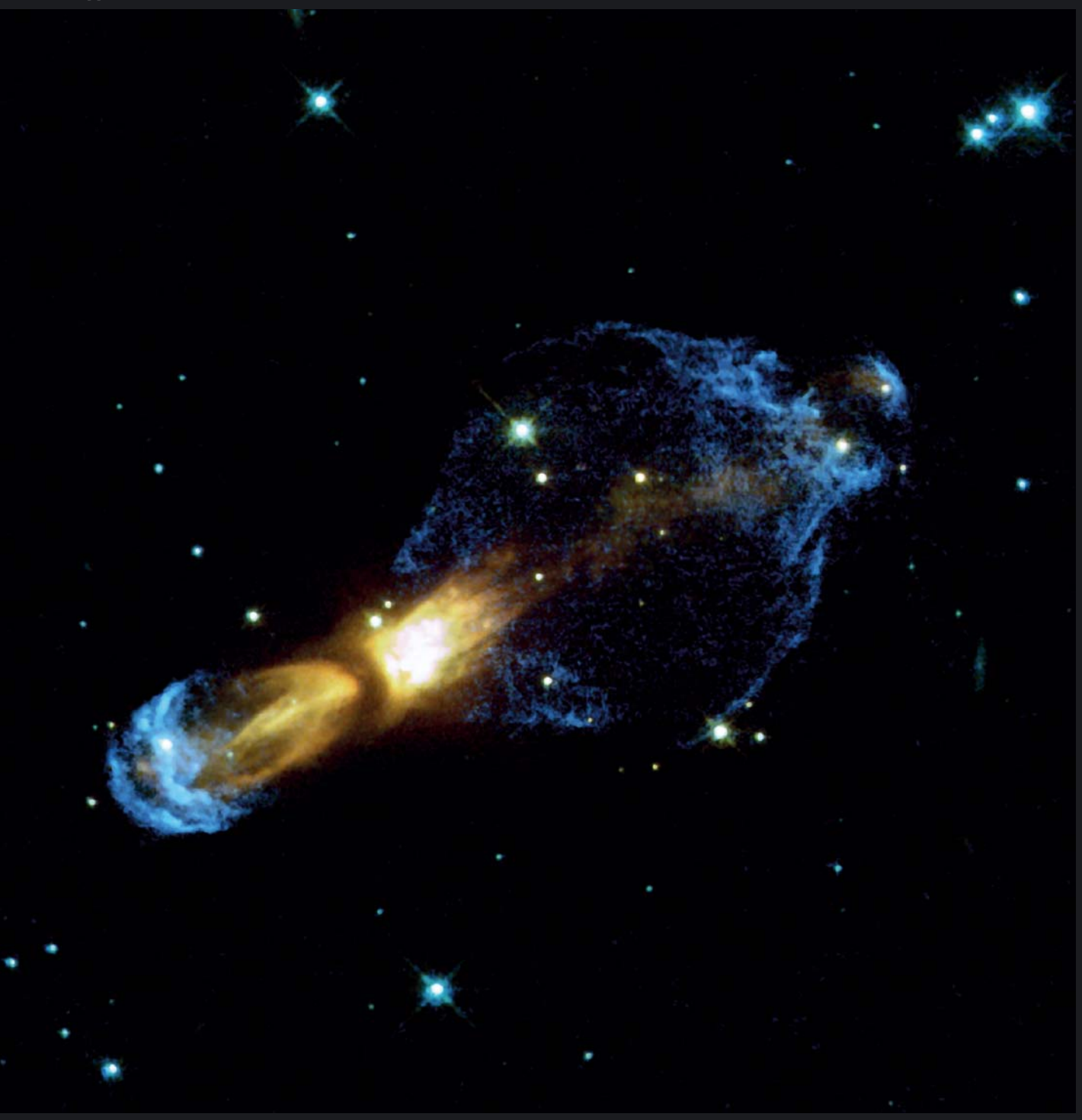
[1] **Туманность Тухлое Яйцо**
Планетарная туманность
OH231.8+4.2
Эта молодая планетарная туманность обязана своим названием соединениям серы, зарегистрированным в выбрасываемых из нее потоках газа. Газ (показан желтым) не только плохо пахнет, но еще и движется со скоростью 1 500 000 км/ч. Его столкновение с межзвездной средой приводит к появлению двух пузырей, наполненных нагретыми ударной волной азотом и водородом (синий цвет).
Расстояние: 5000 световых лет.

[2] **Туманность Скат**
Планетарная туманность
HEN-1357
Скат только что появился из тьмы: 20 лет назад газ, окутывающий умирающую звезду, был еще недостаточно горяч, чтобы светиться. Интенсивное излучение, необходимое для того, чтобы возбудить свечение туманности, генерируется не термоядерным синтезом — ядерные печи звезды погасли, — а сжатием звезды под действием ее собственного веса.
Расстояние: 18 000 световых лет.

[3] **Гамбургер Гомеса**
Планетарная туманность
IRAS 18059-3211
Сжигая последние капли ядерного горючего и сбрасывая свои внешние слои, звезда в центре этой туманности обзавелась таким толстым пылевым поясом, что свет может проходить только выше или ниже него, образуя «гамбургер». Когда горючее закончится, звезда сожмется в белый карлик, нагреет пояс, и он превратится в полноценную планетарную туманность.
Расстояние: 6500 световых лет.

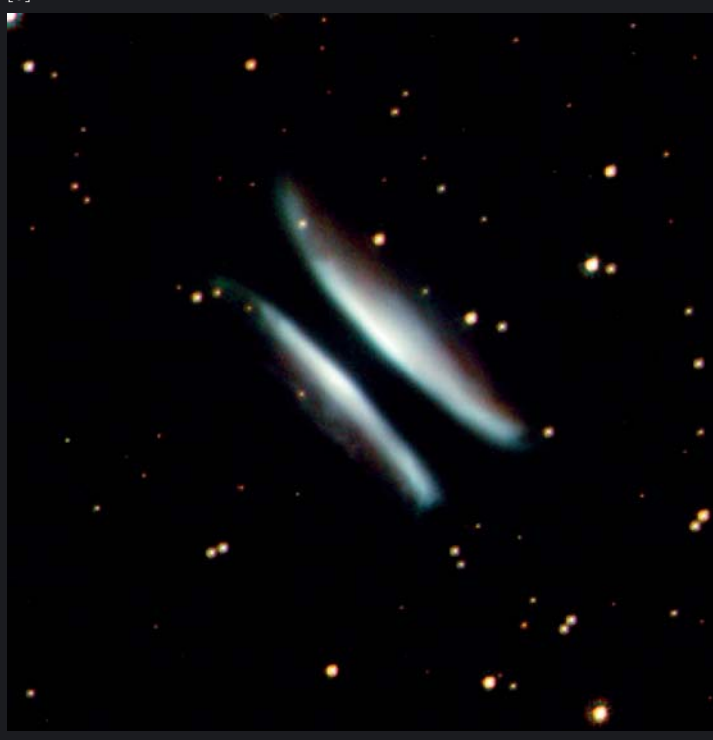
[4] **Туманность Бумеранг**
Планетарная туманность
ESO 172-07
Туманность Бумеранг — самое холодное место во Вселенной, ее температура всего на один градус выше абсолютного нуля (–272 градусов Цельсия или –458 по Фаренгейту). Этот межзвездный холодильник образован необычно быстрым расширением газа и пыли, выбрасываемых умирающей звездой в центре.
Расстояние: 5000 световых лет.

[1]



[2]

[3]



Планетарные туманности

Предсмертное цветение солнцеподобных звезд — одно из самых прекрасных зрелищ во Вселенной.

Рано или поздно у всех звезд кончается горючее. У звезд типа Солнца это происходит, когда в их ядрах истощаются запасы гелия. Когда горение гелия переходит в околоядерную оболочку, оно идет по той же схеме, по какой перед этим шло горение водорода. Общие свойства звезды начинают меняться так же, как они менялись, когда в ядре закончился водород: звезда становится гораздо ярче, лучевое давление раздувает ее верхние слои, и она снова превращается в красный гигант. Тем временем ядро медленно сжимается под действием собственного веса, становясь горячее и плотнее. Однако у звезд солнечной массы температура и давление в ядре никогда не повышаются настолько, чтобы мог начаться термоядерный синтез более тяжелых элементов. Поэтому ничего похожего на «гелиевую вспышку», которой заканчивается первая фаза красного гиганта, на этот раз не происходит. По мере того как горение водорода и гелия захватывает всю область высокой плотности вокруг ядра, пульсации звезды усиливаются, и наконец происходит кризис — они становятся так сильны, что внешние слои звезды, преодолевая ее притяжение, выбрасываются в пространство.

Когда звезда постепенно сбрасывает свои внешние слои, температура ее поверхности растет и может превысить 100 000 градусов Цельсия (180 000 по Фаренгейту). Мощное излучение умирающей звезды возбуждает газ в расширяющихся оболочках и заставляет его светиться с цветовым оттенком, характерным и для эмиссионных туманностей. Звезда разрушается неожиданно быстро — несколько тысяч лет по сравнению с ее жизненным циклом ничего не значат. С каждой пульсацией из звезды выбрасывается все больше вещества, и действие ее притяжения на внешние слои неуклонно ослабевает.

Разнообразие планетарных туманностей почти безгранично, как и разнообразие звезд, которые их порождают. Хотя время их существования невелико — они рассеиваются в пространстве, охлаждаются и гаснут всего за несколько тысяч лет, — они остаются одними из самых красивых объектов на небе.

Классическая планетарная туманность — сферическая газовая оболочка, которая с любой стороны обычно выглядит кольцом. Как и в случае мыльного пузыря, мы смотрим сквозь тонкую пленку его поверхности, не замечая ее, а видим только края, где толща вещества на луче зрения больше.

Но простые «пузыри» являются скорее исключением, чем правилом. Планетарные туманности часто образуют две или больше полостей, пересекающиеся кольца и огромные радиальные уплотнения газа, похожие на гигантские кометы. Причин появления таких особенностей столько же, сколько и самих особенностей. Одно из наиболее распространенных осложнений — присутствие звезды-компаньона или протопланетного пылевого диска, которые влияют на расширение сброшенных оболочек. Еще одно типичное объяснение сложной структуры туманности — взаимодействие между свежесброшенными быстролетящими оболочками и медленными, более старыми и уже остывшими почти до невидимости.

[4]

Туманность Улитка
Планетарная туманность
NGC 7293
Улитка — самая близкая к нам планетарная туманность и одна из самых больших: ее протяженность — 2,5 светового года. Лес похожих на щупальца волокон на внутренней кромке туманности — глобулы пыли и газа, разрушаемые горячим звездным ветром от обреченной звезды.
Расстояние: 450 световых лет.

[1]

[2]
[3]

[6] **Туманность Муравей**
Планетарная туманность
Mz 3
Звездный ураган, несущийся с огромной скоростью 3 600 000 км/ч, гонит перед собой внешние оболочки звезды.
Расстояние: 3000 световых лет.

[6]

[4]

[5]

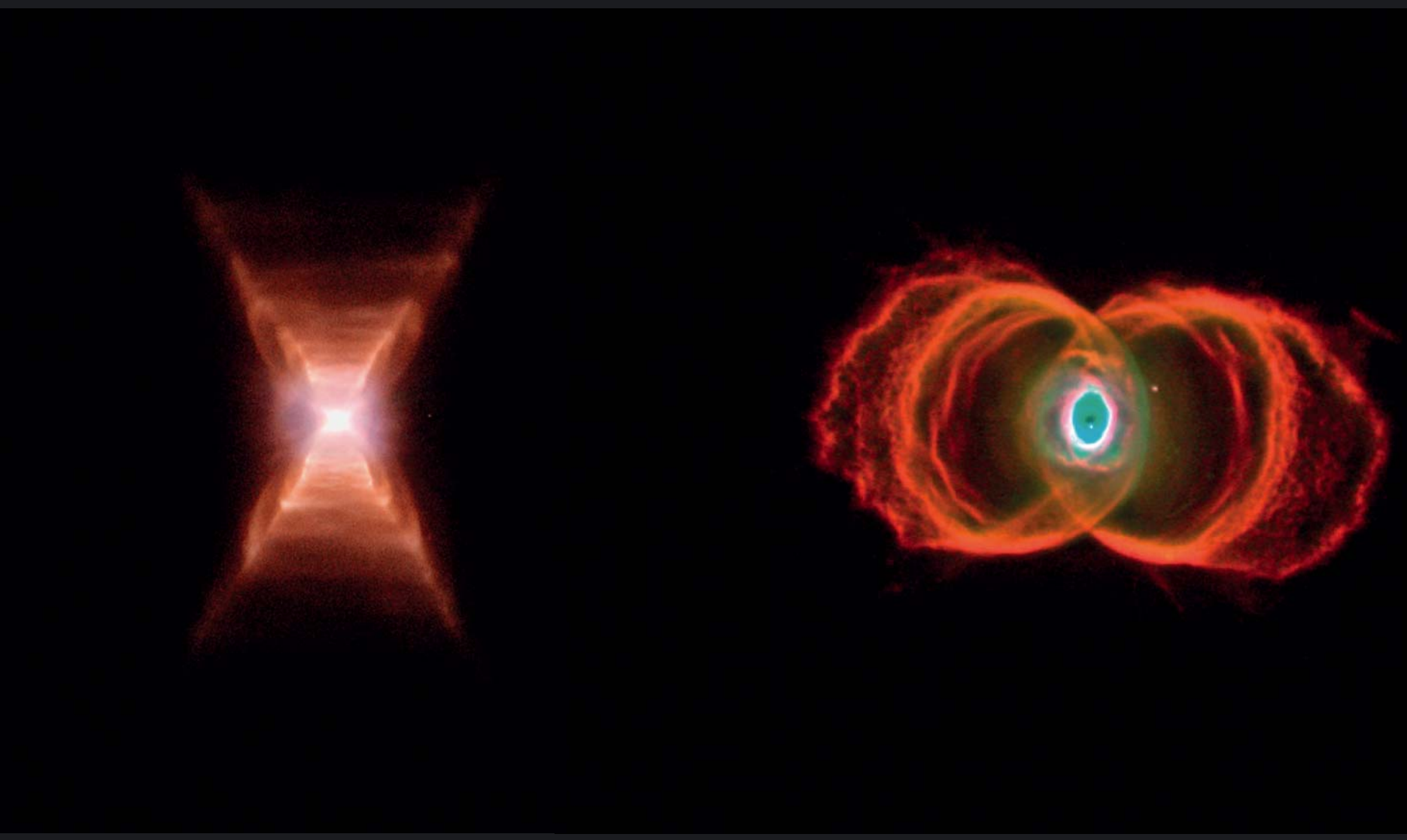
[1] **Туманность Эскимос**
Планетарная туманность
NGC 2392
Биполярная планетарная туманность, видимая «с ребра», напоминает голову эскимоса в парке. Оранжевый «мех» парки (каждый волосок длиной в световой год), вероятно, образован медленно движущимися глобулами газа, разрушаемыми более быстрым (1 500 000 км/ч, или 900 000 миль в час) потоком вещества из центральной звезды.
Расстояние: 5000 световых лет.

[2]
NGC 6751
Планетарная туманность
Планетарные туманности эфемерны. В звездном масштабе их жизнь длится какой-то миг (50 000 лет), а их типичная плотность — 1000 частиц на кубический сантиметр — в триллион триллионов раз меньше плотности воздуха.
Расстояние: 6500 световых лет.

[3] **Туманность Маленькое Привидение**
Планетарная туманность
NGC 6369
Планетарных туманностей каталогизировано более 1500, но в Галактике их на много тысяч больше — 95% всех звезд уходят с главной последовательности и заканчивают жизнь, образуя планетарную туманность.
Расстояние: 2000 световых лет.

[4] **Туманность Сетчатка**
Планетарная туманность
IC 4406
Туманность Сетчатка, видимая сбоку, — тор, состоящий из водорода, кислорода, азота и большого количества пыли, разогретый излучением центральной звезды до состояния флюоресценции. Несмотря на то что в огромной области пространства, занятой туманностью, облака раскаленного газа с температурой 12 000 градусов Цельсия, несутся со скоростью 700 000 км/ч, планетарные туманности — просто ничто по сравнению с грандиозным масштабом сверхновых.
Расстояние: 1900 световых лет.

[5] **Туманность Восьми Вспышек**
Планетарная туманность
NGC 3132
Внешность обманчива: источник прозрачного свечения — слабый компаньон, а не яркая центральная звезда.
Расстояние: 2000 световых лет.



[1]

[2]

[3]

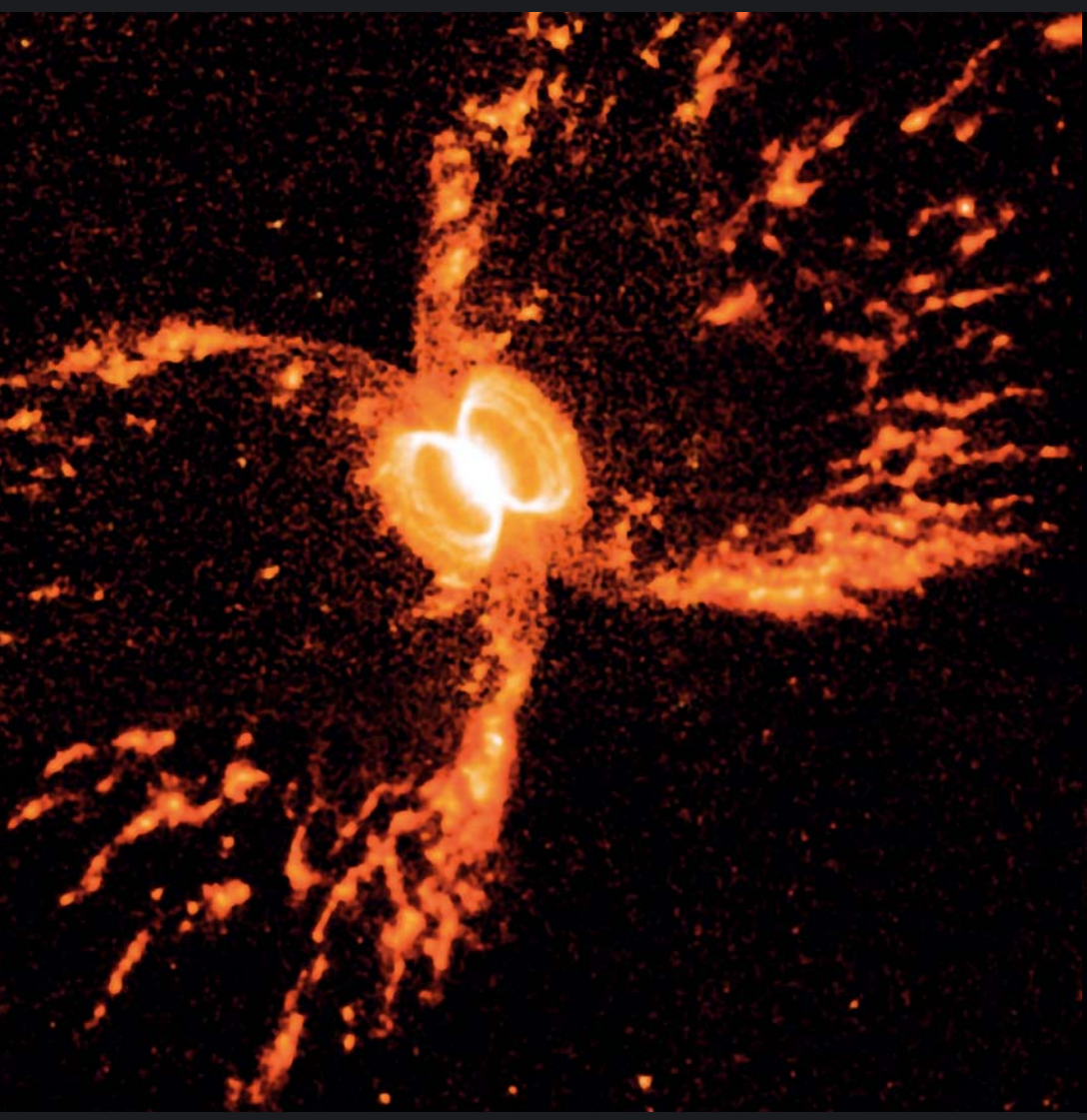
[4]

[1] **Красный Прямоугольник**
Планетарная туманность
HD 44179
Один из самых необычных объектов ночного неба, Туманность Красный Прямоугольник имеет линейную структуру, обусловленную гравитационным взаимодействием тесной пары звезд.
Расстояние: 2300 световых лет.

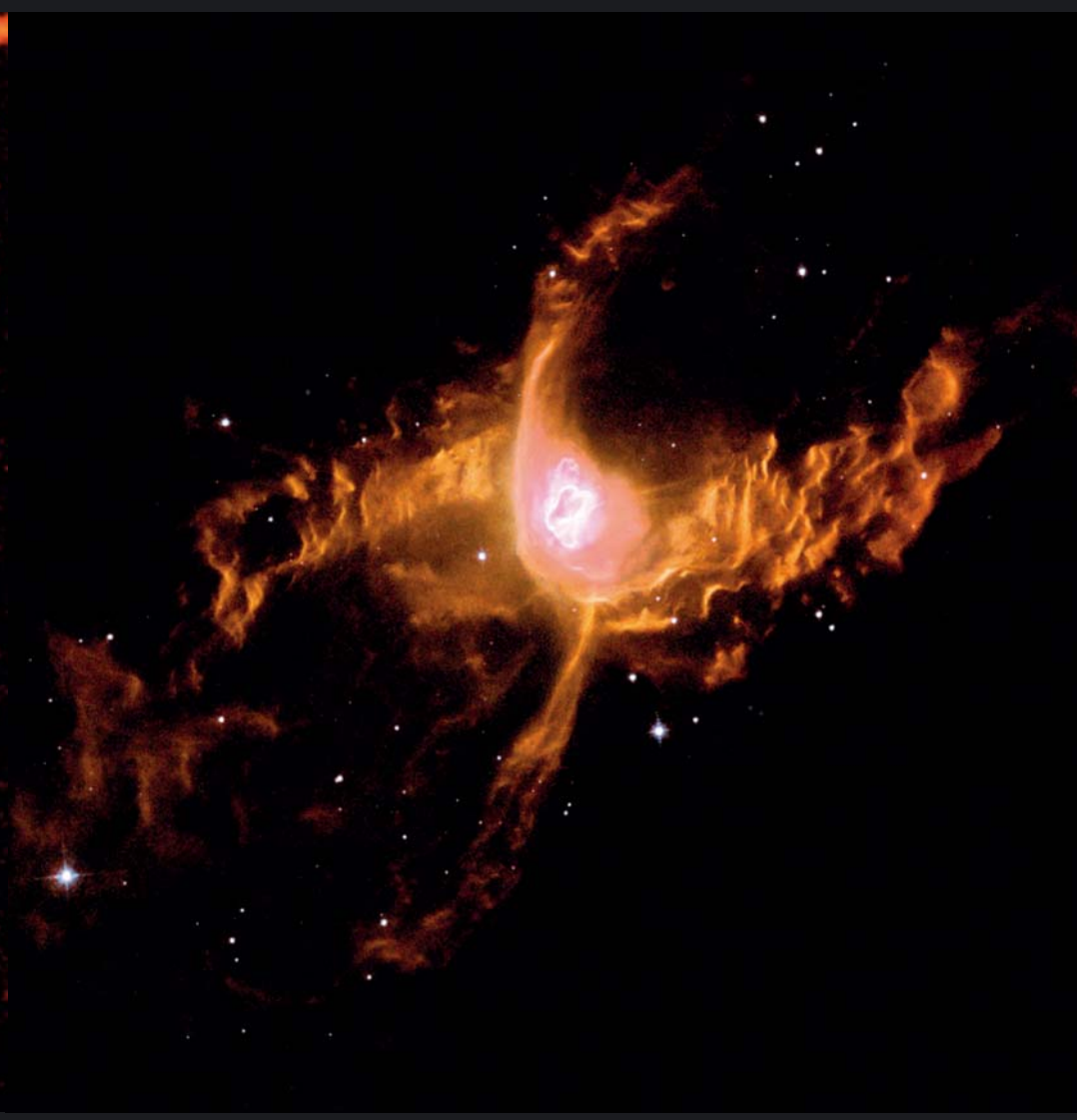
[2] **Туманность Песочные Часы**
Планетарная туманность
MyCn18
Симметрия Туманности Песочные Часы пока необъяснима. Возможно, она связана с выбросом массы вдоль линий магнитного поля или гравитационным взаимодействием с невидимым компаньоном.
Расстояние: 8000 световых лет.

[3] **Туманность Кошачий Глаз**
Планетарная туманность
NGC 6543
Объект в центре «глаза», как и во многих планетарных туманностях сложной структуры, может быть двойной системой. Вначале звезда сбросила свои внешние слои серией последовательных катаклизмов, результатом которых стали окружающие туманность 11 концентрических колец. Затем, примерно 1000 лет назад, картина изменилась: появился многолепестковый «цветок» с температурой во много миллионов градусов и далеко отстоящие от центра газовые узелки.
Расстояние: 3000 световых лет.

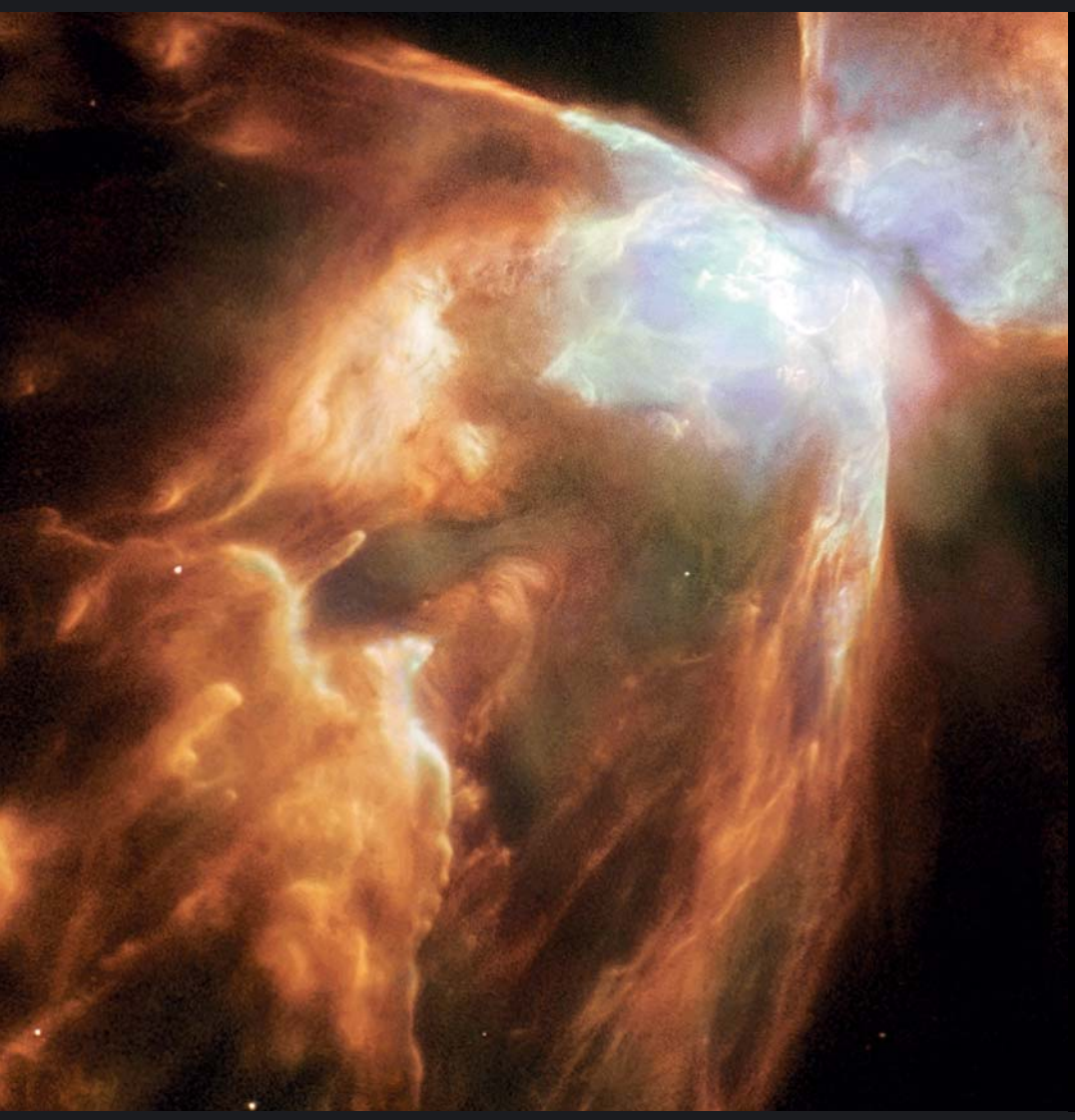
[4] **Туманность Двух Джетов**
Планетарная туманность
M2-9
Одинаковых планетарных туманностей не найти, как не найти двух одинаковых снежинок. Этот молодой объект (его возраст примерно 1200 лет) — биполярная туманность в форме бабочки, что считается типичным признаком наличия в ее центре двойной звездной системы. Биполярную структуру имеет примерно 10% планетарных туманностей.
Расстояние: 2100 световых лет.



[1]



[2]



[3]

[4]

[1] **Южная Крабовидная Туманность**
Планетарная туманность
He2-104
В центре этих вложенных друг в друга «песочных часов» белый карлик всасывает раздувшиеся внешние слои своего компаньона — красного гиганта. Заглатывая больше, чем он способен переварить, наш звездный вампир неоднократно выбрасывал из себя избыток вещества. Так образовались эти переплетающиеся светящиеся струи азота.
Расстояние: 2000 световых лет.

[2] **Туманность Красный Паук**
Планетарная туманность
NGC 6537
Это космическое паукообразное «вылепил» звездный ветер от самого горячего из всех известных нам белых карликов. Летя со скоростью более 1000 км в секунду, этот ветер создал газовую волну высотой в 100 миллиардов км. Температура звезды 500 000 градусов Цельсия (900 000 по Фаренгейту), а волна чуть тепленькая: 10 000 градусов Цельсия (18 000 по Фаренгейту).
Расстояние: 4000 световых лет.

[3] **Туманность Жук**
Планетарная туманность
NGC 6302
Туманность Жук — так получилось — находится как раз на жале Скорпиона. Это водоворот огня и льда. Ее центральная звезда, раскаленная до 250 000 градусов Цельсия (450 000 по Фаренгейту), скрыта плотным «бубликом» из пылевых частиц. Вокруг них кристаллизовалась вода — звезда окутана тучей града.
Расстояние: 4000 световых лет.

[4] **Туманность Бабочка**
Планетарная туманность
NGC 2346
Эта биполярная туманность скрывает еще один случай звездного каннибализма. На сей раз красный гигант проглотил своего соседа. После его расширения звезда-компаньон очутилась у него внутри, но успела сбросить газовую оболочку в виде диска, который излучение гиганта раздуло в две отдельные полости.
Расстояние: 2000 световых лет.

[1]

[2]

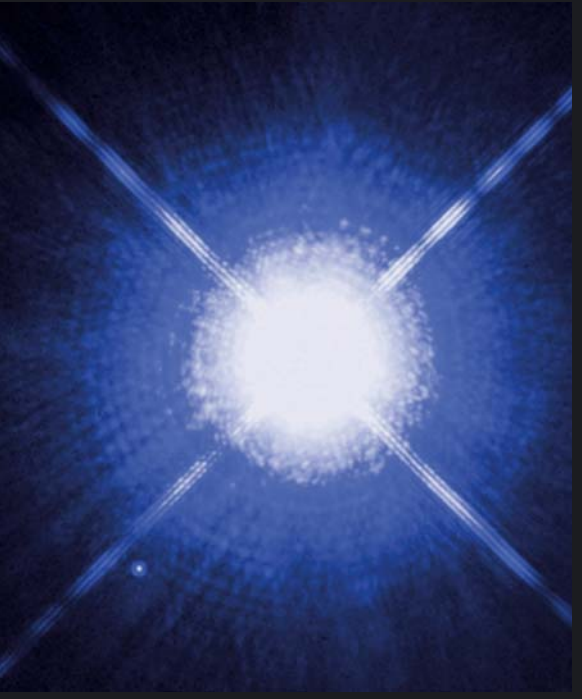
[3]

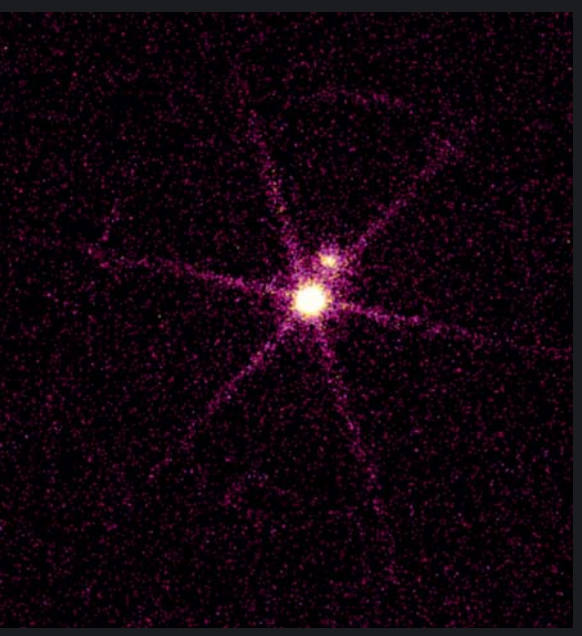
[1] **Мерцающая Туманность**
Планетарная туманность
NGC 6826
Планетарные туманности расцветают на небе лишь на несколько миллионных долей от времени жизни звезды. Во мгновение ока — по галактическим меркам — от этой туманности останется одно воспоминание. В белых карликах прекратилось ядерное горение, и теперь они не более чем догорающие звездные угли — за несколько тысячелетий они остынут, перестанут ионизировать окружающее их газовое облако, и туманность погаснет.
Расстояние: 2200 световых лет.

[2] **Туманность Спирограф**
Планетарная туманность
IC 418
Эта молодая туманность обязана своим сходством с драгоценным камнем непредсказуемым флюктуациям центральной звезды. Десятая часть светового года — размер для планетарной туманности небольшой, но все же она во много раз больше нашей Солнечной системы.
Расстояние: 2000 световых лет.

[3] **Туманность Кольцо**
Планетарная туманность
M57
Эта туманность очень похожа на Улитку (см. с. 126). Такие объекты очень важны для галактической «экосистемы». Разлетаясь в пространстве, они обогащают межзвездную среду продуктами термоядерного синтеза — углеродом, азотом и кислородом, — создавая тем самым материал для новых поколений звезд, планет и живых существ.
Расстояние: 2200 световых лет.

[На соседней странице]
Спиральная Планетарная Туманность
Планетарная туманность
NGC 5189
Переплетающиеся ленты светящегося газа в этой планетарной туманности — признак сложных процессов в ее центре. Умирающая центральная звезда периодически выбрасывает в разных направлениях газовые струи, как гигантская машина для поливки газонов, и при этом, возможно, под влиянием неподтвержденной звезды-компаньона, испытывает биения.
Расстояние: 2500 световых лет.





[1]
[2]

[3]

Белые карлики

Медленно остывающее звездное ядро размером с планету — все, что остается от звезды типа Солнца в конце ее жизни.

Белые карлики — конечная стадия эволюции звезд типа Солнца. После того как они проходят стадию второго красного гиганта, в них развивается растущая неустойчивость, и они сбрасывают внешние оболочки, которые, как мы видели, образуют планетарные туманности. От самой же звезды остается только ядро. Как только каскад термоядерных реакций заканчивается, стремлению ядра сжаться под действием собственной тяжести противостоит только тепловая энергия его частиц и обусловленное ею давление. Ядро звезды теперь представляет собой смесь ядер водорода, гелия и более тяжелых элементов, таких как углерод, погруженных в «море» электронов.

Охлаждаясь, звездное ядро постепенно сжимается все сильнее. Наконец, когда оно становится размером с Землю, так называемое давление вырожденных электронов, которое не позволяет им слишком приблизиться друг к другу, возрастает настолько, что дальнейшее сжатие прекращается.

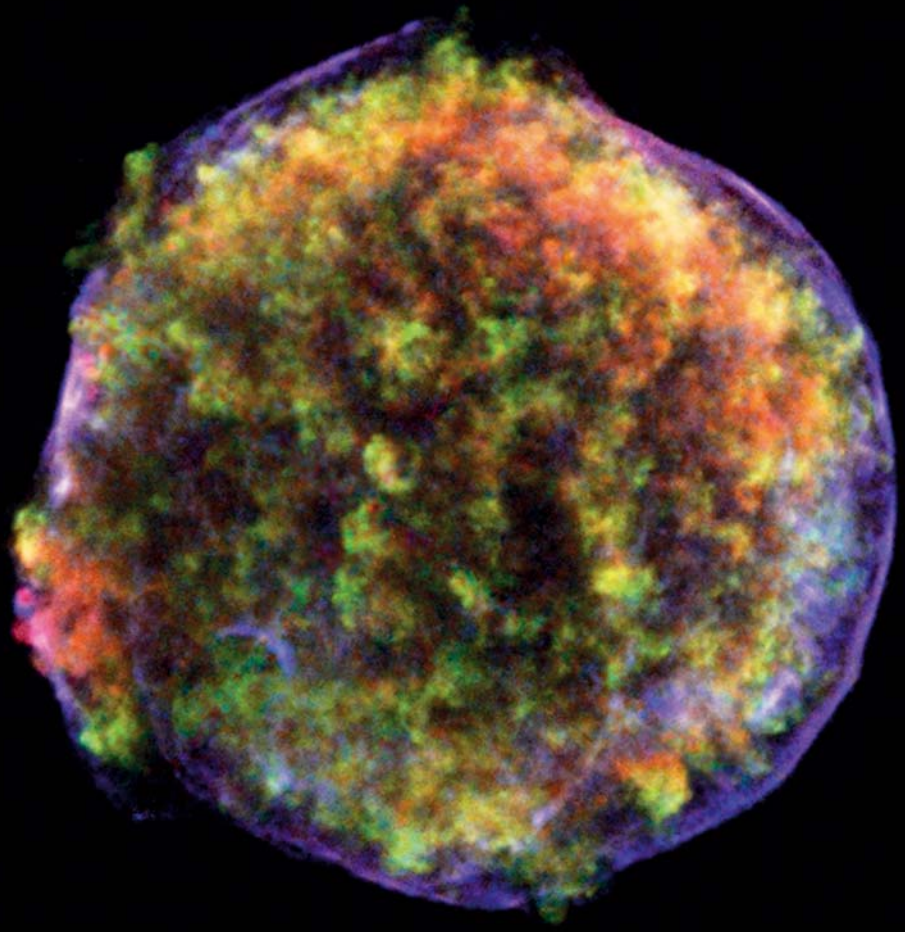
Интересно, что, хотя у звезды больше нет никакого источника энергии, поверхность белого карлика может быть гораздо горячее, чем была у звезды прежде, — 100 000 градусов Цельсия (180 000 по Фаренгейту), а то и больше. Однако, так как площадь этой поверхности очень мала, общий поток ее излучения незначителен. Поэтому белые карлики — очень слабые звезды.

Белый карлик остывает миллионы лет, и в его недрах происходит много интересного. Например, углеродные атомы в его центре соединяются в кристаллы, а при таком огромном давлении у этих кристаллов может быть только одна форма — алмаз.

За миллиарды лет свечение белого карлика затухает и наконец совсем прекращается. Он становится черным карликом, внутри которого — алмаз размером с планету.

[1] [2] **Сириус B**
Белый карлик
HD 48915 B
В видимых лучах [1] Сириус A — самая яркая звезда нашего ночного неба. Она намного ярче своего маленького и тусклого спутника, звезды Сириус B (слева внизу). Но в рентгеновском диапазоне [2] белый карлик оказывается заметнее. Сириус B чуть меньше Земли по диаметру, а масса у него, как у Солнца, и сила тяжести на его поверхности в 400 000 раз больше, чем на Земле.
Расстояние: 8600 световых лет.

[3] **Ядро NGC 2440**
Белый карлик
HD 62166
В центре планетарной туманности NGC 2440 находится один из самых горячих белых карликов: температура его поверхности 200 000 градусов Цельсия (360 000 по Фаренгейту), в 40 раз горячее Солнца. Этот жар вызван не ядерным горением — горючее у звезды закончилось, — а гравитационным сжатием.
Расстояние: 4000 световых лет.



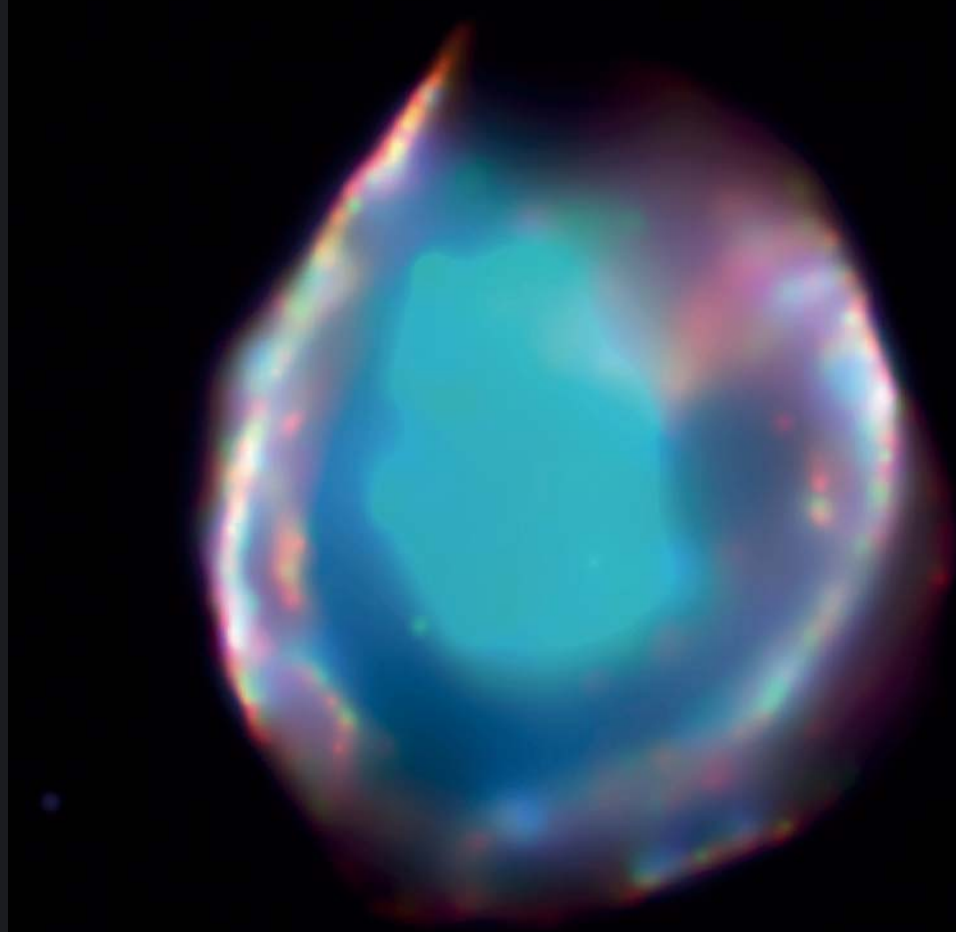
[4]

[4] **Сверхновая Тихо**
Остаток сверхновой
SNR 1572
Это облако звездной пыли — остаток сверхновой типа Ia, вспышку которой видел датский астроном Тихо Браге 11 ноября 1572 года. Сейчас эта туманность диаметром 20 световых лет продолжает расширяться с огромной скоростью в 25 миллионов км/ч. Расстояние: 7500 световых лет.

[5] **DEM L71**
Остаток сверхновой
Свет от взрыва, который создал этот раскаленный до 10 миллионов градусов Цельсия (18 миллионов по Фаренгейту) газовый пузырь, достиг Земли много тысячелетий назад. Анализ размера и состава облака говорит о том, что это была сверхновая типа Ia — взрыв белого карлика. Расстояние: 160 000 световых лет.

[6] **SN 1994D**
Сверхновая типа Ia
После путешествия длиной в 108 миллионов лет свет от катастрофического взрыва белого карлика на краю спиральной галактики NGC 4526 наконец достиг Земли в марте 1994 года (слева внизу). На короткое время вспышка затмила блеск всей этой галактики. Выделившаяся энергия была эквивалентна 200 миллионов триллионов триллионов мегатонн тротила. Расстояние: 108 миллионов световых лет.

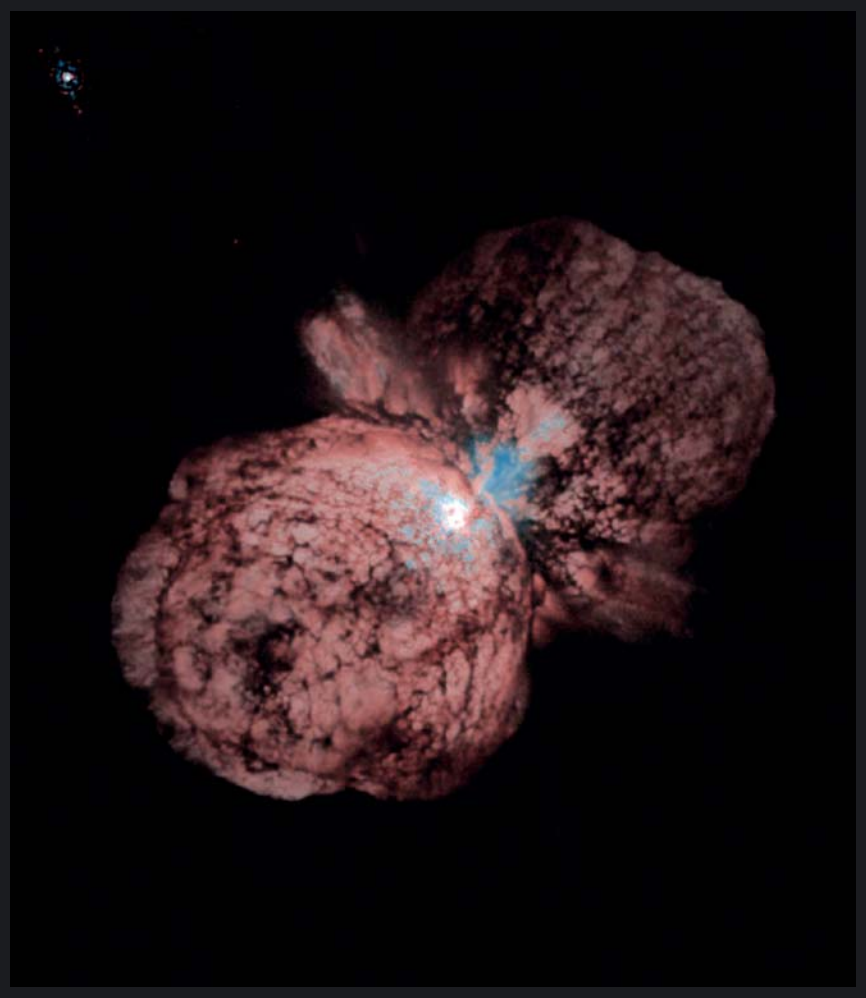
• Сверхновые типа Ia
Если белый карлик расположен очень близко к другой звезде, он может быстро и катастрофически «воскреснуть». Когда его звезда-компаньон в конце жизни расширяется, превращаясь в гиганта, ее внешняя атмосфера может оказаться в зоне гравитационного влияния белого карлика. Жадно втягивая в себя вещество своего партнера, он обычно становится катаклизмической переменной — «новой» звездой (см. с. 120). Но в редких случаях он может превзойти предел в 1,4 солнечной массы, а звезда с массой выше этого значения превращается в еще более плотный объект — нейтронную звезду (см. с. 144). И если белый карлик стянет на себя достаточно вещества, чтобы перейти этот так называемый предел Чандрасекара, произойдет внезапная катастрофа — гравитационный коллапс. Превращаясь в нейтронную звезду, белый карлик обрушится внутрь себя, выделив при этом колоссальное количество излучения. Этот звездный взрыв с характерной картиной роста и падения блеска называется вспышкой сверхновой типа Ia. Количество энергии, которое при этом выделяется, всегда постоянно — поэтому сверхновые Ia стали бесценным средством определения межгалактических расстояний.



[5]

[6]

[1]



[2]

Сверхгиганты

Массивные звезды горят очень ярко, но недолго: всего несколько миллионов лет.

Огромное большинство звезд — либо слабые, медленно расходующие энергию карлики, либо солнцеподобные звезды, которые, если даже они немного массивнее и ярче Солнца, следуют той же эволюционной схеме. На протяжении большей части жизни они сохраняют один и тот же размер, цвет и блеск, а когда их ядерное горючее начинает иссякать, раздуваются, охлаждаются и становятся оранжевыми или красными гигантами.

Но есть небольшая доля звезд, которые можно смело назвать сверхзвездами, — их массы так велики, что они проходят совершенно иной путь развития. Из-за гигантского веса вещества, сжимающего эти звезды, температуры в их ядрах превышают 20 миллионов градусов Цельсия (36 миллионов по Фаренгейту), что гораздо выше, чем температура солнечного ядра. В этих экстремальных условиях в ядре преобладает новый тип ядерного горения: вместо гелия из водородных ядер синтезируются тяжелые элементы, такие как углерод, а из них — еще более тяжелые, в том числе азот и кислород. Затем кислород расщепляется, снова образуя углерод плюс ядро гелия.

Астрономы называют этот процесс термоядерным CNO-циклом, в отличие от обычного протон-протонного (p-p) горения. Это различие может показаться чисто академическим, но дело в том, что в ходе CNO-цикла гелий образуется гораздо быстрее. Ускорение реакции означает, что звезда светит гораздо ярче, но и расходует свое ядерное горючее быстрее. Углерод выполняет роль катализатора, как в обычной химической реакции, — ускоряет ее ход, сам оставаясь в конечном счете неизменным.

CNO-синтез идет во всех звездах, но в звездах типа Солнца доминирует (p-p)-цикл. В самых массивных звездах CNO-горение может сжечь весь запас водорода в их ядрах всего за несколько миллионов лет. Излучение вырывается из звезды с такой интенсивностью, что она увеличивается в размерах до пропорций красного гиганта. По мере расширения звезды температура ее поверхности падает, но из-за огромной энергии излучения цвет звезды все равно остается преимущественно голубым, белым или желтым.

Самые горячие звезды могут изменяться даже в ходе короткой фазы сжигания водорода. Звезды Вольфа — Райе — эффектные белые сверхгиганты, звездный ветер от которых так силен, что может сдуть в пространство их собственные внешние слои. Из-за этого такие звезды за время нахождения на главной последовательности теряют до половины своей массы — иногда целых 50 масс Солнца. Звезды Вольфа — Райе окружены светящимися остатками своих атмосфер, часто богатых тяжелыми элементами: углеродом, азотом и кислородом.

Звезды, достигающие сверхгигантских размеров, обречены на быстрый и драматический конец. Если их расширение заходит еще дальше, они становятся красными сверхгигантами, самыми большими звездами во Вселенной. Диаметры таких звезд так велики, что, если бы такая звезда оказалась на месте Солнца, внутрь нее попала бы орбита Сатурна (2,9 миллиарда км.) Старые сверхгиганты становятся все более неустойчивы и сбрасывают в пространство массивные оболочки, которые часто затмевают саму звезду. Скрывшись внутри образовавшегося кокона, она неуклонно приближается к заключительной точке своей истории — взрыву сверхновой.

[1] **Туманность Киля**
Эмиссионная туманность
NGC 3372
Очень массивные звезды в конце концов разрушают молекулярные облака, которые их порождают. В центре такой разрушительной сцены — звезда Эта Киля [2], в 100 раз более массивная, чем Солнце, и в 4 миллиона раз ярче. Это одна из самых массивных и ярких звезд в Галактике.
Расстояние: 8000 световых лет.

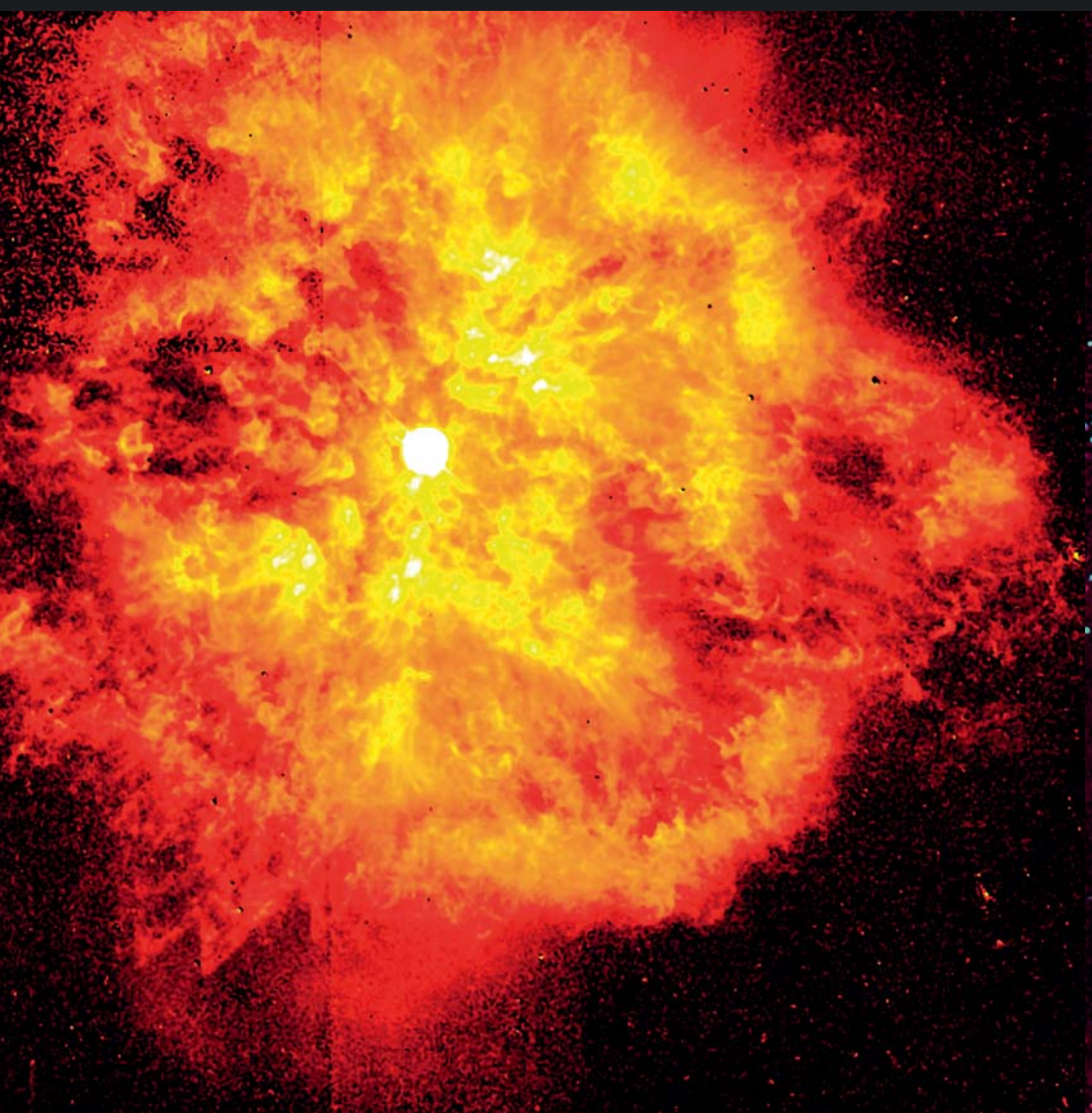
[2] **Эта Киля**
Голубой гипергигант
Гипергиганты светят ярко, но недолго. Мало какая из звезд могла бы сравниться с Этой Киля. Готовая взорваться в любой момент, она живет только благодаря тому, что почти с такой же мощью, как сверхновая, выбрасывает в пространство огромные массы вещества. Из них вокруг нее образовалась туманность размером 12 триллионов км и температурой 60 миллионов градусов Цельсия (108 миллионов по Фаренгейту).
Расстояние: 8000 световых лет.

[3] **Туманность Пузырь**
Эмиссионная туманность
NGC 7635
Этот турбулентный газовый пузырь раздувается звездным ветром от гипергигантской звезды, в 40 раз массивнее и более чем в 400 000 раз ярче Солнца. Скорость ветра 7 миллионов км/ч.
Расстояние: 7100 световых лет.

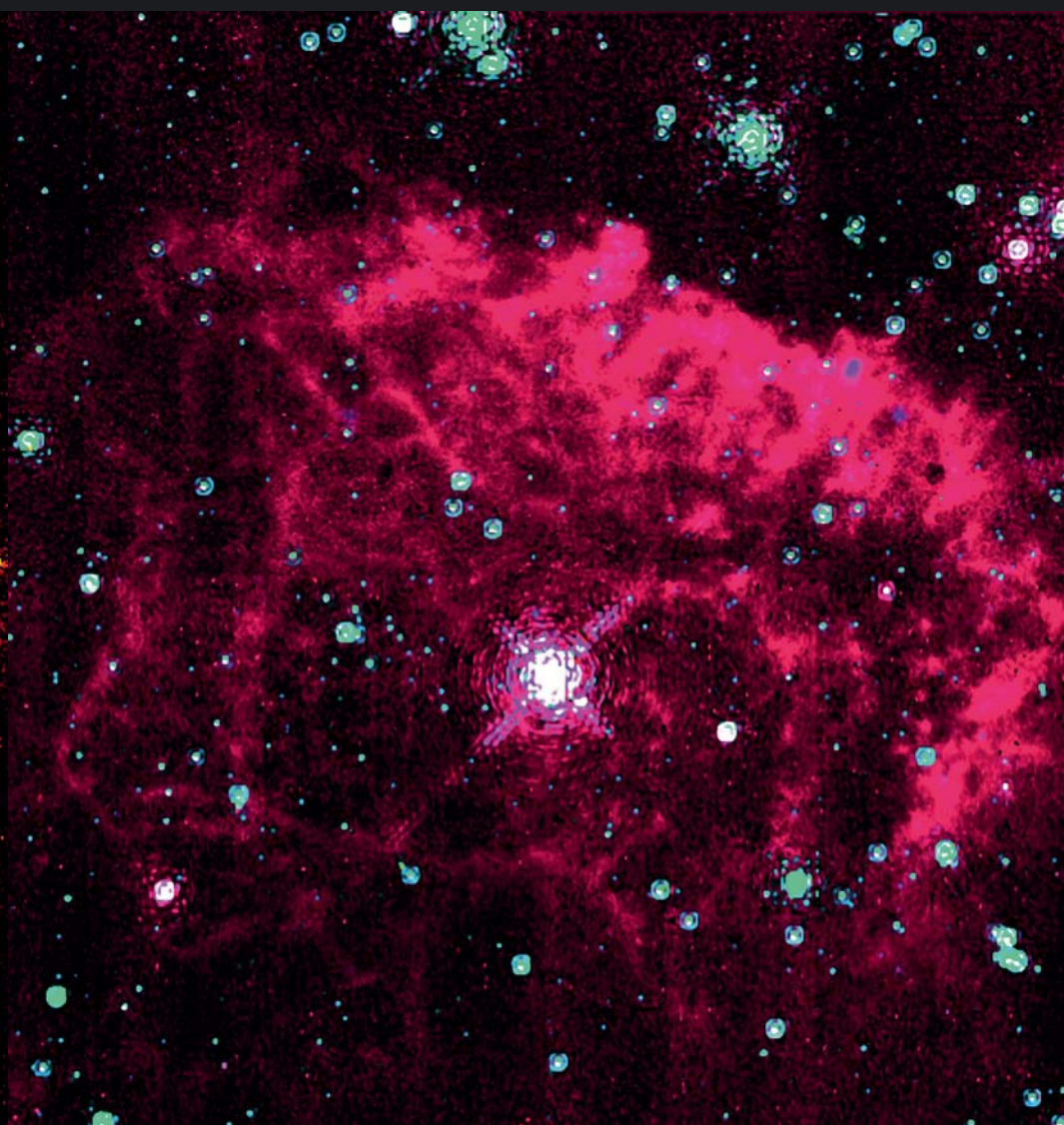
[4] **WR 124**
Звезда Вольфа — Райе
WR 124
Звезды Вольфа — Райе балансируют на грани взрыва сверхновой. Может показаться, что WR 124 уже взорвалась, но это у нее еще впереди. Равновесие этой звезды поддерживает невероятно мощный звездный ветер, в 10 миллиардов раз мощнее солнечного.
Он срывает с ее поверхности струи вещества длиной 160 миллиардов км.
Расстояние: 15 000 световых лет.

[5] **Звезда Пистолет**
Голубой гипергигант
G0.15-0.05
Звезда Пистолет — ярчайшая звезда Галактики. Она размером с орбиту Земли и в 25 миллионов раз ярче Солнца. За 1,25 секунды она излучает столько энергии, сколько Солнце за целый год.
Она так горяча, что тяготение не может обеспечить ее равновесие, и уже выбросила в пространство большую часть своей исходной массы, образовавшей окружающую ее туманность.
Расстояние: 25 000 световых лет.

[3] [4]



[5]



Сверхновые

Когда умирают самые массивные звезды во Вселенной, они уходят во всем блеске своей мощи — взрываясь с огромной силой.

По-настоящему массивные звезды, с массой более восьми солнечных, в конце жизни взрываются. Вместо того чтобы просто увеличиться в размерах, стать красными гигантами, сбросить внешние слои, образовав планетарную туманность, а потом превратиться в горячий крохотный белый карлик, эти звезды саморазрушаются. Взрыв такой звезды на короткое время затмевает всю ее галактику, разносит по Вселенной атомы тяжелых элементов и запускает процесс образования новых поколений звезд. Эти явления называются взрывами сверхновых.

В ядрах массивных звезд под воздействием колоссального давления внешних слоев температура становится гораздо выше, чем в центре звезд типа Солнца. На протяжении большей части жизни такой звезды при этих температурах идут реакции CNO-цикла. Поэтому гигантские звезды такие яркие и горячие, а запасы их ядерного топлива истощаются всего за несколько миллионов лет.

Но когда такая звезда приближается к концу своей эволюции, на первый план выходят ядерные реакции нового типа. Водородное горение прекращается в ядре, переходя в окружающие его оболочки, а само ядро сжимается, и в нем начинается горение гелия. Эти внутренние перемены сопровождаются увеличением размеров звезды до состояния красного гиганта, как это происходит и с солнцеподобными звездами. Однако в массивной звезде часы, отсчитывающие время ее жизни, тикают гораздо чаще — если у нашего Солнца фаза гелиевого горения займет, вероятно, несколько миллионов лет, звезда, которой суждено стать сверхновой, израсходует гелий в своем ядре всего за миллион лет.

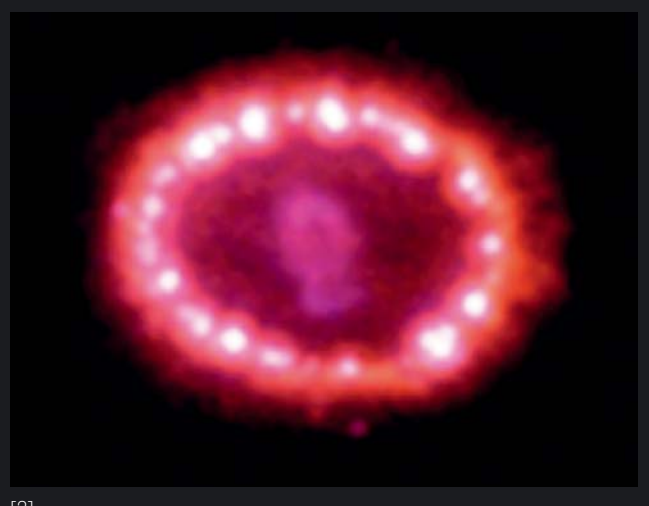
Маломассивной звезде приходит конец, когда запасы гелия в ее ядре истощаются и ядерное горение переходит в околоядерную оболочку. Но в ядре массивной звезды давление так велико, что возможен термоядерный синтез и более тяжелых элементов. Впрочем, к этому времени звезда уже перешла последнюю черту и дни ее сочтены. Следующей волны синтеза, превращающей углерод в кислород и неон, может хватить еще лишь на тысячу лет. После нового расширения и сжатия ядра еще лет десять стабильности дарит звезде горение неона. Потом еще несколько лет она светит за счет горения кислорода. Но каждый из этих процессов порождает все более тяжелые элементы, а количество выделяемой при этом энергии падает. Роковым обстоятельством оказывается то, что при синтезе элементов тяжелее железа энергии выделяется меньше, чем поглощается.

Горение кремния оттягивает неизбежный конец еще на несколько дней, но одновременно и подготавливает его, отравляя ядро звезды железом. Когда горение прекращается, ядро снова сжимается и реакции возобновляются. Но тут и происходит катастрофа — вместо того чтобы выделять энергию, железо начинает ее поглощать. В ядре внезапно падает лучевое давление, которое противостояло колоссальной гравитации, и в течение нескольких десятых долей секунды ядро коллапсирует — резко сжимается до размеров белого карлика. Атомы железа распадаются и превращаются в «суп» из субатомных частиц. Лишенные поддержки изнутри, внешние слои звезды обрушиваются на съежившееся ядро и встречают на своем пути мощнейшую ударную волну: ядро испытывает кратковременную отдачу после коллапса, а при распаде тяжелых атомов железа излучается еще и поток нейтрино.

Ударная волна распространяется наружу сквозь толщу звезды, и давление взрыва ведет к резкому росту температуры. Вещество во внешних слоях звезды внезапно оказывается в еще более экстремальных условиях, чем существовавшие в ядре; в нем запускается масштабный всплеск термоядерных реакций, в которых образуются всевозможные элементы, в том числе и тяжелее железа. Этот «последний крик» сопровождается колоссальной вспышкой, которая затухает несколько недель. В ее максимуме блеск звезды возрастает во много тысяч раз и нередко затмевает всю ее материнскую галактику.

Взрывы такого типа называются вспышками сверхновых II типа, в отличие от сверхновых I типа, происходящих при кратком «воскрешении из мертвых» белых карликов (см. с. 137).

[1]



[2]

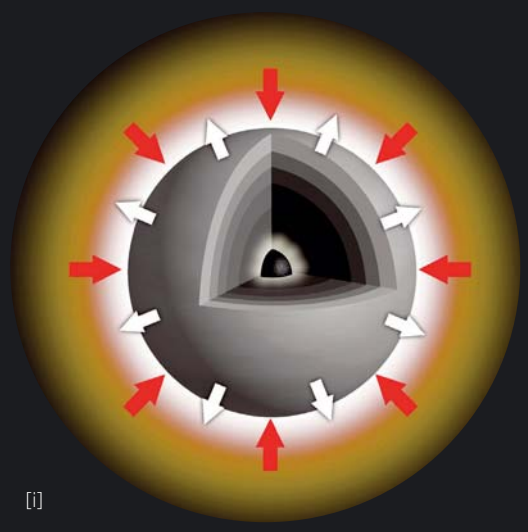
[1] **SN 1987A**
Сверхновая
Открытая 23 февраля 1987 года SN 1987A (в центре) несколько месяцев сияла как 100 миллионов Солнц. Хотя сейчас она ослабла, окружающие ее облака газа вскоре начнут светиться — их настигнет ударная волна с температурой 10 миллионов градусов Цельсия (18 миллионов по Фаренгейту), догоняющая их со скоростью 16 миллионов км/ч.
Расстояние: 170 000 световых лет.

[2] **SN 1987A**
Сверхновая
На этом снимке, полученном космическим телескопом «Хаббл», — кольцо вещества, выброшенного звездой за 20 000 лет до ее окончательной гибели и светящегося под воздействием ударной волны от сверхновой.
Расстояние: 170 000 световых лет.

[i] Когда массивная звезда приближается к концу жизни, ее равновесие обеспечивается ядерным горением кремния в центре ее слоистого ядра. Направленное наружу давление излучения поддерживает верхние слои звезды и уравновешивает силу тяжести.

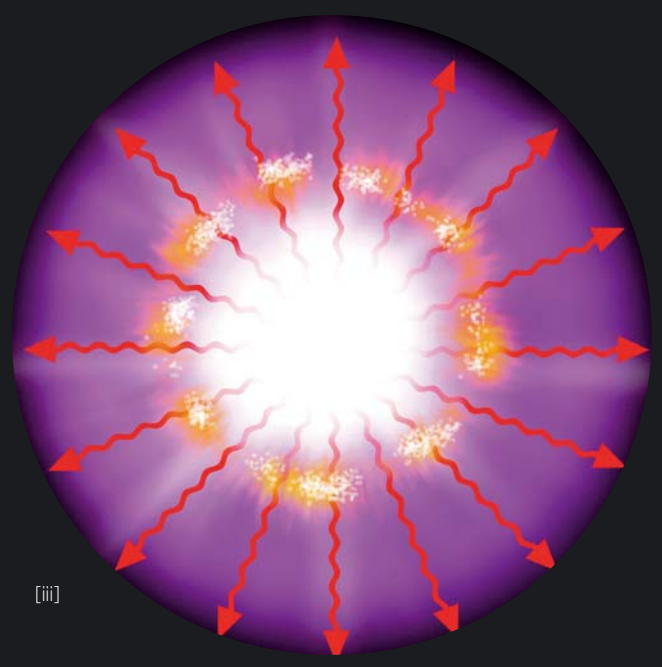
[ii] Когда кремний в ядре выгорает, начинается горение железа, при котором энергия не выделяется, а поглощается. Лучевое давление внезапно падает, и внутреннее ядро коллапсирует. Атомы железа в ядре разрушаются гигантским давлением и распадаются на субатомные частицы, генерируя краткий выброс нейтрино. Внешние слои звезды обрушиваются на ядро.

[iii] Когда коллапсирующие внешние слои встречаются с вновь расширяющимся после сжатия ядром, ударная волна огромной силы разрывает звезду на части. Внешние слои газа сжимаются и нагреваются, воспроизводя условия, существовавшие прежде в ядре, и вся звезда на короткое время превращается в термоядерную фабрику по производству тяжелых элементов, которые позже рассеиваются в пространстве.



[i]

[ii]



[iii]

Туманность Вуаль
Остаток Сверхновой
NGC 6960
Туманность Вуаль — рассеянный остаток одной, а возможно, и двух сверхновых, вспыхнувших 15 000 лет назад (см. также статью «Петля Лебедя» на с. 142).
Расстояние: 2600 световых лет.

[1]

[2]

[1] **SN 2004dj**
Сверхновая
SN 2004dj видна в правом верхнем углу снимка: взрыв звезды массой примерно в 15 масс Солнца. Хоть она и находится в другой галактике, по яркости ее легко спутать со звездой Млечного Пути, какой является ее соседка слева.
Расстояние: 12 миллионов световых лет.

[2] **Туманность Карандаш**
Остаток Сверхновой
NGC 2736
Эти облака — фронт космического цунами, которое 11 000 лет назад было порождено взрывом массивной звезды. За это время ударная волна сбавила скорость с первоначальных 35 миллионов км/ч до 500 000 км/ч, но ее мощь все еще столь велика, что на своем пути она заставляет светиться межзвездную среду.
Расстояние: 815 световых лет.

[3] **Петля Лебедя**
Остаток Сверхновой
NGC 6960/95
Через 15 000 лет после того, как она вырвалась в пространство, эта ударная волна от взрыва сверхновой наконец стала замедляться, хотя она и сейчас способна нагревать межзвездную среду до 50 000 градусов Цельсия (90 000 по Фаренгейту) и выше. Фронт волны достигает 80 световых лет в диаметре. Голубая полоска — по-видимому, шлейф газа, несущийся со скоростью 5 миллионов км/ч, выброшенный тем же взрывом, но только теперь догоняющий выдохшуюся волну. Петля в Лебеде известна и как Туманность Вуаль.
Расстояние: 2600 световых лет.

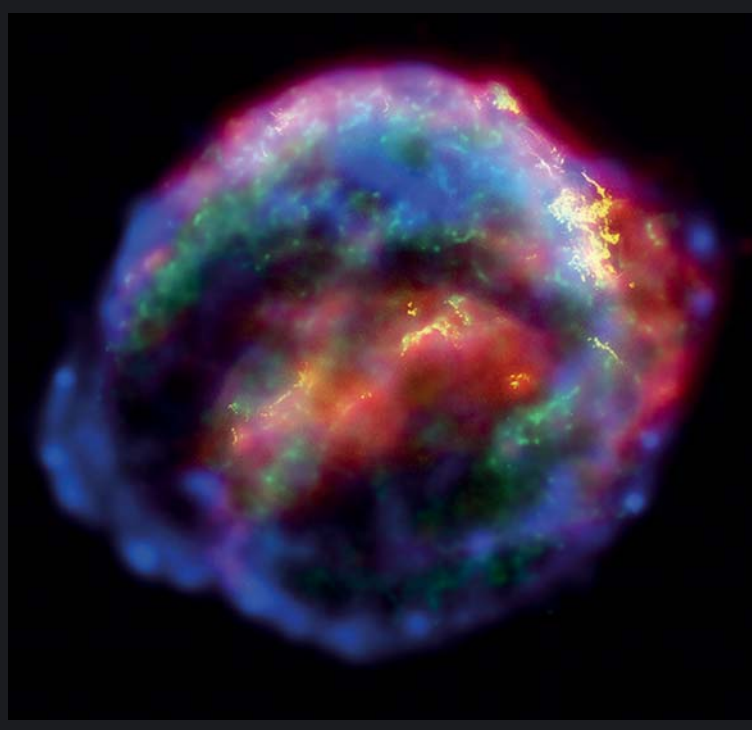
[4] [7] **Кассиопея А**
Остаток Сверхновой
SN 1680
Без звездной алхимии нас бы не существовало. Звезды обогащают разреженную водородно-гелиевую космическую среду углеродом, кремнием и железом, а в сверхновых с их температурами во много миллиардов градусов образуются и более тяжелые элементы. Эти изображения, полученные в оптическом [4] и многоволновом [7] режимах, позволяют заметить в богатом химическом составе остатка сверхновой Кассиопея А кислород, серу, кремний и железо.
Расстояние: 10 000 световых лет.

[5] **SN 1006**
Остаток Сверхновой
G327.6+14.6
Весной 1006 года н. э. астрологи Европы, Китая, Японии, Египта и Ирака заметили на небе новую звезду, настолько яркую, что ночью предметы, загораживавшие ее свет, отбрасывали тени. Ее было видно даже днем. В течение года сверхновая постепенно исчезла из виду. В 1965 году радиоастрономы зарегистрировали облако ее остатков.
Расстояние: 7000 световых лет.

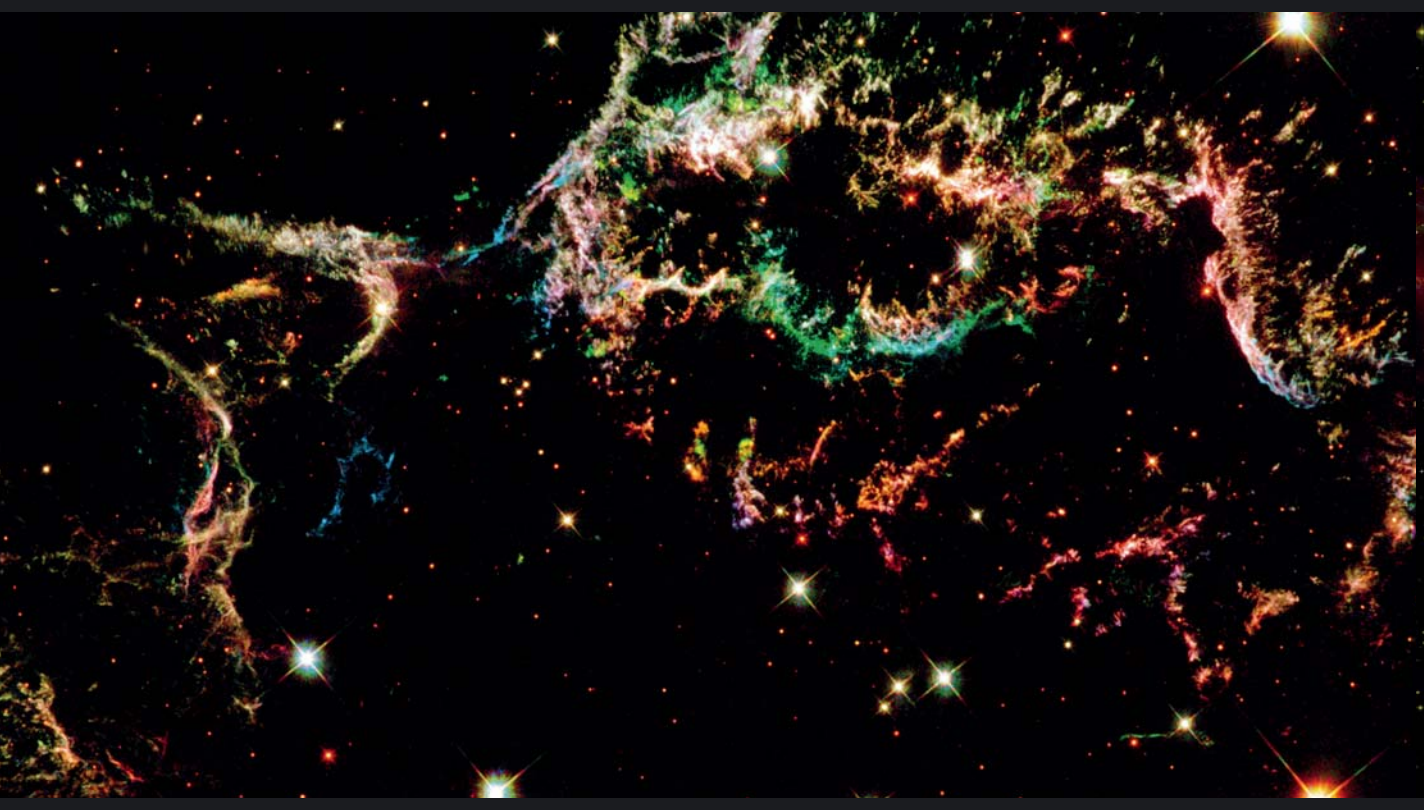
[6] **Сверхновая Кеплера**
Остаток Сверхновой
SN 1604
Последний раз вспышка сверхновой в нашей Галактике случилась в 1604 году; ее наблюдал Иоганн Кеплер. Теперь ударная волна этого взрыва шириной в 14 световых лет все еще несется в пространстве со скоростью 6 миллионов км/ч.
Расстояние: 13 000 световых лет.

[3]

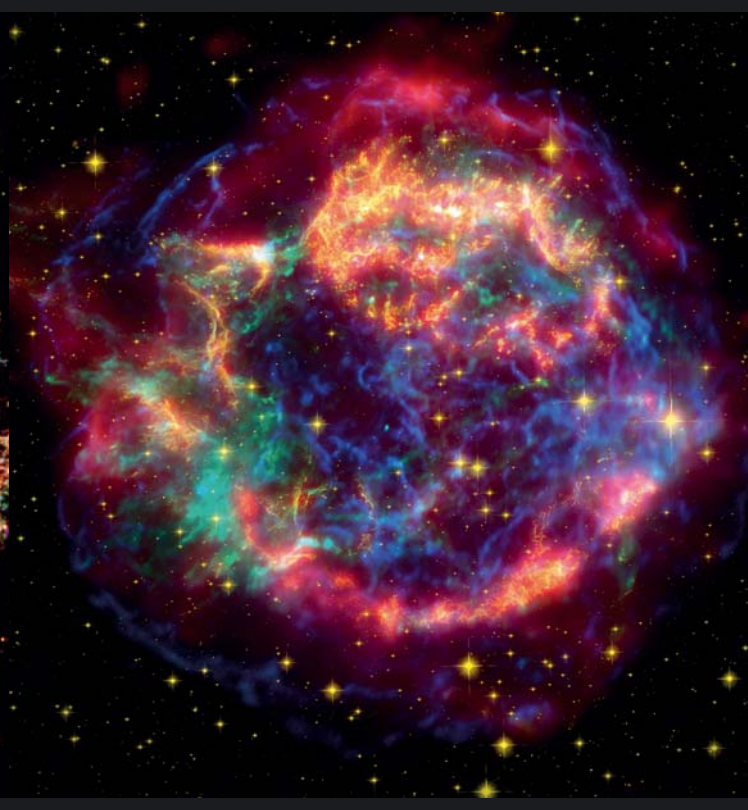
[5]



[6]



[4]



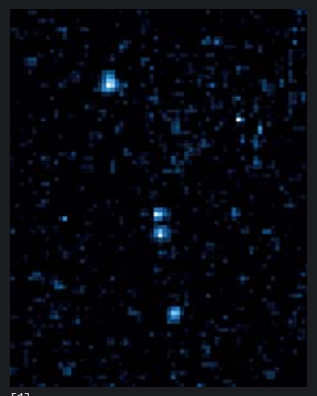
[7]

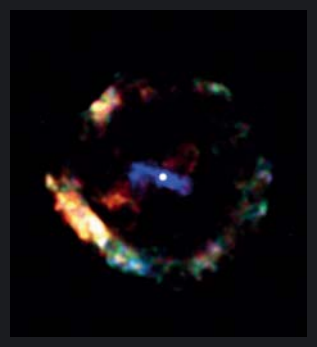
[1] **RX J1856.5-3754**
Нейтронная звезда
Три зернистые кляксы близ центра этого фото могут показаться не очень эффектными. Но они отражают быстрое — со скоростью 389 000 км/ч движение мертвой звезды размером с остров Манхэттен, но в 55 триллионов раз плотнее. Этот объект — образовавшаяся миллион лет назад в сердце сверхновой ближайшая к нам из известных нейтронная звезда.
Расстояние: 200 световых лет.

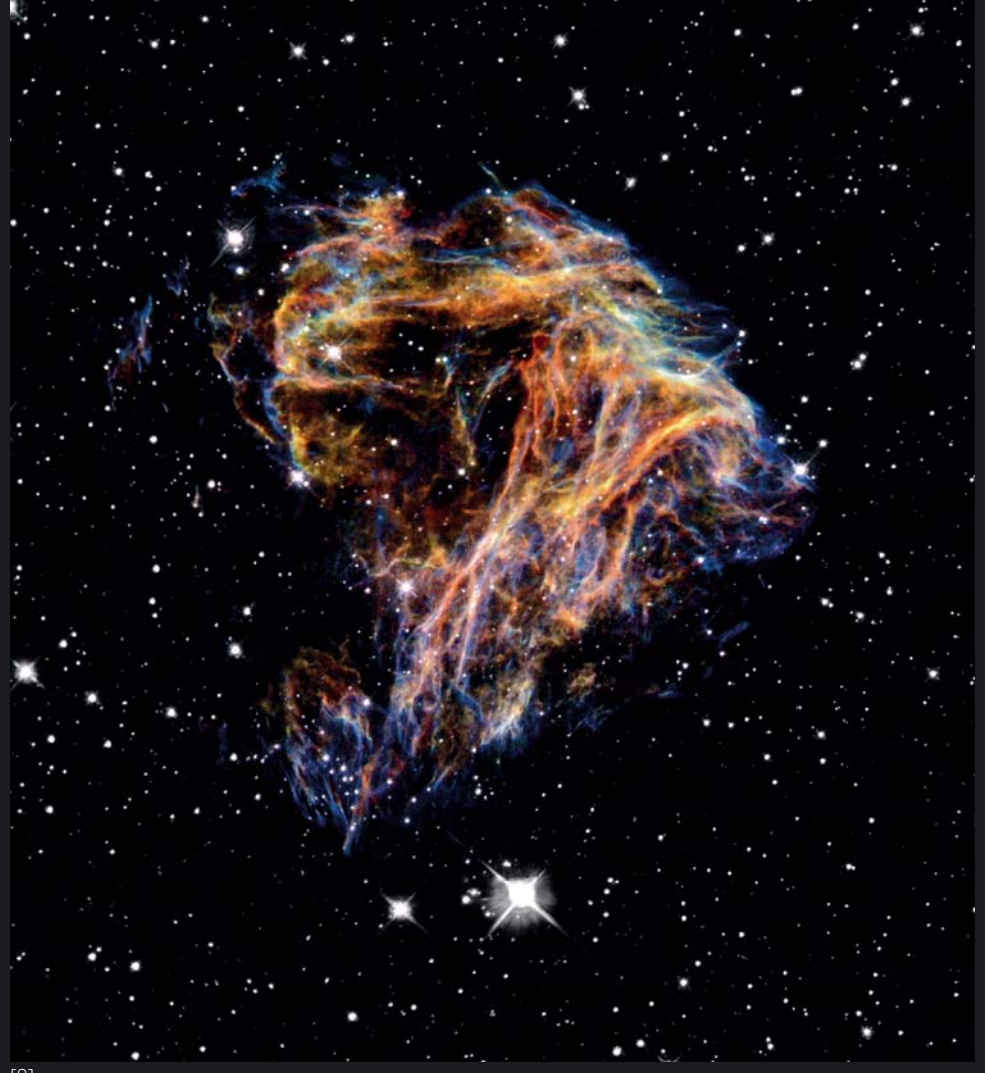
[2] **G11.2-0.3**
Пульсар
Пульсары не пульсируют. Они вращаются. Мы видим, как пульсар вспыхивает и гаснет, когда его луч чиркает по поверхности Земли — как луч маяка, который видят с палубы корабля моряки. Этот пульсар вращается всего 14 раз в секунду, относительно медленно, ведь самый быстрый из известных пульсаров делает в секунду более 600 оборотов. Эта нейтронная звезда осталась после взрыва сверхновой, наблюдавшегося китайскими астрологами в 386 году н. э.
Расстояние: 16 000 световых лет.

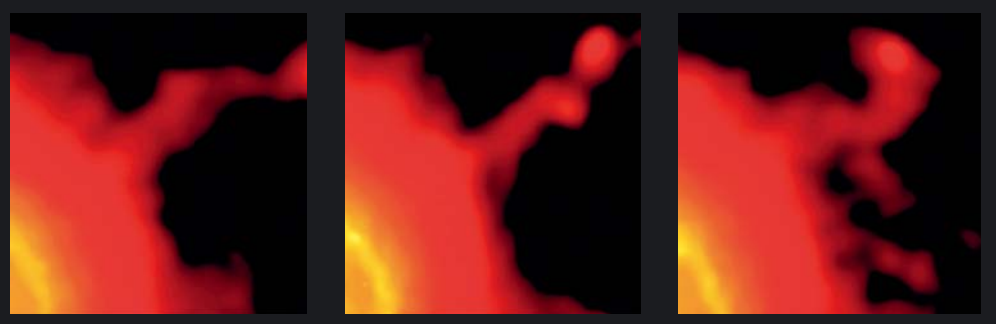
[3] **SGR 0526-66**
Магнетар
Внутри газовых волокон остатка сверхновой N49 в Большом Магеллановом Облаке скрывается нейтронная звезда особого типа — магнетар. У таких звезд магнитные поля в тысячи триллионов раз сильнее, чем на Земле. На SGR 0526-66 на кусок железа действовала бы сила, в 150 миллионов раз превышающая земное притяжение.
Расстояние: 160 000 световых лет.

[4] **Джет пульсара в Парусах**
Пульсар
IAUC 7347
Пульсар диаметром всего 19 км — все, что осталось от звезды, образовавшей Туманность Парусов (см. соседнюю страницу). Эта последовательность снимков показывает, что пульсар испускает джет высокоэнергетических частиц длиной 5 триллионов км и шириной
300 миллиардов км, который вертится со скоростью в половину скорости света, как выпущенный из рук водяной шланг.
Расстояние: 815 световых лет.


[1]


[2]


[3]


[4]

Останки звезд

Когда сверхновая гаснет, ее сколлапсировавшее ядро образует либо нейтронную звезду, либо черную дыру.

Что остается после гибели сверхмассивной звезды? Хотя почти все вещество звезды сгорает в ядерной печи сверхновой и выбрасывается в окружающее пространство, рассеиваясь по нему, ее маленькое, но все же заметное ядро может пережить эту катастрофу. Та же ударная волна, которая разбивает на мельчайшие частицы внешние слои сверхновой, сжимает ее ядро до непредставимой плотности. Так как в нем больше не идет никаких ядерных реакций, поддерживавших в нем равновесие на протяжении всей его жизни, теперь нет и направленного наружу лучевого давления, которое сбалансировало бы колоссальную направленную внутрь силу его тяготения. Окончательная судьба ядра определяется количеством оставшегося в нем вещества. Если его меньше пяти солнечных масс, то образуется сверхплотный объект, называемый нейтронной звездой. При массе свыше этого предела ядро продолжает коллапсировать и образует один из самых странных объектов во Вселенной — черную дыру.

Нейтронные звезды называются так потому, что они в основном состоят из субатомных частиц — нейтронов. Именно давление нейтронного вещества уравновешивает в них силу тяготения. Если ядро звезды тяжелее 1,4 массы Солнца (предел Чандрасекара, верхняя граница массы белого карлика), то при его коллапсе «суп» из частиц, из которого оно состоит, сжимается в почти однородный шар из нейтронов. Нейтроны отталкиваются друг от друга, но на гораздо меньших расстояниях, чем электроны. Это означает, что при коллапсе нейронное ядро сожмется гораздо сильнее обычного прежде, чем направленное наружу давление нейтронов уравновесит направленную внутрь силу тяготения. Так что если белый карлик обычно содержит массу солнцеподобной звезды в объеме, сравнимом с Землей, то нейтронная звезда содержит гораздо большую массу в сфере диаметром всего в несколько десятков километров.

У невероятно сильного сжатия сколлапсировавшей звезды есть и другие последствия. Поверхность нейтронной звезды очень горяча — настолько, что большая часть ее энергии излучается в невидимых ультрафиолетовых и рентгеновских лучах. И так как площадь излучающей поверхности к тому же очень мала, нейтронные звезды должны быть исключительно слабыми. И все же благодаря одному неожиданному обстоятельству многие нейтронные звезды оказались гораздо ярче, чем следовало бы, и привлекают к себе общее внимание. Это пульсары.

Коллапсирующее ядро сверхновой не только сжимает внутри себя вещество. Магнитное поле звезды, сконцентрированное в гораздо меньшем, чем прежде, объеме, усиливается в тысячи раз. Сколлапсировавшая звезда еще и вращается гораздо быстрее, чем любая нормальная, — закон сохранения углового момента требует, чтобы при уменьшении объема при неизменной массе скорость вращения выросла.

Мощное магнитное поле нейтронной звезды ведет к перераспределению направлений излучения, покидающего ее поверхность, в соответствии со структурой магнитных силовых линий. В результате излучение концентрируется в двух мощных пучках, выходящих из магнитных полюсов звезды. Однако магнитное поле нейтронной звезды часто не вполне точно ориентировано по оси ее вращения, и при вращении звезды каждый излучаемый пучок описывает в пространстве конус. Наблюдателю, оказавшемуся на пути такого пучка, будет казаться, что звезда пульсирует.

Черные дыры оказываются еще более странными объектами, чем нейтронные звезды. Коллапсирующее ядро с массой больше пяти солнечных сжимается настолько сильно, что этому давлению уже не может противостоять сила отталкивания нейтронов. Даже эти элементарные частицы в конце концов распадаются на свои еще более элементарные составляющие. Звезда продолжает коллапсировать, пока не сжимается, по сути, в бесконечно малую точку пространства — «сингулярность». В ходе сжатия звезда проходит определенную критическую точку, в которой ее скорость убегания (скорость, с какой должен двигаться объект, чтобы преодолеть действие ее гравитационного поля) становится больше скорости света. Так как движение со скоростью выше скорости света невозможно, звезда теперь полностью отрезана от остальной Вселенной границей, называемой «горизонтом событий», и ничто, даже свет, не может через эту границу перейти изнутри. Все черные дыры содержат сингулярность, окруженную горизонтом событий, и ни одна из них не может наблюдаться непосредственно. Кроме того, они могут оказывать странное воздействие на окружающее их пространство и даже на течение времени в своих окрестностях (см. краткий экскурс в специальную теорию относительности Эйнштейна на с. 207).

Черные дыры легче всего регистрировать по их влиянию на другие объекты — в частности, на близкие к ним звезды. В некоторых случаях сам сверхплотный звездный остаток полностью невидим, но о его присутствии можно догадаться по «вальсирующим» движениям соседней звезды вокруг невидимой массы. По движению звезды-компаньона можно определить массу невидимого объекта и таким образом понять, является он белым карликом, нейтронной звездой или черной дырой. В других случаях, когда речь идет о более тесном соседстве, влияние сверхплотного звездного остатка на звезду-компаньон может оказаться более разрушительным: он может срывать ее внешние оболочки и стягивать их к себе. Под действием мощного гравитационного поля это вещество будет разрушаться и нагреваться, испуская высокоэнергетическое излучение в рентгеновском диапазоне. Многие наиболее вероятные кандидаты в черные дыры являются такими «рентгеновскими двойными».

Остаток сверхновой в Парусах
Эмиссионная туманность
В это искромсанное взрывом облако расширяющихся остатков сверхновой погружено сжатое ядро звезды, которая его когда-то породила: пульсар в Парусах (см. подпись к рис. 4).
Расстояние: 815 световых лет.

[1]

[2]

[1] **Пульсар Крабовидной Туманности**
Пульсар
PSR 0531+21
Пульсар в Крабе, остаток сверхновой, появившейся на небе Земли в 1054 году н. э., излучает в 750 000 раз больше энергии, чем Солнце. Выплескивая эту энергию в окружающее пространство, он разгоняет частицы вещества почти до скорости света, а они, врезаясь в разлетающиеся остатки звезды, порождают концентрическую рябь в возбужденном ударными волнами и испускающем рентгеновские лучи газе.
Расстояние: 6500 световых лет.

[2] **Крабовидная Туманность**
Остаток сверхновой
M1
Несмотря на то что диаметр пульсара Крабовидной Туманности меньше 10 км , его колоссальная энергия заставляет светиться весь окружающий его остаток сверхновой — облако протяженностью в 10 световых лет.
Расстояние: 6500 световых лет.

Млечный Путь

Бесчисленные звезды на ночном небе Земли — лишь малая часть населения нашей Галактики, Млечного Пути, гигантского водоворота из более 100 миллиардов звезд.

Диаметр нашей громадной звездной системы превышает 100 000 световых лет, а толщина ее диска — всего несколько тысяч. Когда мы глядим сквозь диск, бесчисленные звезды на пути нашего взгляда сбиваются в огромные туманные облака, которые образуют светящуюся арку Млечного Пути. Когда мы смотрим в других направлениях, выше или ниже плоскости Галактики, мы заглядываем в межгалактическое пространство. Звезды, которые видны в этих направлениях, находятся относительно близко к нам, в одной с нами области Галактики.

Структурно наша Галактика образует тонкий диск с яйцеобразным утолщением в центре — балджем и еще более компактным ядром внутри него. Диск пересекается спиральными ветвями, которые начинаются из ядра и закручиваются вокруг Галактики, загибаясь к ее краям. Спиральные рукава усеяны туманностями — областями звездообразования и скоплениями горячих и ярких молодых звезд. Но пространство между рукавами далеко не пустое — оно тоже заполнено туманностями и более спокойными долгоживущими звездами. Солнце тоже находится в одной из таких галактических лакун, посредине между спиральными рукавами Ориона и Персея. Выше и ниже плоскости Галактики лежит сферическая область, называемая гало. В ней совершают свое долгое одинокое путешествие по Галактике выброшенные из галактической плоскости звезды и планеты. Но самые эффектные обитатели гало — шаровые скопления, гигантские звездные шары с населением в сотни тысяч старых звезд (см. с. 118).

Галактика вращается вокруг своего центра, но не как сплошной, твердотельный объект — каждая звезда в ее диске имеет свою приблизительно круговую орбиту, подчиняясь законам небесной механики. Это значит, что чем дальше звезда от ядра Галактики, тем медленнее она вращается. Солнце, к примеру, лежит от центра Галактики на расстоянии около 26 000 световых лет и движется по своей орбите со скоростью около 780 000 км/ч, совершая один оборот вокруг Галактики за 230 миллионов лет. Более далекие звезды движутся медленнее, те, что ближе к ядру Галактики, — быстрее.

Звезды в балдже ведут себя иначе: их орбиты не находятся в одной плоскости и могут быть гораздо более вытянутыми, чем у звезд диска. К тому же ядро населено гораздо гуще. Яйцевидная форма балджа является в конечном счете результатом пересечения и взаимодействия всех этих орбит.

В Млечном Пути выделяются два отличающихся друг от друга звездных «населения». Звезды населения I относительно молоды и содержат значительное количество тяжелых элементов, что сокращает их жизнь. Солнце — звезда населения I, как и молодые звезды в рассеянных скоплениях. Звезды населения II старше и почти полностью состоят из водорода и гелия. Это означает, что они горят более устойчиво и на протяжении гораздо более долгого времени. К этому населению относятся звезды балджа и шаровых скоплений, находящихся выше и ниже плоскости Галактики.

Ядро Галактики

По мере приближения к центру нашей Галактики пространство все больше заполняется звездами, туманностями и более экзотическими объектами. Огромные облака звезд в примыкающих к центральной области Галактики частях спиральный ветвей не позволяют прямо заглянуть в эту бурную область, но наблюдения вне оптической части спектра позволяют приподнять эту вуаль и свести воедино представления о том, что происходит в скрытом от глаз сердце Галактики.

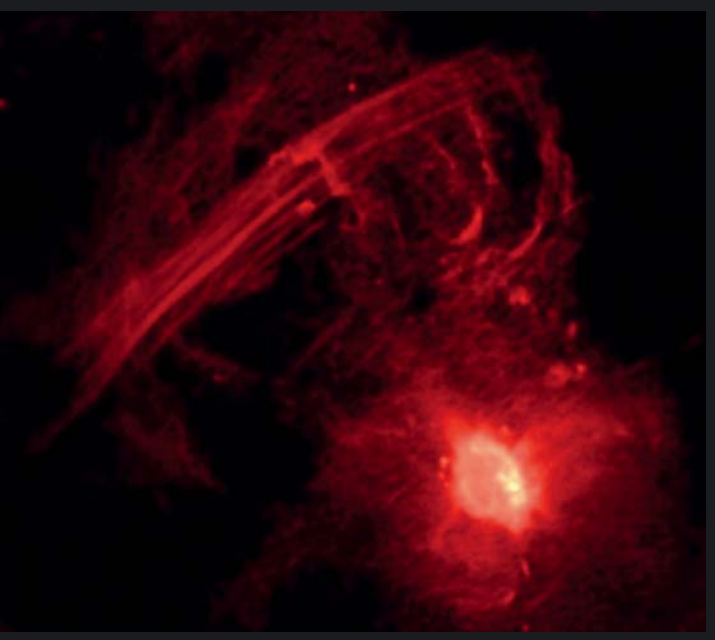
Чем ближе звезда к центру Галактики, тем быстрее она вокруг него обращается. Для всего галактического диска эта схема имеет смысл, так как звезды, как и планеты вокруг своих звезд, обращаются вокруг гигантской концентрации массы — галактического ядра. Но эта закономерность выполняется и внутри центральной области Галактики, а раз так, то в самом центре Млечного Пути тоже должно существовать нечто крайне плотное и массивное, вокруг чего обращаются звезды ядра.

Есть только один возможный объект с такими свойствами — гигантская черная дыра, гораздо большая, чем та, которую могла бы породить любая одиночная звезда. Такая сверхмассивная черная дыра может заключать массу в несколько миллионов Солнц в объеме радиуса, меньшего, чем у земной орбиты. Предположение о существовании такого монстра было выдвинуто в 1970-х и подтверждено в 1998-м точным определением орбит звезд вокруг центра Галактики.

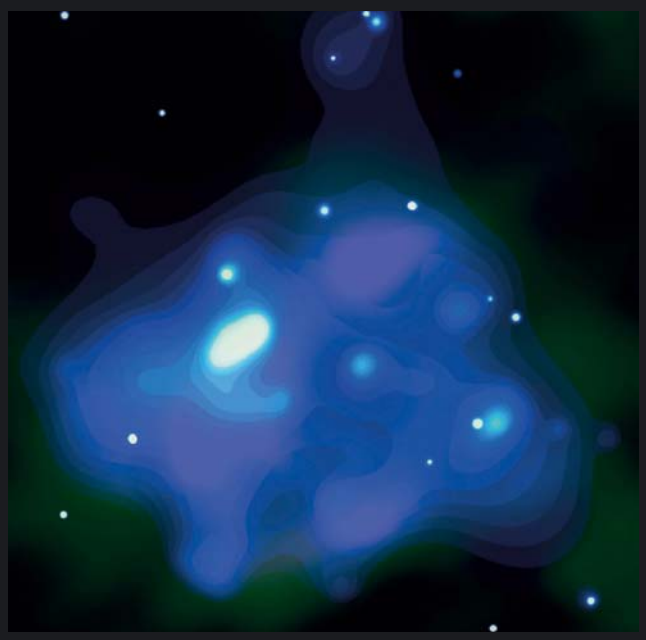
К счастью для нас, черная дыра в центре Млечного Пути — спящий монстр. Вероятно, он образовался в ранние дни Вселенной в результате сжатия огромного облака газа, в конце концов сделавшегося достаточно плотным, чтобы замкнуть вокруг себя горизонт событий. По-видимому, черная дыра давно уже очистила прилегающую к ней область от газа, пыли и звезд; все, что выжило здесь на сегодня, движется на достаточно большом расстоянии от нее и с достаточно большой скоростью, чтобы не быть захваченным ее колоссальным притяжением. Свое присутствие черная дыра сейчас обнаруживает только гравитационными эффектами и слабым радиоизлучением от захваченных ее тяготением и разогретых большой скоростью движения газа и пыли.

Вне зоны досягаемости черной дыры находятся несколько ярких звездных скоплений, содержаших некоторые из самых массивных звезд Галактики. Звезды в самом эффектном из них, IRS 16, настолько массивны, что, согласно нашим нынешним теориям звездообразования, должны были взорваться еще в процессе рождения. Их огромные размеры объясняют каннибализмом: они поглощали другие звезды и облака газа.

На расстоянии в 350 световых лет от центра Галактики лежит пара газовых облаков, испускающих высокоэнергетическое гамма-излучение. Между ними находится большая черная дыра, называемая Великим Аннигилятором. Ее масса оценивается в 100 Солнц — она могла вырасти, поглощая газовые облака, или сформироваться в результате слияния нескольких меньших черных дыр. Из Аннигилятора бьют два джета античастиц, и, когда они встречаются с обычной материей, происходит аннигиляция с образованием гамма-излучения. Великий Аннигилятор — карликовый двойник центральной черной дыры Галактики. Он напоминает нам, насколько более бурными могли быть процессы в центре Галактики в прошлом, когда вещества там было много.



[1]



[2]

[Вверху] Для этой панорамы Млечного Пути использованы измерения блеска полумиллиарда звезд. Красноватые звезды, сосредоточенные в середине галактического диска, отмечают распределение самых плотных пылевых облаков Галактики.

[Внизу] Яркое рентгеновское излучение (слева от центра) — источник Стрелец A*, черная дыра массой в 3 миллиона Солнц, таящаяся в сердце Млечного Пути.
Расстояние: 25 000 световых лет.

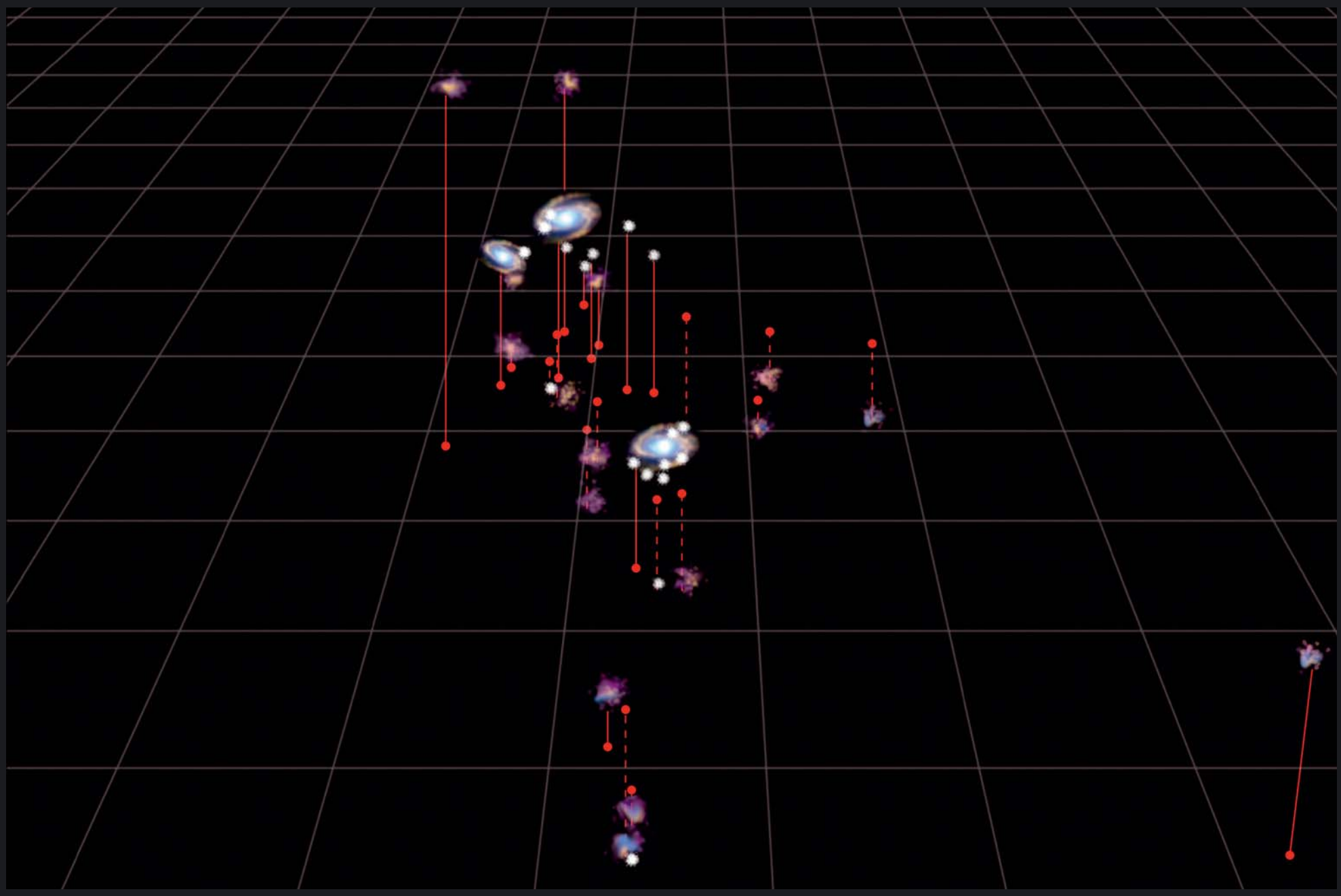
[1] [2] На радиоизображении центра Галактики видна яркая область вокруг центральной черной дыры. По-видимому, электроны и другие заряженные частицы истекают с одной стороны ядра, захватываются магнитным полем Галактики и устремляются вдоль его линий. Там, где заряженные частицы из «радиодуги» сталкиваются с холодным газом вокруг галактического ядра, они испускают рентгеновское излучение [2].

Сердце Млечного Пути
Снимок, полученный наложением изображений в ближнем инфракрасном (желтый цвет), дальнем инфракрасном (красный) и рентгеновском (голубой) диапазонах, позволяет заглянуть сквозь пылевую вуаль вокруг центра Галактики и увидеть панораму густых облаков звезд, газа и пыли. Яркое рентгеновское излучение на правом краю снимка исходит от гигантских звезд в области вокруг спящей сверхмассивной черной дыры.
Расстояние: 26 000 световых лет.

МЕЖГАЛАКТИЧЕСКИЙ МИР

Местная группа

Наша Галактика не одинока на своем космическом пути. Ее сопровождают несколько десятков других галактик, образующих Местную группу.



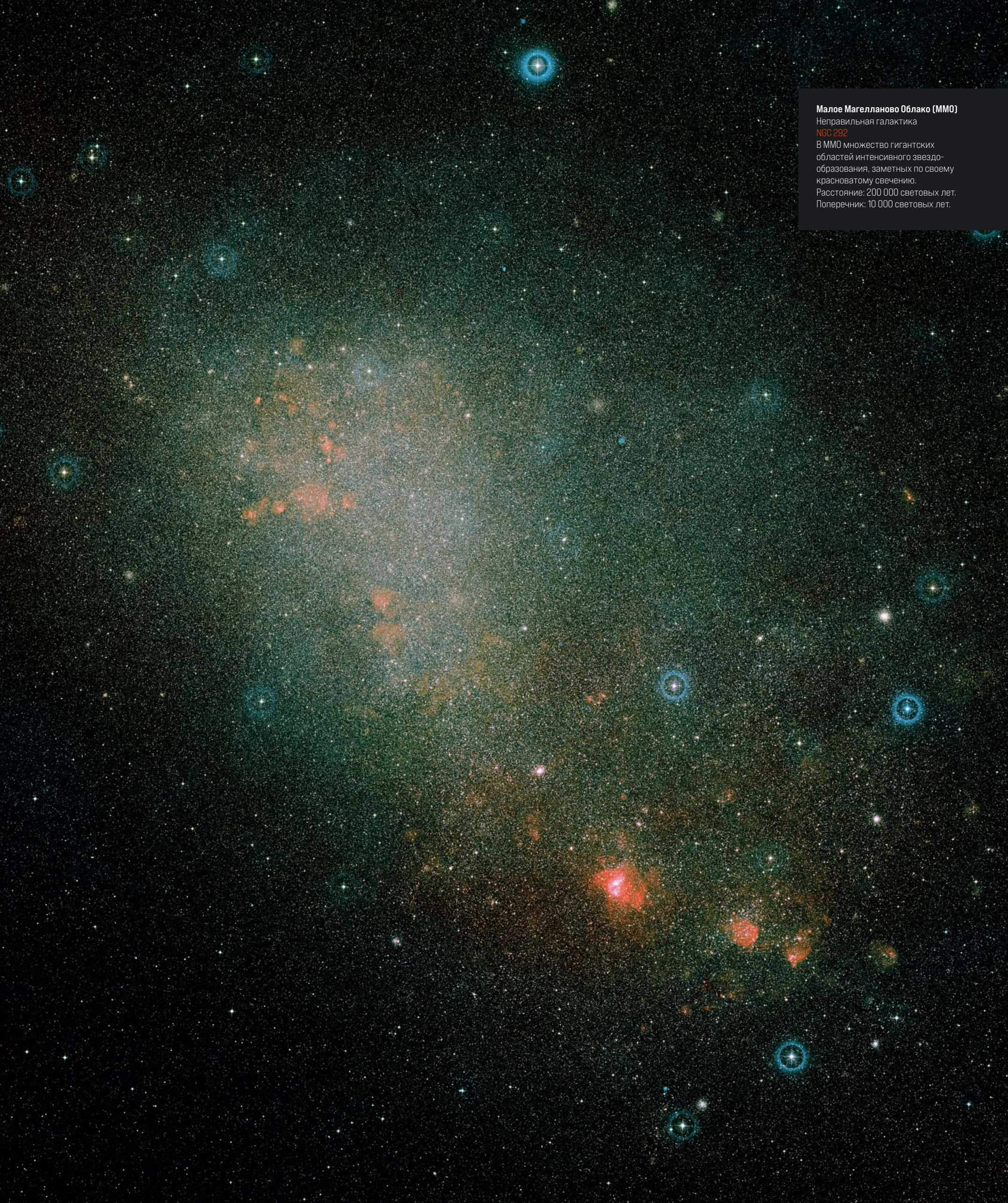
Местная группа — маленькое скопление галактик, движущихся вокруг общего центра тяжести и разбросанных в области поперечником менее 10 миллионов световых лет. Три его главных члена — большие спиральные галактики, Млечный Путь, галактика в Андромеде и несколько меньшая галактика в Треугольнике, вблизи Андромеды. Вокруг каждой из них вьется рой галактик меньших размеров, от крайне слабых эллиптических карликов до довольно ярких неправильных систем, таких как Магеллановы Облака. Галактика в Треугольнике сама, возможно, является спутником галактики в Андромеде. Кроме того, есть еще россыпь более далеких галактик, не связанных непосредственно с главными, но все же захваченных общим полем тяготения группы.

Самые заметные соседи нашей Галактики — Магеллановы Облака, пара неправильных галактик, обращающихся вокруг Млечного Пути за 1,5 миллиарда лет. По ним можно сделать важный вывод о судьбе большинства малых галактик группы — с каждым сближением с Млечным Путем они теряют часть своей целостности. Их орбиту отмечает так называемый Магелланов поток рассеянного газа и потерянных ими звезд. Однако самый близкий спутник Галактики, находящийся от нее на расстоянии всего 88 000 световых лет, — карликовая эллиптическая галактика в Стрельце, малое звездное облако, открытое только в 1994 году. Оно находится от нас по другую сторону галактического ядра и продолжает разрушаться и поглощаться нашей Галактикой.

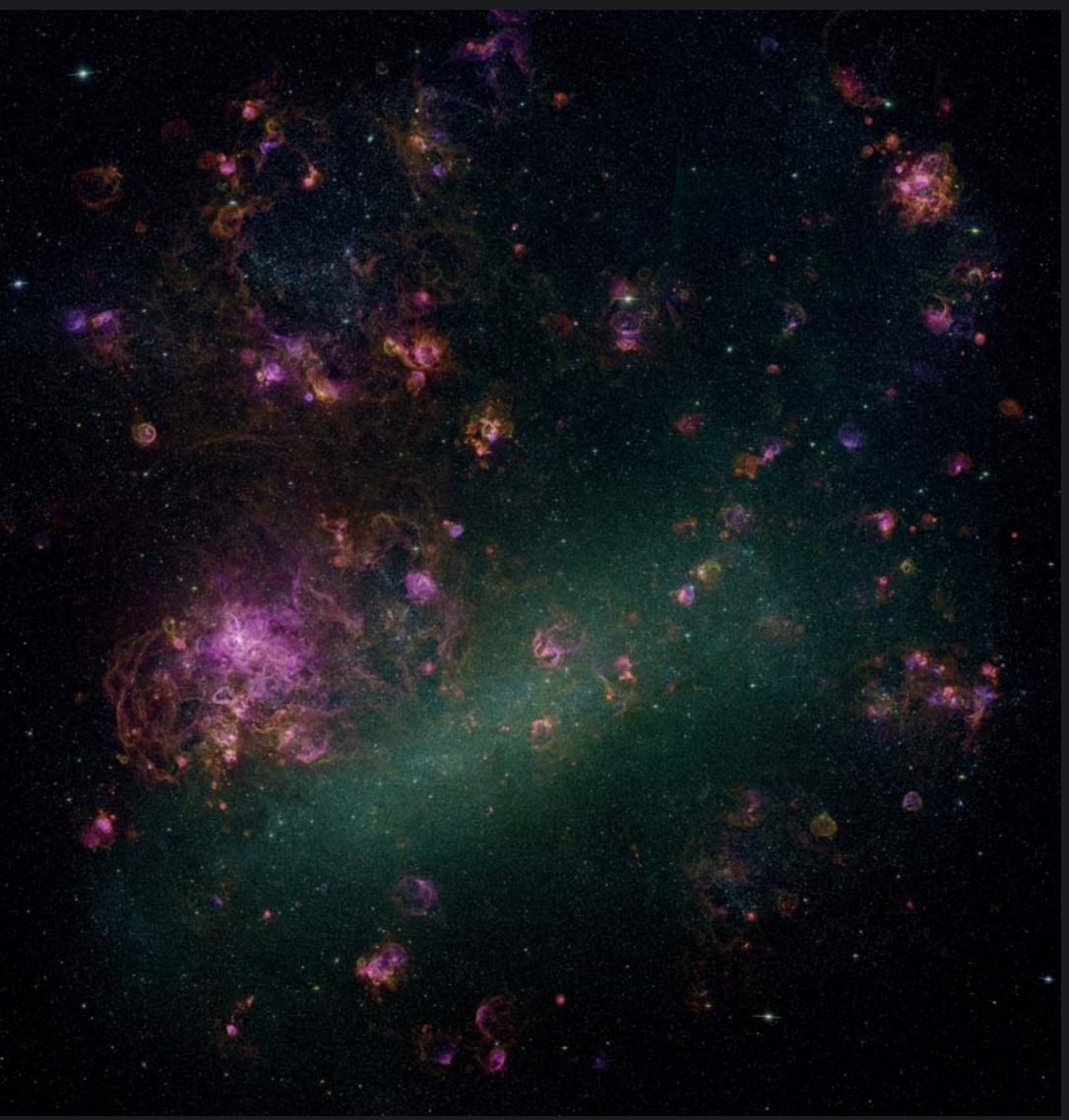
По сути, разрушение и слияние — вероятная судьба всех главных галактик Местной группы. Андромеда и Млечный Путь сами находятся в тисках взаимного притяжения. Две огромные спирали сближаются со скоростью 1 миллион км/ч и через 4 миллиарда лет сольются.

[Вверху] На этой карте Местной Группы галактик показаны положения 50 известных и предполагаемых ее членов. Плоскость диаграммы совпадает с плоскостью Млечного Пути.

[i] Галактика Млечный Путь
[ii] Большое и Малое Магеллановы Облака
[iii] Барнард 33
[iv] Галактика Андромеды
[v] Галактика Треугольника



Малое Магелланово Облако (ММО)
Неправильная галактика
NGC 292
В ММО множество гигантских областей интенсивного звездообразования, заметных по своему красноватому свечению.
Расстояние: 200 000 световых лет.
Поперечник: 10 000 световых лет.



Большое Магелланово Облако

БМО

[1] [2] [3] [4]
[5] [6] [7]

Самая большая и яркая из всех галактик — спутников Млечного Пути, Большое Магелланово Облако — хаотическая неправильная галактика. Она богата газом и пылью и содержит много плотных областей звездообразования, в том числе Туманность Тарантул, которая гораздо больше, чем любая такая область в Млечном Пути. Поэтому неудивительно, что в БМО множество молодых ярких звезд. В нем есть даже некоторые признаки структуры: ядро и «перемычка», и некоторые астрономы относят эту галактику не к неправильным, а к спиральным — с одним рукавом.

В БМО вспыхнула самая яркая сверхновая в новейшей истории, SN 1987A (см. с. 140). Гигантский взрыв, сопровождавший гибель голубого сверхгиганта, в 1987 году на короткое время изменил вид всей галактики. И хоть сверхновая уже погасла, влияние ее излучения на ее галактику все еще заметно.

[1] **Большое Магелланово Облако**
Неправильная галактика
БМО
БМО — настоящая астрономическая сокровищница. Здесь выявлено примерно 60 шаровых скоплений, 400 планетарных туманностей и 700 рассеянных скоплений, не говоря уж о сотнях тысяч гигантских и сверхгигантских звезд.
Расстояние: 179 000 световых лет.
Диаметр: 20 000 световых лет.

[2] **NGC 1850**
Рассеянное скопление
Эти два звездных скопления выглядят как шаровые, но на деле они гораздо моложе. Большому скоплению 50 миллионов лет, меньшему — всего 4.
Расстояние: 179 000 световых лет.

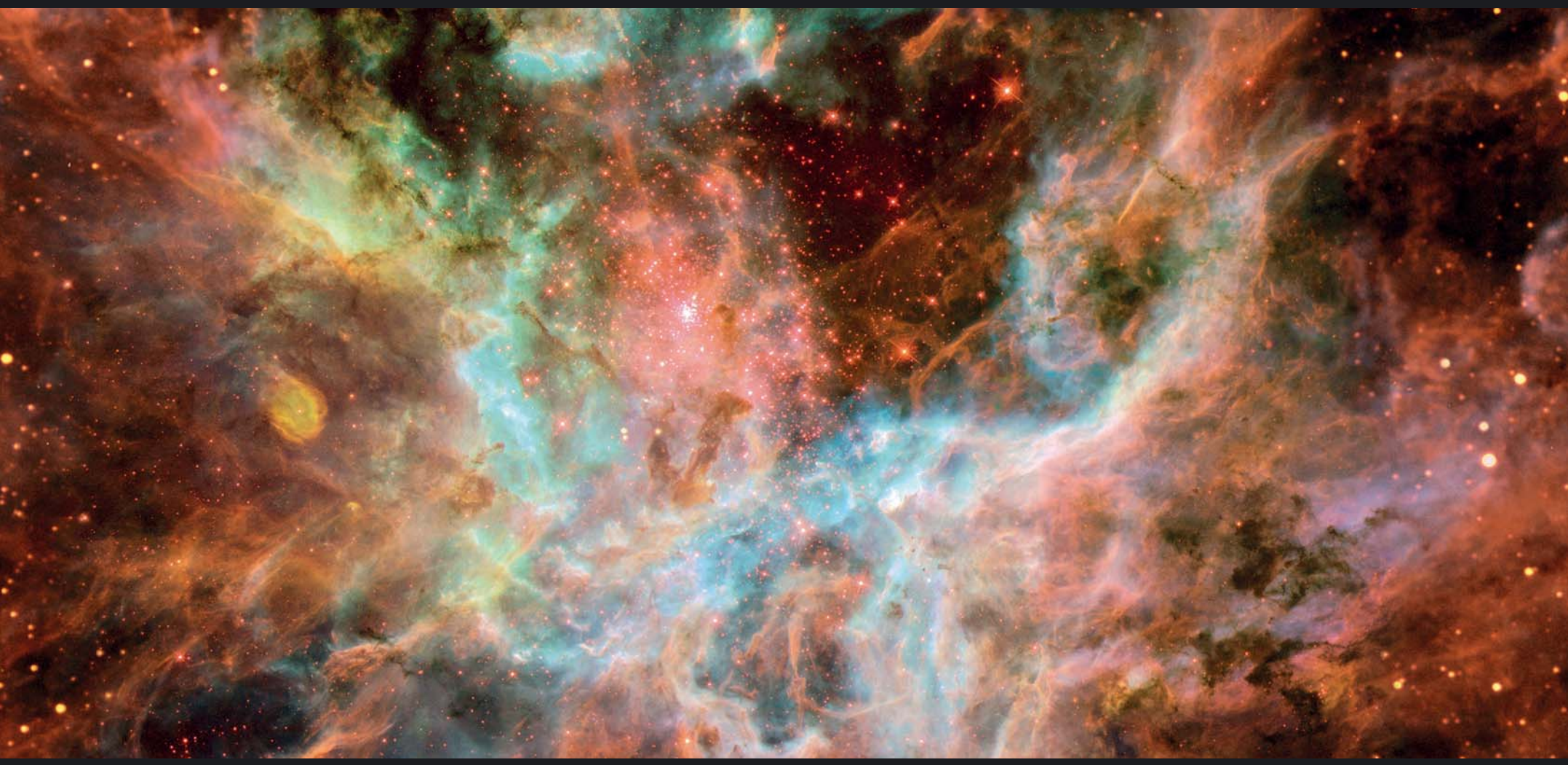
[3] **Туманность Голова Призрака**
Эмиссионная туманность
NGC 2080
«Глаза» Головы Призрака — облака водорода и кислорода, перегретые излучением новорожденных звезд.
Расстояние: 179 000 световых лет.

[4] **Ходж 301**
Рассеянное скопление
NGC 2080
Скопление Ходж 301 находится в богатой пылевыми и газовыми облаками Туманности Тарантул, самой плодовитой области звездообразования в нашей области Вселенной.
Расстояние: 179 000 световых лет.

[5] **N44C**
Эмиссионная туманность
Сверхгигант, излучение которого заставляет светиться эту туманность, почти вдвое горячее, чем нормальные звезды этого типа, — температура его поверхности 75 000 градусов Цельсия (135 000 по Фаренгейту).
Расстояние: 179 000 световых лет.

[6] **N44F**
Эмиссионная туманность
Голубой гигант в центре кадра своим мощным излучением буквально выжег в туманности, вскормившей его, полость размером в 35 световых лет.
Расстояние: 179 000 световых лет.

[7] **R136**
Рассеянное скопление
В Туманности Тарантул находятся некоторые из самых больших и горячих из известных звезд. Сияющие сверхгиганты в скоплении R136 (в центре вверху) в 10 раз горячее и примерно в 100 раз массивнее Солнца.
Расстояние: 179 000 световых лет.



Малое Магелланово Облако

NGC 292

Малое Магелланово Облако (ММО) дальше от нас, чем его более крупный собрат, и масса его раз в 10 меньше. Тем не менее, как и в БМО, в ММО кипит интенсивное звездообразование.

В ММО находится несколько цефеид — пульсирующих переменных звезд. Именно с их помощью Генриетта Ливитт установила взаимосвязь между средней светимостью и периодом пульсаций таких звезд, что дало ключ к построению шкалы внегалактических расстояний.

Малое Магелланово Облако
Неправильная галактика
NGC 292
Центральная структура в виде перемычки дала повод предполагать, что когда-то ММО было спиральной галактикой с перемычкой, которая постепенно была разрушена гравитацией Млечного Пути.
Расстояние:
200 000 световых лет.
Диаметр: 10 000 световых лет.

NGC 346
Эмиссионная туманность
В этих переполненных «звездных яслях» более 2500 новорожденных светил возрастом не более 5 миллионов лет. Эти протозвезды еще будут расти за счет гравитационного сжатия газовых облаков вокруг них, пока не наберут достаточно массы, чтобы в накопленном ими водороде начался термоядерный синтез.
Расстояние: 200 000 световых лет.

Туманность Андромеды M31

M31, галактика в Андромеде, — самая эффектная из наших близких галактических соседок, спиральная звездная система, более чем вдвое превосходящая по размерам Млечный Путь и содержащая 400 миллиардов звезд.

До Андромеды 2,5 миллиона световых лет. Мы видим ее такой, какой она была в дни австралопитеков, ранних двуногих предков Homo sapiens. И все же от нее приходит к нам достаточно света, чтобы без помощи какой-либо оптики возбудить наш зрительный нерв. Андромеда, безусловно, самый далекий объект, который мы способны видеть невооруженным глазом.

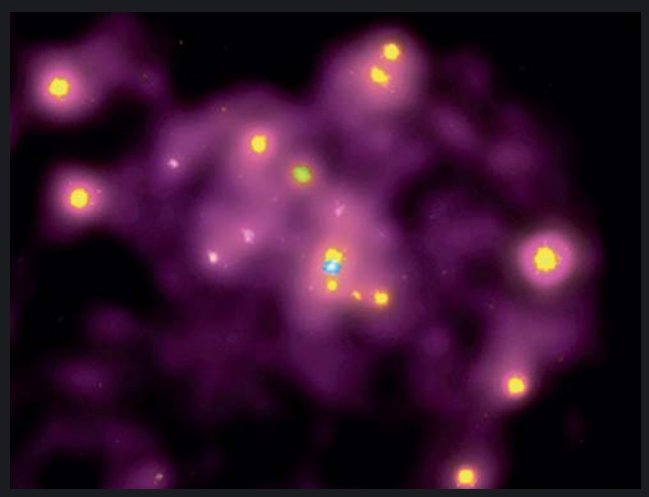
Как и сердце Млечного Пути, сердце Андромеды черное — сверхмассивная черная дыра массой в несколько миллионов Солнц. Изображения с усиленным контрастом показали, что то, что выглядит расщелиной в центральном ядре, на деле может оказаться двумя колоссальными черными дырами, обращающимися друг вокруг друга в медленном танго, которое вполне способно закончиться их слиянием.

Звезды галактики в Андромеде занимают больший объем, чем звезды Млечного Пути, поэтому первая выглядит чуть ли не на 50% крупнее. Однако недавние исследования показали, что в Андромеде сравнительно мало скрытой темной материи. Если у Млечного Пути есть огромное гало из этого загадочного вещества, простирающееся далеко за видимые границы Галактики, то в Андромеде темная материя сосредоточена в ее видимых структурах и вокруг них.

[1] В инфракрасном свете на расстоянии 32 000 световых лет вокруг ядра галактики в Андромеде выявлено рельефное кольцо звездообразования. Справа оно расщепляется, возможно, в результате прохождения через диск Андромеды одной из ее галактик-спутников.

[2] Желто-голубой проблеск в центре рентгеновского изображения отмечает положение центральной черной дыры — или дыр (см. выше) — галактики в Андромеде. Ее масса — 30 миллионов Солнц, вдесятеро больше, чем у черной дыры в центре нашей Галактики.

[1]



[2]

Галактика в Андромеде
Спиральная галактика
M31
Галактика в Андромеде — великан в Местной Группе. Ее поперечник больше 200 000 световых лет. Она окружена роем из по крайней мере десяти галактик-спутников.
Расстояние: 2,5 миллиона световых лет.
Диаметр: 250 000 световых лет.

Галактика в Треугольнике
Спиральная галактика
M33
Галактика в Треугольнике по размерам более типичный представитель спиральных галактик Вселенной, чем ее гигантские соседки: она вдвое меньше Млечного Пути и более чем вчетверо уступает Андромеде.
Расстояние: 3 миллиона световых лет.
Диаметр: 50 000 световых лет.

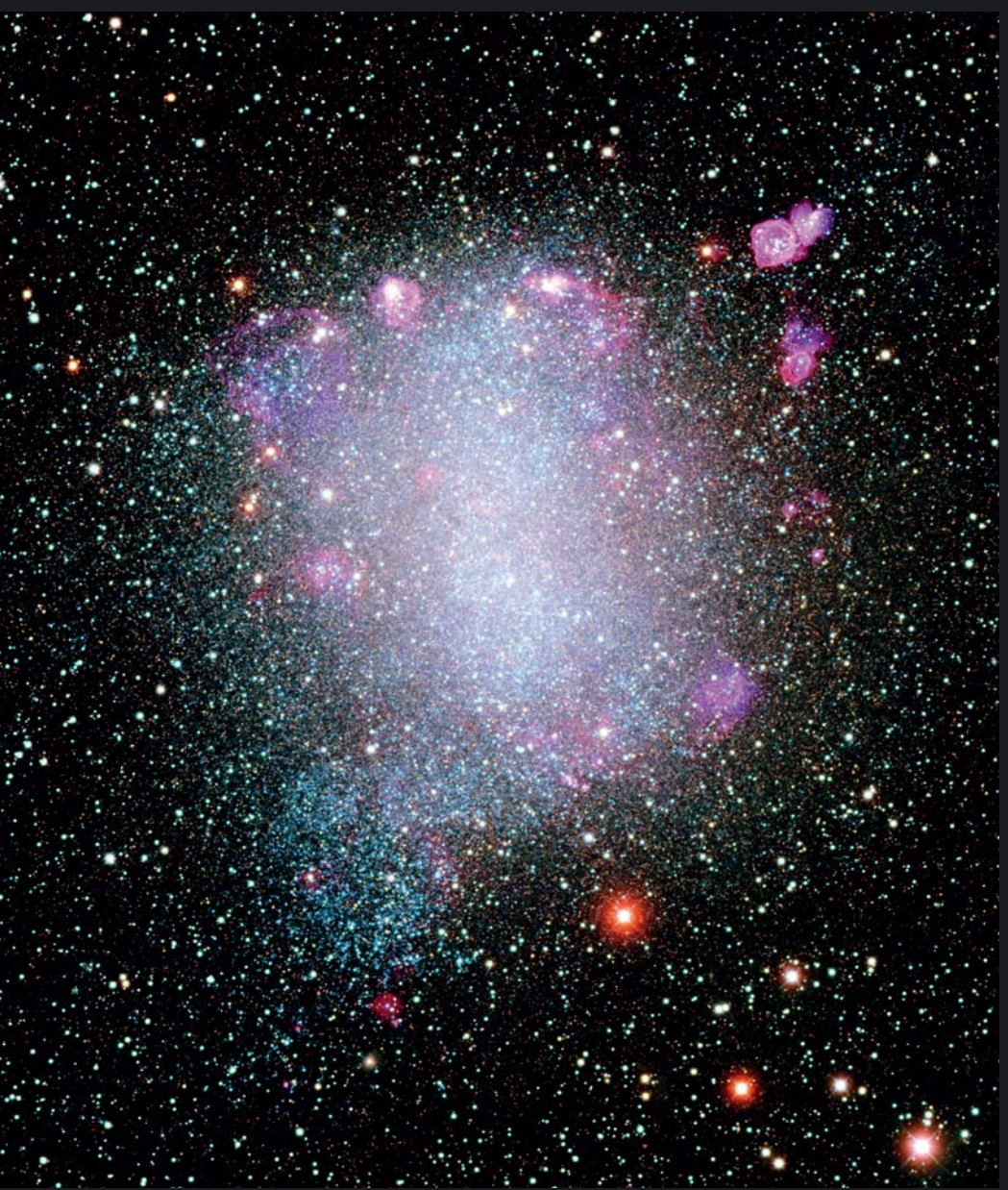
Галактика в Треугольнике

M33

Галактика в Треугольнике, обозначаемая M33, — третья спиральная галактика в Местной группе, на расстоянии около 2,9 миллиона световых лет от нас. Она гораздо меньше и Млечного Пути, и Андромеды, но по общим меркам спиральных галактик Вселенной она имеет средние размеры — примерно 60 000 световых лет в диаметре. Считается, что она по вытянутой дальней орбите обращается вокруг галактики в Андромеде; сейчас эти галактики разделяет расстояние в 750 000 световых лет.

Так как галактика в Треугольнике видна с Земли «плашмя», она стала одной из первых идентифицированных спиральных туманностей. Ее самая заметная деталь — гигантская эмиссионная туманность NGC 604, одна из крупнейших известных областей звездообразования поперечником более 1500 световых лет, в центре которой лежит скопление более 200 крайне массивных и очень горячих молодых звезд.

[Слева] **NGC 604**
Эмиссионная туманность
В наполненном звездами с массой более 100 Солнц спиральном рукаве галактики в Треугольнике шириной в 1300 световых лет находится крупнейший локальный «котел» звездообразования в Местной группе, да и в известной нам Вселенной. В нем более 200 новорожденных звезд-гипергигантов. Только меньшая по размеру Туманность Тарантул в Большом Магеллановом Облаке может похвастать большей плодовитостью.



Галактика Барнарда

NGC 6822

Одна из ярких неправильных галактик Местной группы, галактика Барнарда была впервые замечена великим наблюдателем Е. Е. Барнардом в 1884 году. На первый взгляд она похожа на Большое Магелланово Облако: в ее структуре есть следы рельефной центральной звездной перемычки и множество розоватых эмиссионных туманностей — верный признак звездообразования.

Эта галактика сыграла важную роль в развитии наших представлений о космосе — она стала первым объектом вне Магеллановых Облаков, в котором Эдвин Хаббл нашел пульсирующие переменные — цефеиды. Определив из их периода пульсаций их истинные светимости, Хаббл заключил, что галактика Барнарда находится на расстоянии примерно 700 000 световых лет — гораздо дальше, чем 300 000 световых лет, которыми многие астрономы тогда ограничивали общий размер Вселенной.

[1]

[2]

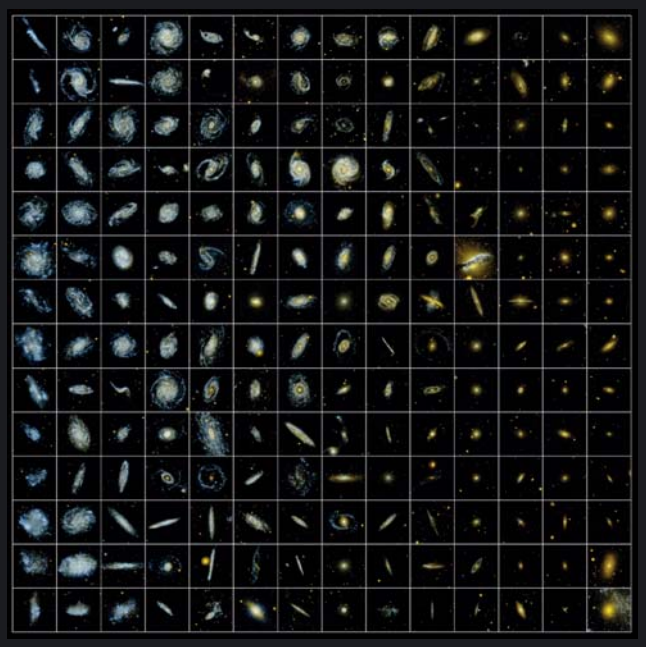
[Слева] **Галактика Барнарда**
Неправильная галактика
NGC 6822
Галактика Барнарда вдесятеро меньше нашей Галактики, но она замечательна обилием в ней областей звездообразования, которые на этом снимке имеют фиолетовый оттенок.
Расстояние: 1,8 миллиона световых лет.
Диаметр: 10 000 световых лет.

[1] **Хаббл-V**
Эмиссионная туманность
Этот звездный инкубатор поперечником более 200 световых лет светится под воздействием излучения массивных новорожденных звезд, которые примерно в 100 000 раз ярче Солнца.

[2] **Хаббл-X**
Эмиссионная туманность
Еще одна «звездная фабрика» в галактике Барнарда. При диаметре 100 световых лет она примерно вдвое меньше туманности Хаббл-V и все же более чем вдесятеро превосходит размерами Туманность Ориона в нашей Галактике.

Галактики

Межгалактическое пространство нельзя назвать пустым — во Вселенной по крайней мере столько же галактик, сколько звезд в Млечном Пути.



[Вверху] В этой таблице размещено 196 изображений близлежащих галактик в соответствии с их ультрафиолетовой яркостью. Активные области звездообразования заметны в виде переливающихся голубым структур; мягкий золотистый оттенок свечения говорит о присутствии более старых звезд. Сравнивая такие изображения, астрономы наглядно могут представить себе различия в возрасте галактик.

До первых десятилетий XX века большинство астрономов полагали, что Млечный Путь и есть вся Вселенная. Спиральные туманности, разбросанные по небу, они считали просто особым видом туманностей — возможно, формирующимися планетными системами. Только когда Эдвин Хаббл вычислил истинные светимости некоторых звезд в этих туманностях, стало ясно, что спирали и многие другие загадочные пятна на небе — полноправные галактики. Некоторые из них оказались такими далекими, что свет от них идет к нам много миллионов лет.

Таким образом, галактики оказались первыми объектами во Вселенной, которые, возможно, значительно изменились за время, в течение которого свет от них шел к нам. В ближней Вселенной этим эффектом, иногда называемым «глубиной прошлого» (look-back time), можно пренебречь — возможно, интересно думать, что мы видим какую-нибудь галактику такой, какой она была во времена динозавров, но, вообще говоря, природа галактик не очень изменилась за какие-нибудь 65 миллионов лет.

Однако у пределов наблюдаемой Вселенной дела обстоят совершенно иначе. Когда мы заглядываем на миллиарды лет назад, очень яркие активные галактики (квазары — см. с. 182) встречаются все чаще, и разумно предположить, что галактики ранней Вселенной сильно отличались от тех, что существовали в более поздние времена. И так же, как нет причин полагать, что близкие к нам галактики чем-то отличаются от населения Вселенной в целом, разумно предположить, что в своей «юности» Млечный Путь и другие галактики были гораздо больше похожи на квазары.

Классификация галактик

Хаббл не только доказал существование других галактик, но и разработал систему классификации их типов. Он различал два типа спиральных галактик: простые спирали (обозначаемые буквой S), в которых спиральные рукава выходят прямо из центральной области галактики, и спирали с перемычкой (SB), где рукава начинаются на концах состоящей из звезд перемычки («бара»), которая в свою очередь выходит из ядра. И просто спирали, и спирали с перемычкой классифицировались еще и по степени закрученности или открытости их спиральной структуры: например, спираль с рукавами, туго закрученными вокруг ядра, обозначалась Sa, тогда как спираль с перемычкой с открытыми, хорошо очерченными рукавами — SBc. Размеры спиральных галактик варьируют от примерно половины Млечного Пути до немного превосходящих нашу Галактику. В нашей области Вселенной они составляют 25–30% от всех галактик.

От спиральных довольно сильно отличаются эллиптические галактики — однородные звездные «пузыри» в форме то идеальных сфер, то вытянутых овалов, то длинных и узких веретен. Хаббл относил их всех к типу E, добавляя цифру, обозначавшую степень вытянутости эллипса: от E0 — идеально сферического звездного шара до E7 с наибольшей степенью вытянутости. Конечно, эллиптичность может быть обманчивой: сигарообразное тело может показаться менее вытянутым или даже сферическим в зависимости от его ориентации по отношению к Земле.

Эллиптические галактики составляют около 60% населения в нашей области Вселенной, отличаясь гораздо большим разнообразием размеров и блеска, чем спирали. Самые маленькие эллиптические «карлики» многочисленны, но слабы — в них всего несколько миллионов звезд. Есть достаточно много «нормальных» эллиптических галактик, слегка уступающих размерами Млечному Пути, но ярких и с четко выраженными формами. И наконец, немногочисленные гигантские эллиптические галактики — огромные, плотно заполненные сферы с населением до триллиона звезд.

Введенные Хабблом два основных типа галактик отличаются не только формой, но и типами звезд и другого вещества, заполняющего их. Рукава спиральных галактик богаты яркими голубыми звездами и красноватыми звездообразующими туманностями, но центральные области спиралей имеют сферическую форму, и в них преобладают более старые, сравнительно слабые желтые и красные звезды. А в эллиптических галактиках, напротив, мало областей звездообразования — они состоят почти целиком из старых красных и желтых звезд. Бело-голубые звезды в спиралях похожи на звезды населения I Млечного Пути, а красные и желтые — на звезды того же цвета, относящиеся к населению II в балдже и шаровых скоплениях нашей Галактики.

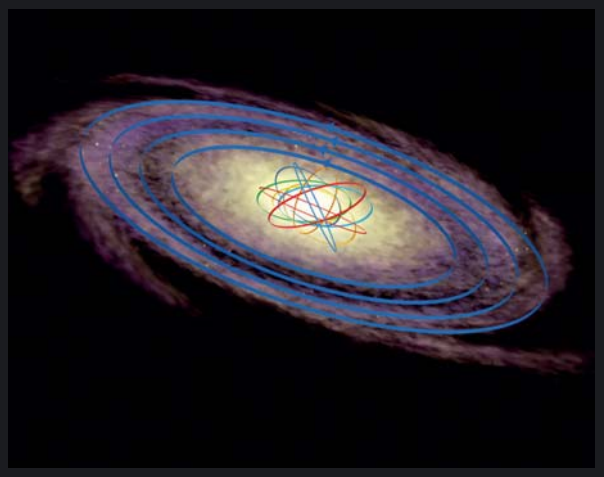
Хаббл выделил и несколько других типов галактик, например линзообразные, занимающие промежуточное положение между эллиптическими и спиральными. У них есть балдж, как у спиральных галактик, но нет спиральных рукавов — вообще ничего, кроме медленно вращающегося газопылевого диска. Однако, как мы увидим, линзообразные галактики являются важным звеном в эволюционной цепочке галактик.

Еще одна группа галактик — неправильные. В соответствии со своим названием это бесформенные облака звезд, газа и пыли, в которых обычно преобладают молодые и очень яркие звезды, погруженные в светящиеся эмиссионные туманности — области звездообразования.

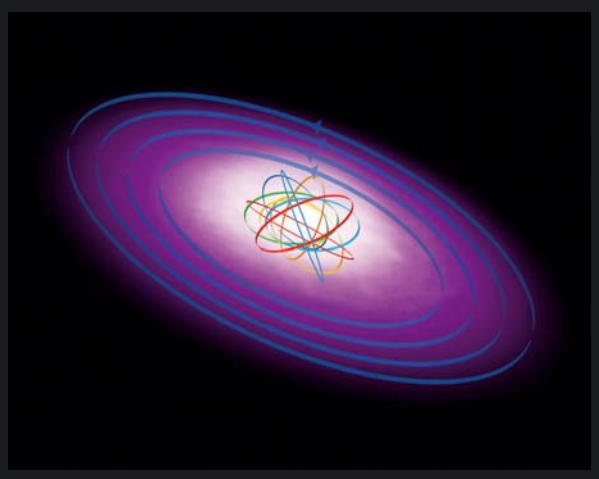
Межзвездные газ и пыль связаны с яркими звездами населения I. Причина этой связи понятна — самые яркие звезды живут мало, они появляются и тут же, во мгновение ока (в астрономической шкале времени), исчезают. Если в галактике закончились запасы газа и пыли, необходимые для образования новых звезд, погасшие звезды нечем будет заменить, и после того, как они умрут, останутся только более долговечные и слабые звезды.

Вначале Хаббл разместил свои типы галактик на диаграмме в виде эволюционного «дерева». В результате диаграмма приобрела форму двузубой вилки или камертона: эллиптические галактики образовали ручку, а линзообразные — перемычку между двумя зубцами вилки. Один зубец составили спирали, другой — спирали с перемычкой. Реальная картина эволюции галактик, впрочем, оказалась сложнее. Однако, прежде чем мы перейдем к рассказу об эволюции галактик, отметим огромное их разнообразие, которое мы видим во Вселенной.

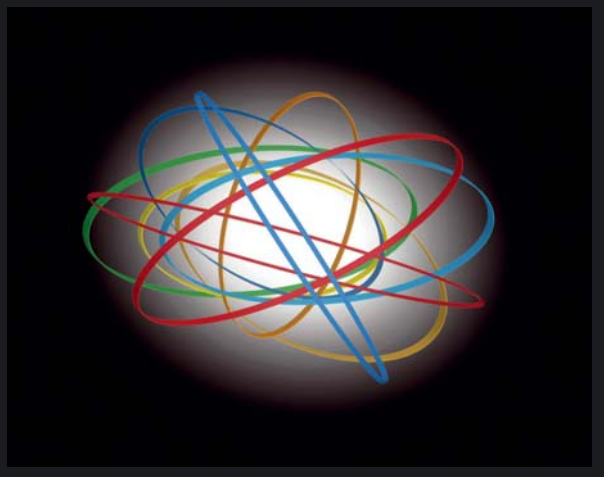
Космический телескоп Хаббла, заглянув в самые глубины космоса, раскрыл перед нами невероятное многообразие галактических форм. В этом паноптикуме кроме спиральных и эллиптических галактик есть еще множество более экзотических образований с центральными перемычками и причудливыми приливными «хвостами».



• Спиральная галактика
В спиральной галактике звезды внешнего диска вращаются вокруг ядра по более или менее круговым орбитам приблизительно в одной плоскости. Галактика сохраняет эту форму, потому что туманности в диске часто сталкиваются друг с другом — в результате любые «неправильные» движения быстро гасятся и устанавливается однородность. В балдже орбиты звезд более хаотичны, как и в эллиптической галактике.



• Линзообразная галактика
В линзообразной галактике, как и в эллиптической, звезды в центральной области движутся по эллиптическим орбитам с самыми разными наклонениями. В протяженном уплощенном диске движения облаков газа и пыли более упорядоченны, поэтому столкновения между ними сведены к минимуму. В диске могут быть и слабые звезды, но там нет никаких следов звездообразования и спиральных рукавов.



• Эллиптическая галактика
В эллиптических галактиках очень мало газа или пыли и много старых звезд. Звезды занимают гораздо меньше места, чем туманности, а расстояния между ними гораздо больше. Поэтому столкновения или сближения между ними происходят очень редко и их движения в галактике продолжают быть неупорядоченными: они остаются на своих эллиптических орбитах, часто сильно наклоненных друг к другу. В результате вся галактика имеет более или менее сферическую форму.

Спиральные галактики

Спиральные галактики — самые динамичные из крупных галактик: в них соседствуют молодые и старые звезды и много «строительного материала» для звездообразования.

В целом структура у всех спиральных галактик одна и та же, но со множеством вариантов. Кто-то сравнил спиральную галактику с глазуньей из двух яиц, сложенной пополам тыльной стороной: посредине — овальное утолщение (балдж) из старых красных и желтых звезд, с более плотным ядром в центре, а вокруг — протяженный, но относительно тонкий диск, полный облаков газа и пыли. Диск пронизывают спиральные рукава, обычно два или больше, заполненные яркими скоплениями недавно образовавшихся горячих голубых и белых звезд. Из-за этих скоплений рукава выделяются на фоне диска, но пространство между ними не пусто — по всему диску рассеяно множество сравнительно слабых разноцветных звезд среднего размера, похожих на наше Солнце.

Каждая спиральная галактика уникальна. У некоторых лишь один рукав, закрученный петлей вокруг ядра, у многих два рукава, у большинства три, четыре или даже больше. Рукава могут быть закручены туго или, наоборот, неплотно, иметь четкие очертания или расплывчатые и комковатые. Ядра бывают большие и яркие, маленькие и сравнительно тусклые. И самое главное, то, что определяет тип спиральной галактики по классификации Хаббла, — центральная область может яйцеобразной, а может содержать яркую, состоящую из звезд перемычку, от которой начинаются спиральные рукава.

Чем спиральные галактики не очень отличаются, так это размерами — самые крупные (к ним близки наш Млечный Путь и галактика в Андромеде) всего раза в два больше самых маленьких. Конечно, различие в диаметре между 50 000 и 100 000 световых лет может показаться огромным, но эллиптические галактики различаются между собой гораздо сильнее — и самые гигантские, и самые маленькие галактики относятся именно к этому типу. Похоже, что существует минимальный размер галактики, начиная с которого у нее может сформироваться спиральная структура.

С 1980-х растет количество свидетельств того, что в центре большинства, если не всех спиралей, находится сверхмассивная черная дыра — сколлапсировавшая область пространства с массой в несколько миллионов Солнц, скрытая из виду плотным скоплением звезд в ядре. В большинстве случаев эти черные дыры давно уже поглотили все объекты, орбиты которых подходили слишком близко к зоне их гравитационного влияния, но в некоторых галактиках они все еще продолжают захватывать и поглощать облака газа, пыли или даже целые звезды. Астрономы все еще спорят, родились ли эти черные дыры на заре истории Вселенной, и лишь впоследствии вокруг них образовались галактики, или первыми появились галактики, а черные дыры возникли благодаря высокой плотности вещества в их центрах.

А как образуются спиральные ветви? Эта загадка волновала астрономов много десятилетий. Измерения движений звезд в спиральных галактиках показывают, что звезда совершает оборот вокруг галактического центра примерно за 100–200 миллионов лет. Но возраст звезд говорит о том, что большинство спиралей существует миллиарды лет. Почему же спиральные ветви до сих пор не исчезли? Если бы они были физическими группами и цепочками звезд, они давно бы уже рассеялись вокруг ядра.

Разгадку подсказывает тот факт, что самые яркие звездные скопления всегда находятся в спиральных рукавах, а более старые звезды рассеяны по всему галактическому диску. Спиральная ветвь — не физическая структура, а «волна плотности», спиральная область пространства, в которой вещество более сжато. Эти волны являются неизбежным следствием того, что вокруг центра галактики обращается множество объектов, каждый по своей эллиптической орбите. Когда туманности входят в эти плотные области и выходят из них, они сжимаются и образуют яркие скопления новых звезд. К тому времени, когда их орбиты вокруг галактического центра выносят их за пределы волны плотности, оказывается, что самые яркие звезды в этих скоплениях уже закончили свой жизненный цикл, выгорели и погасли, а остались только более слабые и долгоживущие.

[Справа] **NGC 4414**
Спиральная галактика
Лишенная четких спиральных ветвей, рыхлая по структуре NGC 4414 классифицируется как «клочковатая» спиральная галактика. В таких галактиках рождение звезд не ограничено картиной галактических волн плотности, а распространяется по всему диску по мере того, как циклы рождения и гибели звезд стимулируют подобные процессы в соседних областях.
Расстояние: 60 миллионов световых лет.
Диаметр: 56 000 световых лет.

Галактика «Вертушка»
Спиральная галактика
M101
Галактика «Вертушка» почти вдвое больше Млечного Пути. В ней примерно триллион звезд, из которых около 100 миллиардов — солнечного типа.
Расстояние: 27 миллионов световых лет.
Диаметр: 170 000 световых лет.

Разнообразие спиральных галактик

Спиральные галактики принимают множество различных форм. Большинство астрономов обращает внимание главным образом на форму центральной области (есть ли в ней состоящая из звезд перемычка, выходящая из ядра) и на картину спиральных ветвей (насколько туго они закручены вокруг ядра). Эти различия позволяют отнести спираль к тому или иному классу, например Sa (туго закрученная обычная спираль) или SBd (слабо структурированная галактика с перемычкой).

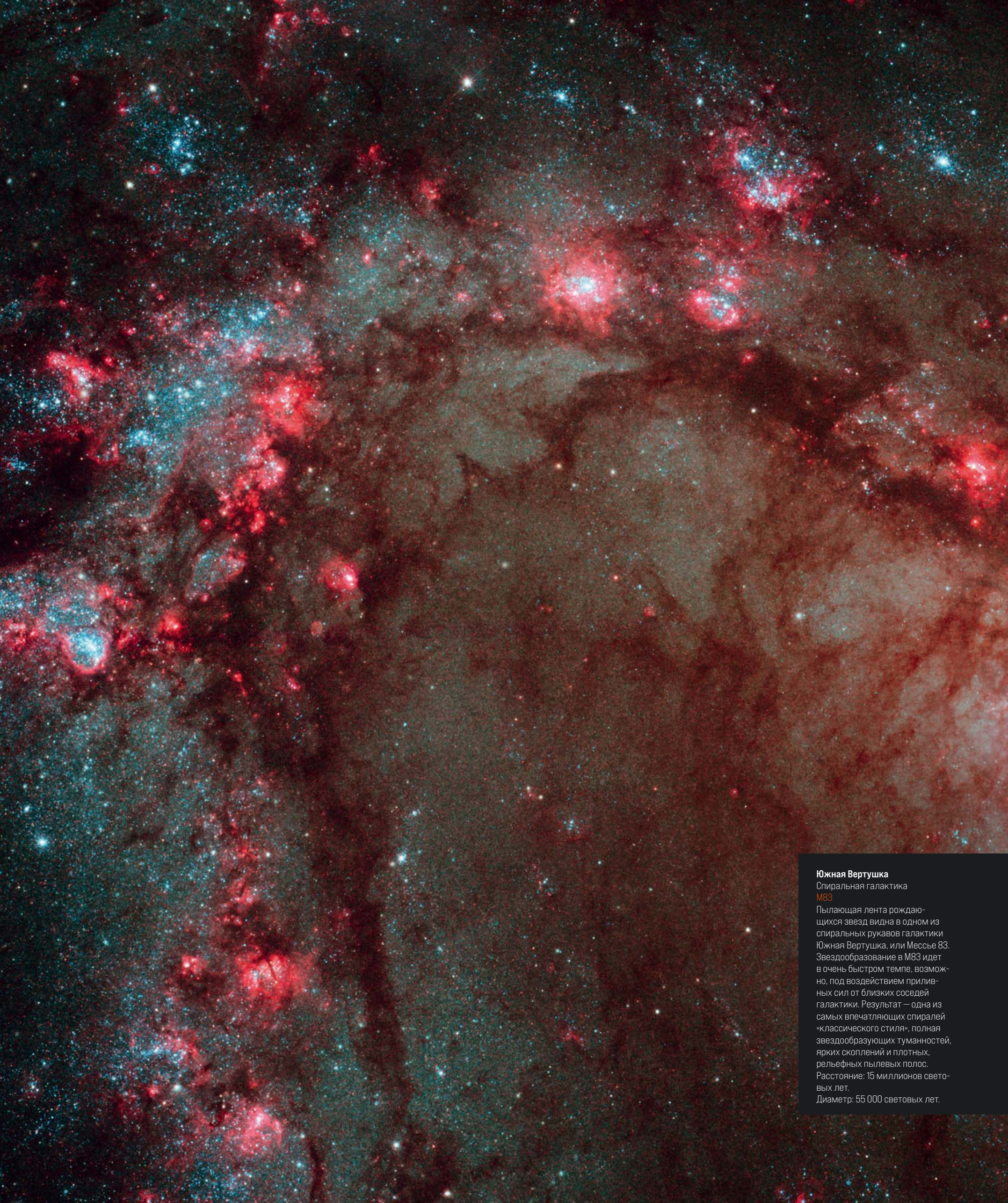
Но космос полон бесконечного разнообразия, и в нем не найти двух одинаковых спиральных галактик. У многих из них есть особенности, гораздо более значительные, чем узкие критерии наличия центральной перемычки или степени закрученности спирали. Например, существует явное различие между галактиками с четко очерченными рукавами и идеальной спиральной формой (так называемый классический стиль) и галактиками, в которых яркие звездные скопления рассеяны по всему диску разрозненными и размытыми кучками, из-за чего плохо просматривается и сама спиральная структура («клочковатые» спирали). Есть и огромные различия в яркости ветвей — иногда они сверкающие и легко различимые, а в других случаях слабые и почти незаметные, даже будучи хорошо очерченными.

Как уже говорилось, видимая спиральная структура следует за расположением областей интенсивного звездообразования, насыщенных короткоживущими, но яркими голубыми звездами, которые образуются, когда вещество диска входит в медленно вращающуюся галактическую волну плотности или выходит из нее. В спиралях «классического стиля» действие волн плотности проявляется сильнее всего, в то время как в «клочковатых» спиралях оно полностью сходит на нет и области звездообразования оказываются во власти локальных сил, таких как случайные столкновения туманностей или близкие взрывы сверхновых. Таким образом, яркость спиральной структуры в галактике хорошо объясняется наличием волны плотности: она должна отражать количество имеющегося в диске той или иной галактики «строительного материала» для звездообразования и темп звездообразования при прохождении этим материалом волны плотности.

Самой трудной задачей для астрономов стало объяснить, как могут возникнуть волны плотности и как они позже рассеиваются. Они не могут быть физическими объектами, иначе их бы постигла судьба физического спирального рукава, который за несколько оборотов рассеялся бы в центральной области галактики (чего, очевидно, не происходит, судя по огромному числу наблюдаемых спиральных галактик).

К счастью, здесь нашлось остроумное объяснение, основанное на открытых четыре столетия назад физических законах. Объекты, обращающиеся по эллиптическим орбитам в галактическом диске, следуют тем же законам, что и планеты Солнечной системы: на одном конце своей орбиты они оказываются дальше от галактического центра, чем на другом, и в дальней части орбиты они движутся медленнее. Спиральные структуры являются естественным результатом массового обращения большого числа объектов по слабо эллиптическим орбитам: волны плотности образуются в областях «заторов», где объекты скапливаются в результате массового замедления движения во внешних частях их орбит.

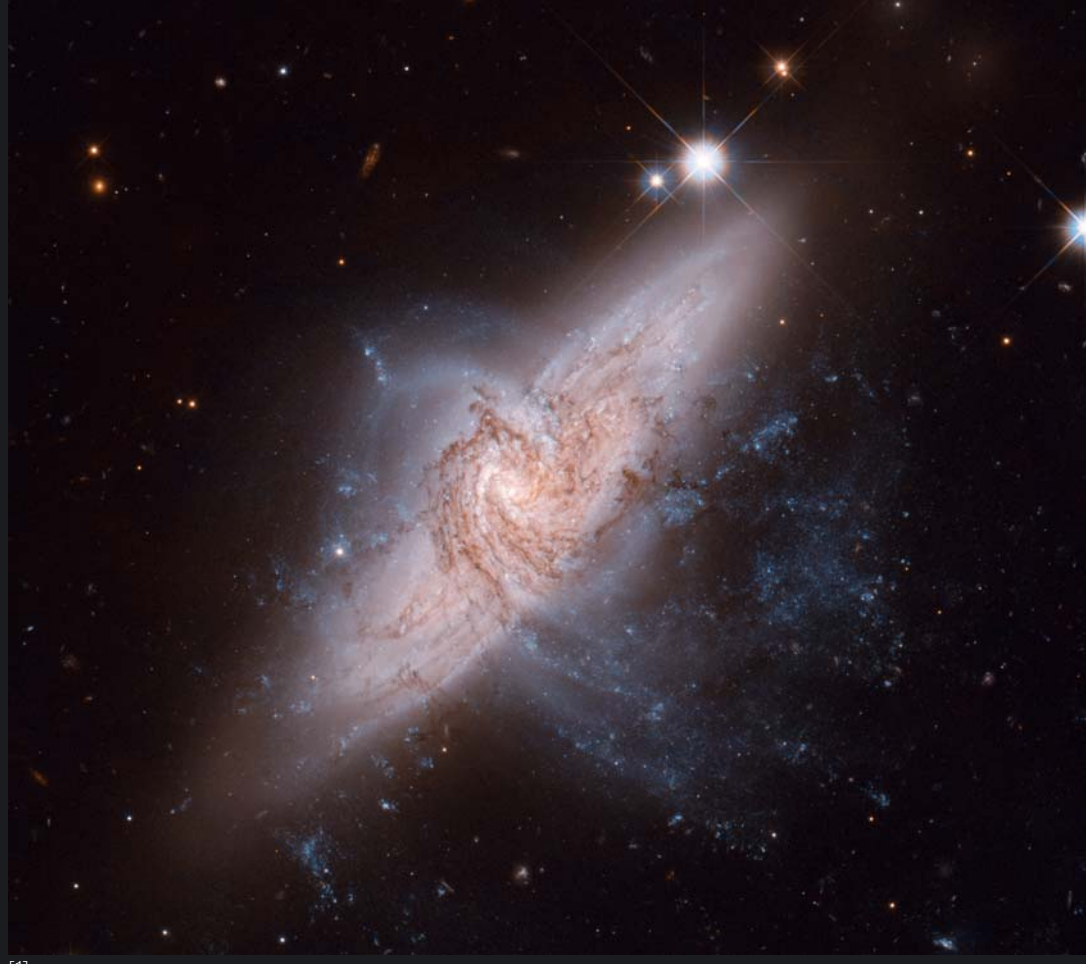
[Вверху] **Асимметричный гигант**
Спиральная галактика M66
Этот полученный с высоким разрешением снимок космического телескопа «Хаббл» позволяет рассмотреть детали структуры гигантской спиральной галактики Мессье 66 в центре группы галактик, называемой Триплетом Льва. M66 деформирована гравитацией ее соседей: ее балдж не совпадает с геометрическим центром, а один спиральный рукав загибается над центральной плоскостью галактики.
Расстояние: 35 миллионов световых лет.
Диаметр: 100 000 световых лет.



Южная Вертушка
Спиральная галактика
M83
Пылающая лента рождающихся звезд видна в одном из спиральных рукавов галактики Южная Вертушка, или Мессье 83. Звездообразование в M83 идет в очень быстром темпе, возможно, под воздействием приливных сил от близких соседей галактики. Результат — одна из самых впечатляющих спиралей «классического стиля», полная звездообразующих туманностей, ярких скоплений и плотных, рельефных пылевых полос.
Расстояние: 15 миллионов световых лет.
Диаметр: 55 000 световых лет.

Галактика Сомбреро
Спиральная галактика
M104
Эта галактика с массой в 800 миллиардов Солнц обязана своим названием необычно яркому ядру в форме луковицы и темным полосам газа вдоль всего диска, видимого с ребра. В ней более 2000 шаровых скоплений, вдесятеро больше, чем в нашей. Рентгеновское излучение говорит о том, что в ядре галактики Сомбреро находится черная дыра массой в миллиард Солнц.
Расстояние: 28 миллионов световых лет.
Диаметр: 50 000 световых лет.

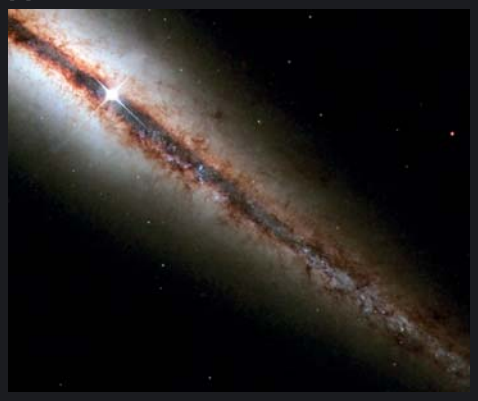
Мессье 106
Спиральная галактика
NGC 4258
В результате объединения снимков, сделанных космическим телескопом «Хаббл», с любительскими наблюдениями получился уникальный вид спиральной галактики Мессье 106: отчетливый розоватый оттенок аномальных ветвей можно связать с активной центральной черной дырой.
Расстояние: 24 миллиона световых лет.
Диаметр: 130 000 световых лет.



[1]

[2]

[3]



[4]

[1] **NGC 3314a/3314b**
Спиральные галактики
В результате случайной проекции две галактики кажутся столкнувшимися друг с другом, как два корабля, не заметившие друг друга во тьме. На деле NGC 3314a (на переднем плане) отделена от NGC 3314b безопасным расстоянием в 25 миллионов световых лет.
Расстояние: 117 и 140 миллионов световых лет.
Диаметр: 40 000 и 70 000 световых лет.

[2] **NGC 3949**
Спиральная галактика
NGC 3949 — близкая спиральная галактика, которую считают очень похожей на наш Млечный Путь. Это относительно открытая спираль, но, в отличие от нашей Галактики, в ней нет состоящей из звезд центральной перемычки.
Расстояние: 42 миллиона световых лет.
Диаметр: 35 000 световых лет.

[3] **Галактика Боде**
Спиральная галактика
M81
В инфракрасных лучах ярко горят спиральные ветви галактики Боде: это светится пыль, разогретая излучением молодых звезд высокой светимости.
Расстояние: 12 миллионов световых лет.
Диаметр: 72 000 световых лет.

[4] **NGC 4012**
Спиральная галактика
Темные волокна пыли образовали пласт глубиной в 500 световых лет, аккуратно разрезавший пополам видимую с ребра спиральную галактику. В этом пласте, содержащем «строительный материал» для многих миллионов Солнц, идет настоящий звездный «нерест», заметный по искрам ультрафиолетового излучения новорожденных скоплений гипергигантских звезд.
Расстояние: 55 миллионов световых лет.
Диаметр: 70 000 световых лет.

[1]

[2]

[1] **NGC 4622**
Спиральная галактика
Уникальность NGC 4622 среди спиральных галактик в том, что она, по-видимому, вращается в обратную сторону. Судя по ориентации ее внешней спирали, следовало бы ожидать, что она вращается против часовой стрелки, а наблюдения показывают обратное.
Расстояние: 111 миллионов световых лет.
Диаметр: 55 000 световых лет.

[2] **NGC 6782**
Спиральная галактика с перемычкой
Когда эту ничем не примечательную спираль с перемычкой исследовали в ультрафиолетовых лучах, оказалось, что ее ядро окружено ярким кольцом из миллиардов новорожденных гигантских звезд. Астрономы считают, что звездообразование в этом кольце могло быть активировано приливными силами между плотной центральной перемычкой NGC 6782 и остальной частью галактики.
Расстояние: 183 миллиона световых лет.
Диаметр: 82 000 световых лет.

[на соседней странице] **NGC 1300**
Спиральная галактика с перемычкой
В галактиках с перемычкой спиральные рукава не выходят непосредственно из ядра галактики, а примыкают к состоящей из пыли, газа и звезд перемычке, которая тянется на 15 000 световых лет с каждой стороны ядра. Считается, что перемычка снабжает центральную область и ядро галактики материалом для звездообразования и поставляет «пищу» для сверхмассивной черной дыры.
Расстояние: 63 миллиона световых лет.
Диаметр: 150 000 световых лет.

[Вверху] **NGC 2787**
Линзообразная галактика
Линзообразные галактики — неуклюжий гибрид эллиптических и спиральных. То ли это спираль, в которой звездообразование остановилось и остался только диск из газа, пыли и слабых звезд, то ли эллиптическая галактика, притянувшая к себе туманность и расположившаяся внутри нее.
Расстояние: 24 миллиона световых лет.
Диаметр: 4500 световых лет.

Эллиптические и линзообразные галактики

Эллиптические галактики — шары, состоящие из беспорядочно рассеянных старых красных и желтых звезд, а линзообразные — гибрид эллиптических и спиральных.

Считается, что на долю эллиптических приходится около 60% всех галактик во Вселенной. Среди них встречаются и самые крупные, и самые маленькие: от захудалых разбросанных звездных скоплений, которые можно выявить только компьютерным анализом, до гигантских сфер, содержащих по триллиону и более звезд.

Однако у всех эллиптических галактик есть нечто общее. Среди их звездного населения преобладают старые красные и желтые звезды, состоящие в основном из водорода и гелия; более тяжелых элементов, которые характерны для более поздних поколений звезд, очень мало. Это звезды населения II, похожие на те, что заполняют центральные области спиральных галактик, таких как Млечный Путь, и шаровые скопления, которые окружают со всех сторон плоскость нашей Галактики. Звезды в эллиптических галактиках обращаются по эллиптическим орбитам с хаотически распределенными наклонениями, поэтому вместо того, чтобы сформировать плоский диск, они образуют шарообразный рой, иногда более или менее вытянутый. Наконец, большинство эллиптических галактик содержит очень мало газа и пыли, и поэтому в них не так много областей звездообразования, как в спиральных и неправильных галактиках.

Самые маленькие эллиптические галактики — это эллиптические и сфероидальные карлики, группы очень слабо связанных между собой звезд численностью от нескольких сот тысяч до нескольких миллионов. Звезды такой галактики занимают гораздо больший объем, чем шаровое скопление, и поэтому в отличие от шарового скопления карликовая эллиптическая галактика мало заметна. В нашей Местной группе около двух десятков таких галактик, и их очень трудно отличить от фоновых звезд самого Млечного Пути.

Нормальные эллиптические галактики гораздо крупнее, плотнее и эффектнее с виду. Эти звездные конгломераты бывают самых разных форм и размеров. Два близких спутника галактики Андромеды, M32 и M110 — сравнительно небольшие эллиптические галактики, хотя и гораздо более яркие, чем типичный эллиптический карлик. С нашей точки зрения, M32 является почти идеальной сферой, тогда как M110 заметно вытянута и классифицируется по схеме Хаббла как E6. Многие другие эллиптические галактики имеют средние размеры — они несколько меньше Млечного Пути, но не такие маленькие, как спутники Туманности Андромеды.

Крупнее всех эллиптические гиганты. Они встречаются редко и только в центрах больших скоплений галактик. Обычно это почти идеально сферические звездные шары, которые могут содержать более триллиона (миллион миллионов) звезд.

Особенности эллиптических галактик объясняются тем, что в них мало газа и пыли. Каким-то образом эллиптические галактики потеряли большую часть своей межзвездной среды, и теперь в них нет ничего, кроме звезд. В отсутствие туманностей, в которых содержался бы материал для рождения новых поколений звезд, яркие голубые и белые звезды сожгли свои запасы ядерного горючего и достигли конца своей эволюции. Остались только более долгоживущие устойчивые и менее яркие звезды. В спиральных галактиках межзвездная среда играет и другую важную роль — удерживает орбиты звезд в одной плоскости. Галактический диск в этом отношении напоминает систему колец вокруг планеты: столкновения между объектами ведут к уплощению и уменьшению вытянутости их орбит (см. с. 68). Но в галактике звезды настолько рассеяны в пространстве, что прямые столкновения или даже тесные сближения между ними случаются гораздо реже. Роль регулятора орбит берет на себя межзвездная среда, хоть и разреженная — ведь в спиральных галактиках звезды «продираются» сквозь нее. Но в эллиптических галактиках силы, которая могла бы упорядочить движения звезд, нет, поэтому их орбиты остаются сильно вытянутыми и имеют самые разные наклонения.

NGC 1316
Эллиптическая галактика
Необычные пылевые полосы в этой гигантской эллиптической галактике могут объясняться тем, что она недавно поглотила одну или несколько спиральных.
Расстояние: 75 миллионов световых лет.
Диаметр: 215 000 световых лет.

Неправильные галактики

Неправильные галактики, бесформенные облака звезд, газа и пыли, могут тем не менее представлять собой эффектное космическое зрелище.

Неправильные галактики — относительно небольшие и в целом бесформенные конгломераты звезд и туманностей. Однако их бесформенность не означает малой яркости — часто они гораздо ярче эллиптических галактик того же размера. В них много молодых и ярких бело-голубых звезд, так как обилие в них газа и пыли обеспечивает достаточно материала для звездообразования.

Неправильные галактики часто обнаруживаются в тесном соседстве с более крупными, например, спиральными галактиками. Гравитационные приливные «тяни-толкаи», вызванные воздействием их более массивных соседей, могут привести к образованию в них мощных волн сжатия. Распространяясь по галактике, такая волна запускает в туманностях вспышки звездообразования; в результате в ограниченной области галактики в большом количестве рождаются новые поколения ярких молодых звезд. Этот процесс иногда развивается настолько бурно, что некоторые галактики со вспышками звездообразования называют «взрывающимися галактиками».

[1] NGC 4214
Неправильная галактика
Плотные облака пыли и газа подпитывают «пожар звездообразования», который буквально пожирает эту неправильную галактику.
Расстояние: 8 миллионов световых лет.
Диаметр: 22 000 световых лет.

[2] NGC 1569
Неправильная галактика
Тесное сближение с другой галактикой породило яростную волну звездообразования, которая прошла по NGC 1569 в виде цепной реакции вспышек сверхновых. Ударные волны от них привели к появлению из межзвездной среды следующего поколения массивных коротко-живущих звёзд.
Расстояние: 7 миллионов световых лет.
Диаметр: 10 000 световых лет.

[1]

[2]

Галактика Сигара
Неправильная галактика
M82
600 миллионов лет назад тесное сближение с M81 вызвало в M82 вспышку звездообразования. Под воздействием приливных сил огромные облака пыли и газа вокруг ядра галактики сколлапсировали и образовали более 100 шаровых скоплений с более чем 100 000 звезд. Рождение звезд продолжается до сих пор, так как вещество (на фото показано красным), оторванное от M82 при близком прохождении гигантской соседки, теперь возвращается.
Расстояние: 12 миллионов световых лет.
Диаметр: 40 000 световых лет.

NGC 4696
Эллиптическая галактика
Фантастическое энерговыделение активных галактик возможно только благодаря действию самой эффективной во Вселенной машины по производству энергии — черной дыры. Изучая NGC 4696 в рентгеновских лучах, астрономы измерили приток вещества, питающего сверхмассивную черную дыру в центре галактики, и сравнили эту величину с энерговыделением центральной области галактики. Они обнаружили, что при стягивании вещества к горизонту событий до 50% его массы может непосредственно переходить в энергию. При термоядерном синтезе в энергию переходит менее 1% массы.
Расстояние: 150 миллионов световых лет.
Диаметр: 152 000 световых лет.

[1]

[2]

[1] **NGC 4438**
Деформированная спиральная галактика
Излучение газа и пыли, притягиваемых к центральной черной дыре NGC 4438, привело к образованию плазменного «пузыря», поднимающегося на 800 световых лет над аккреционным диском (слева вверху).
Расстояние: 50 миллионов световых лет.
Диаметр: 130 000 световых лет.

[2] **NGC 4261**
Эллиптическая галактика
На этом замечательном снимке — черная дыра размером больше Солнечной системы, погруженная в бешено вертящийся вокруг нее аккреционный диск 800 световых лет в поперечнике. Масса этой черной дыры 1,2 миллиарда солнечных масс; она поглотила остатки малой галактики, захваченной когда-то галактикой NGC 4261.
Расстояние: 100 миллионов световых лет.
Диаметр: 60 000 световых лет.

Активные галактики

Активные галактики — крупнейшие источники энергии во Вселенной. Они выделяют гораздо больше энергии, чем любая обычная галактика.

По Вселенной рассеяно множество галактик, которые не укладываются в рамки обычной классификации. Их свойства нельзя объяснить даже сложными межгалактическими взаимодействиями. Часто оказывается, что такие галактики испускают мощное излучение, и, хотя между различными их группами мало общего, их объединили одним названием «активные галактики», подозревая, что разнообразные проявления их активности вызывает один и тот же неизвестный фактор.

Картина активности галактик меняется в зависимости от расстояния до них, а значит, и от эпохи развития Вселенной, в которой мы их наблюдаем, — знак того, что эта активность связана с эволюцией галактик. В довольно близком соседстве с нами находятся галактики Сейферта — спирали с необычно яркой центральной частью, которые могут непредсказуемо изменять количество излучаемой ими энергии менее чем за сутки. Такие изменения не могут быть вызваны колебаниями яркости звезд в ядре галактики — ведь эта область простирается на тысячи световых лет, и даже если бы удалось найти механизм изменения блеска всех лежащих там звезд, для того чтобы он сработал, пусть даже со скоростью света, должно пройти много лет. Быстрые изменения блеска сейфертовских и других активных галактик — признак того, что гигантские потоки порождаемого ими излучения возникают в очень малой области размером порядка Солнечной системы.

Гораздо дальше находятся квазары и блазары. Когда квазары были впервые зарегистрированы, астрономы приняли их за переменные звезды нового типа, так как они выглядели звездообразными светлыми точками, непредсказуемо меняющими свой блеск. Сам термин «квазар» — сокращение от «квази-звездный объект». Только после того, как были получены их спектры, стало понятно, что квазары и блазары — невероятно яркие компактные источники света, находящиеся в далеких галактиках.

Все типы активных галактик часто ассоциируются с радиоисточниками — огромными диффузными пузырями относительно холодного газа, которые излучают радиоволны. Есть и такие активные галактики — «радиогалактики», — которые излучают только радиоволны. Обычно они имеют вид пары гигантских полостей, окружающих обычную галактику и намного превосходящих ее размерами. Эти полости иногда связаны с центром галактики длинными и узкими джетами длиной в тысячи световых лет.

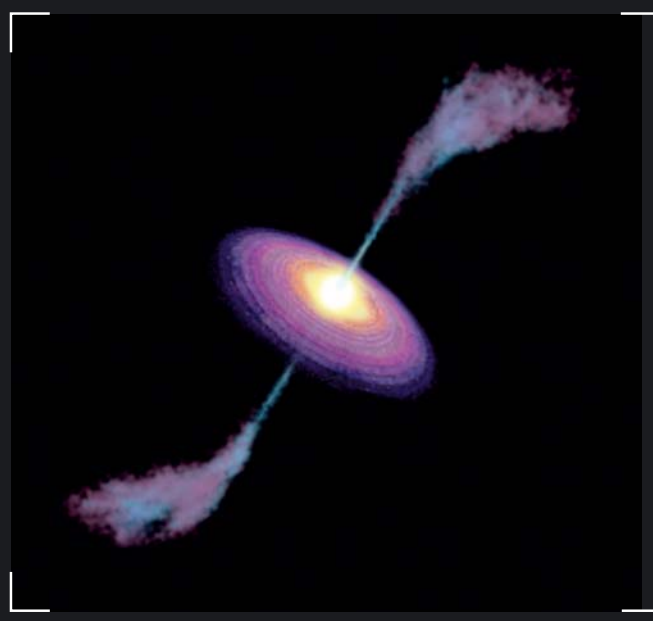
Активные галактики разнообразны по своим характеристикам, но можно свести это пестрое разнообразие к единому механизму — видимому под разными углами мощному переменному источнику излучения в ядре галактики.

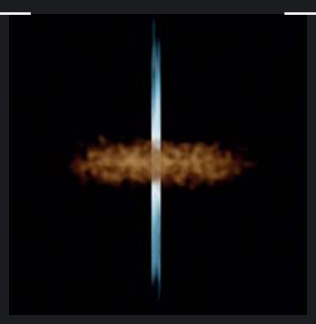
Согласно этой «стандартной модели», активное галактическое ядро (АГЯ) подобно ядру нашей собственной Галактики, но с одним важным отличием. В ядре как любой активной галактики, так и Млечного Пути, находится сверхмассивная черная дыра с массой в миллионы Солнц, и это ядро на расстоянии примерно 100 световых лет окружено непрозрачным тором из газа и пыли. Отличие в том, что в нашей Галактике область гравитационного влияния черной дыры пуста, вещество в черную дыру не поступает и она остается «спящей». В активной же галактике черная дыра «пожирает» окружающее ее вещество, часто в огромных количествах.

В галактиках Сейферта «пищей» могут быть обыкновенные пылевые облака, но, когда они устремляются в «пасть» монстра, быстро возрастающие гравитационные силы разрывают их в клочья и нагревают. В результате образуется спиральный аккреционный диск, в процессе его поглощения черной дырой излучающий огромный поток высокоэнергетического излучения. Именно диск и является источником избыточного излучения галактики. То же самое происходит в квазарах и блазарах, хотя в этих более активных галактиках черные дыры могут поглощать целые звезды.

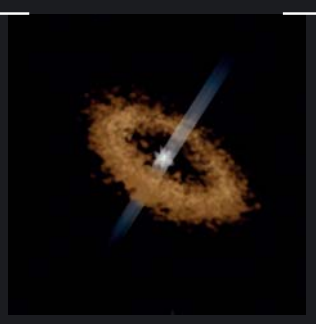
Однако не все вещество аккреционного диска попадает в сингулярность — под влиянием мощного магнитного поля черной дыры часть его собирается в струи (джеты), выбрасываемые из ее полюсов. Частицы этого вещества, движущиеся со скоростью, близкой к скорости света, в конце концов сталкиваются с межгалактической материей, образуя полости, которые излучают радиоволны.

Остальные детали в конечном счете определяются перспективой. У большинства активных галактик (сейфертовских и квазаров) мы видим аккреционный диск под некоторым углом к его плоскости, так что он оказывается ярче всей остальной части галактики. В случае радиогалактик мы находимся в плоскости диска, он скрыт от нас внешним пылевым кольцом, и мы видим только радиоизлучение джетов. В тех редких ситуациях, когда джет, выбрасываемый из черной дыры, случайно оказывается направленным прямо на нас, мы наблюдаем блазары — именно ориентация джета и объясняет те необычные особенности, по которым астрономы отличают их от квазаров.

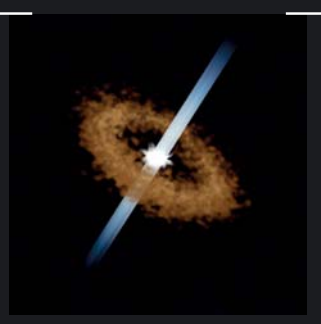




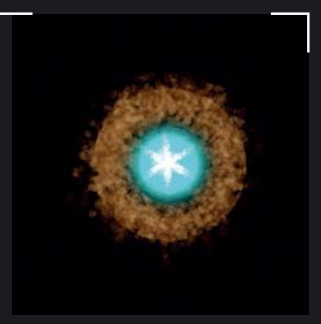
• Радиогалактика. Так как мы смотрим сбоку, газопылевое кольцо вокруг ядра активной галактики полностью его скрывает. Видны только джеты и их воздействие на облака межгалактического газа с обеих сторон от галактики.



• Галактика Сейферта. Когда ядро видно под углом (наиболее частое расположение) и его активность относительно низка, центральный аккреционный диск выглядит звездообразной точкой, увеличивая общий блеск галактики.



• Квазар. У гораздо более далеких, а значит, более молодых и бурно развивающихся активных галактик, так же ориентированных по отношению к Земле, как и сейфертовские, блеск аккреционного диска может затмить остальную галактику, отчего квазар и выглядит как изолированная звездообразная точка.



• Блазар. В редких случаях, когда джет из ядра галактики направлен нам «в лоб», мы видим блазар: как и квазар, он выглядит точечным источником света, но его спектр лишен линий, которые образуются, когда свет проходит сквозь аккреционный диск.

Радиогалактики

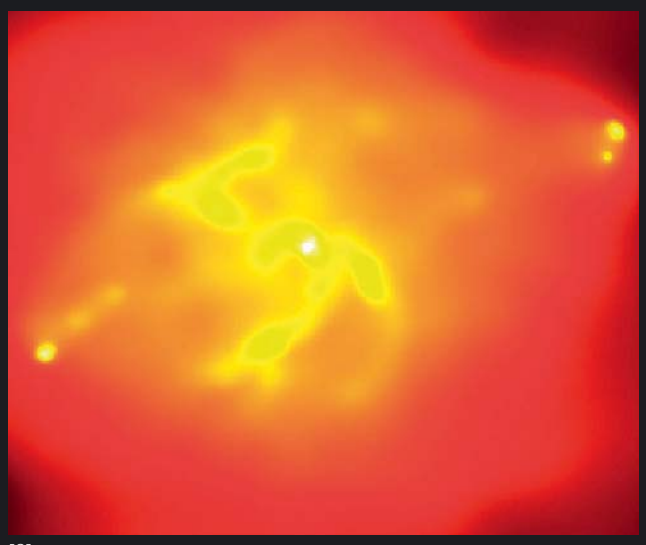
Первой зарегистрированной радиогалактикой был источник Лебедь А, обнаруженный в 1946 году двумя британскими учеными при помощи модифицированного боевого радара — только что закончилась Вторая мировая война. Сначала думали, что эти радиоволны излучают звезды нашей Галактики, и только в 1951 году положение источника удалось определить с достаточной точностью. Вскоре появились фотографии, доказывающие, что радиоисточник совпадает с далекой деформированной галактикой.

[1] **Центавр А**
Деформированная эллиптическая галактика
NGC 5128
Необычная галактика NGC 5128 окружена гигантскими оболочками, интенсивно излучающими радиоволны. Оптические изображения показывают, что NGC 5128 — крупная эллиптическая галактика с темной пылевой полосой, пересекающей ее центр. Это остаток спиральной галактики, которую NGC 5128 поглотила около 100 миллионов лет назад. Вероятно, именно этот акт «каннибализма» послужил причиной нынешней активности, так как снабдил «пищей» центральную черную дыру и породил два излучающих джета длиной по 25 000 световых лет.
Расстояние: 15 миллионов световых лет.
Диаметр: 80 000 световых лет.

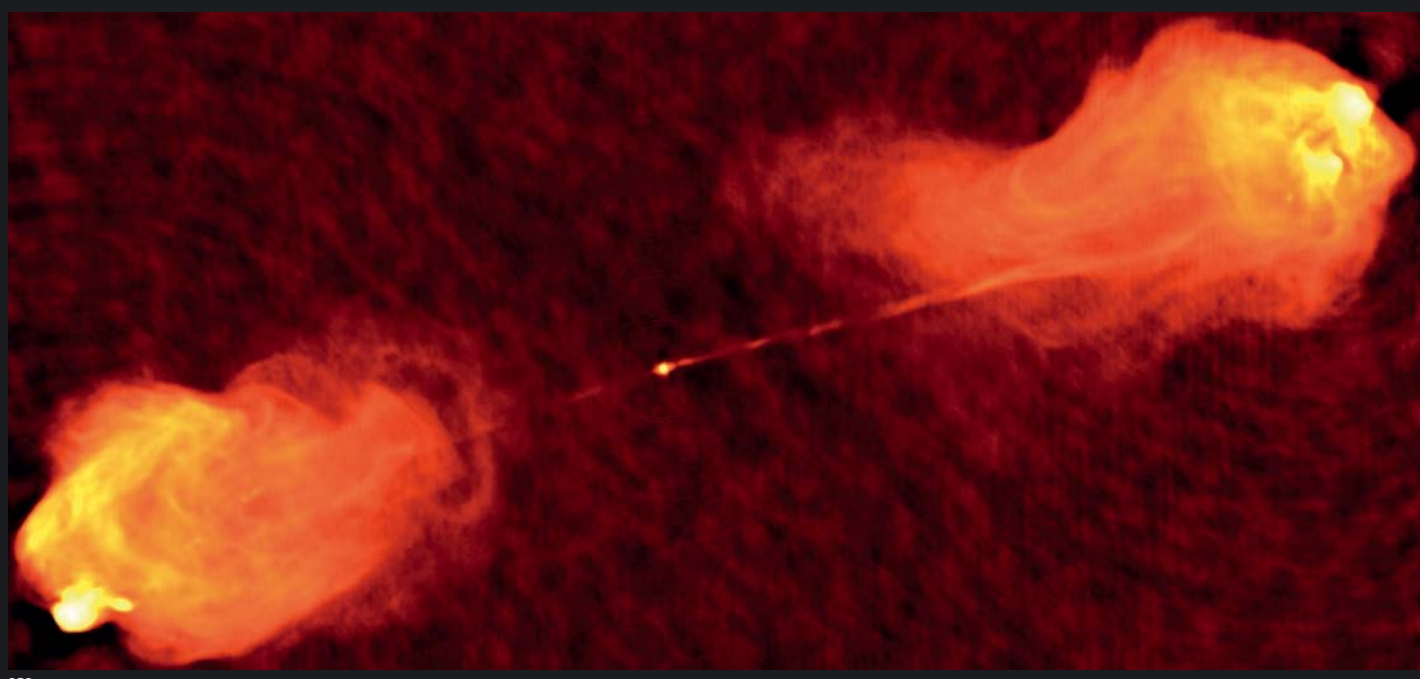
[2] [3] **Лебедь А**
Деформированная эллиптическая галактика
3C 405
Лебедь А, первая из открытых радиогалактик, остается самым интенсивно излучающим объектом в окружающей нас области Вселенной. Из центральной галактики истекают два одинаковых противоположно направленных джета [2], вместе с которыми общий диаметр всего комплекса составляет полмиллиона световых лет. Сама активная галактика, по-видимому, подобно NGC 5128, является продуктом недавнего слияния. Рентгеновские изображения показывают [3], что джеты образовали в окружающем галактику разреженном газе гигантскую полость.
Расстояние: 600 миллионов световых лет.
Диаметр: 120 000 световых лет.

[4] [5] [6] **M87**
Эллиптическая галактика
NGC 4486
В центре скопления галактик в созвездии Девы лежит гигантская эллиптическая галактика, в 20 раз более массивная, чем Млечный Путь. В ее ядре находится очень активная черная дыра массой в два миллиарда Солнц. В нее по спирали устремляются массы пыли и газа, а от нее наружу извергается излучающая струя длиной 5000 световых лет [4]. На рентгеновских снимках M87 видны окружающие галактику петли и арки [5]. Переменность их излучения говорит о том, что ядро галактики остается активным уже более 100 миллионов лет [6]. Одно из возможных объяснений тройной кольцевой структуры, видимой на этом рентгеновском изображении ядра M87, — слияние двух вращающихся сверхмассивных черных дыр.
Расстояние: 60 миллионов световых лет.
Диаметр: 120 000 световых лет.

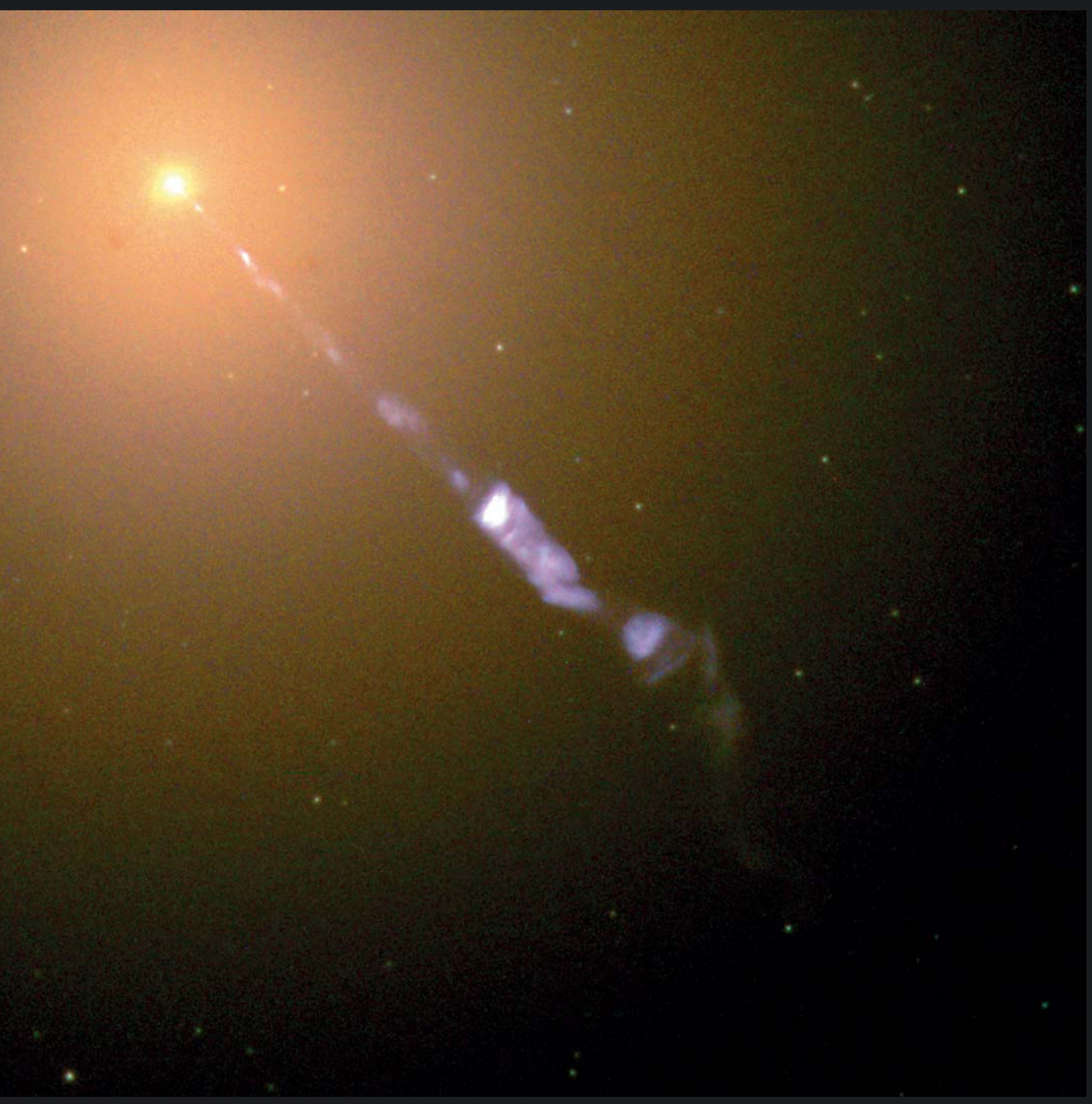
[1]



[2]

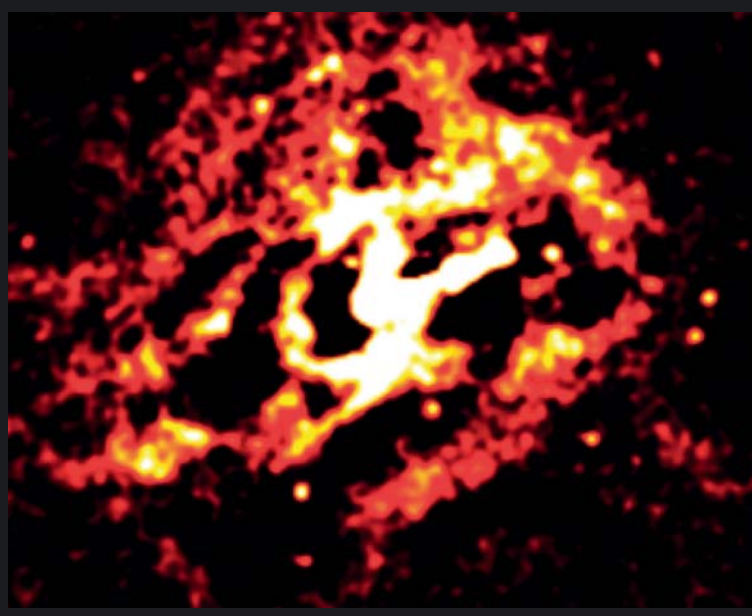


[3]



[4]

[5]



[6]

Галактики Сейферта

Сейфертовские галактики — спирали с необычно яркими точечными источниками света в ядрах — составляют около 2% всех спиральных галактик. Хотя они были описаны только в 1943 году, астрономы еще в самом начале XX века начали замечать их необычность, не столько морфологическую, сколько спектральную: судя по спектрам, в их центральных частях было очень много очень горячего газа. В 1943-м Карл Сейферт связал необычные спектральные линии с яркими источниками энергии в центрах таких галактик, но только в 1965 году он первым заметил, что эти источники можно считать миниатюрными квазарами.

[1]

[2]

[1] **Галактика в Циркуле**
Спиральная галактика
ESO 97-G13
Сердце галактики в созвездии Циркуля ярко светится оттого, что облака газа поглощает сверхмассивная черная дыра. Вблизи горизонта событий трение нагревает эти облака до многих миллионов градусов; образующийся при этом мощный «ветер» вырывает газ из объятий черной дыры и выбрасывает в пространство в виде заметных на снимке пурпурных струй, протянувшихся на 3000 световых лет над ядром галактики.
Расстояние: 13 миллионов световых лет.
Диаметр: 37 000 световых лет.

[2] **NGC 3079**
Спиральная галактика
Из ядра NGC 3079 со скоростью 6 миллионов км/ч (4 миллиона миль в час) несется ураган высокоэнергетических частиц, выметая с собой нагретый до 10 миллионов градусов Цельсия (18 миллионов по Фаренгейту) газ на расстояние в 3500 световых лет. Этот «ветер» либо дует от аккреционного диска вокруг сверхмассивной черной дыры, либо порождается колоссальной вспышкой звездообразования. Впоследствии этот газ возвращается обратно в галактику, чтобы дать начало новым поколениям звезд.
Расстояние: 50 миллионов световых лет.
Диаметр: 70 000 световых лет.

Квазары и блазары

Название активных галактик самой высокой светимости, но в то же время и самых далеких, является сокращением термина «квазизвездные радиоисточники» и напоминает о том, какие споры и недоразумения были связаны с пониманием их природы. Первые квазары были зарегистрированы по их радиоизлучению и лишь позже отождествлены со слабыми, но отличающимися непредсказуемой переменностью звездообразными световыми точками. Сначала их считали таинственными «радиозвездами», но наблюдения выявили в их спектрах огромные красные смещения линий. Это значило, что квазары находятся на невероятно больших расстояниях от Земли и никак не могут быть переменными звездами — это мощные активные галактики.

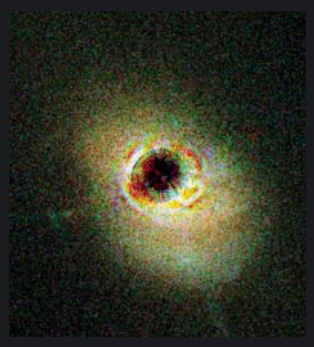
[1]

[1] **HE1239-2426**
Квазар
На снимках, полученных Космическим телескопом Хаббла, видно, что этот и другие типичные квазары находятся в центрах спиральных галактик относительно нормального вида, слабое свечение которых до недавнего времени было невозможно зарегистрировать.
Расстояние: 1,5 миллиарда световых лет.
Диаметр: неизвестен.

[2] **HE0450-2958**
Квазар
Этот необычный квазар кажется просто ярким звездообразным точечным источником света (в центре). Звезда поля внизу справа и деформированная галактика вверху слева не имеют к нему никакого отношения. Такие «голые» квазары могут образовываться, когда обычная новорожденная галактика сталкивается с одинокой сверхмассивной черной дырой.
Расстояние: 5 миллиардов световых лет.
Диаметр: неизвестен.

[3] **3C 273**
Квазар
Этот снимок относительно близкого квазара 3C 273 получен с использованием «коронографа» — устройства, блокирующего излучение ядра галактики. На нем видны сложные структуры, образуемые активным ядром в своей галактике.
Расстояние: 2,1 миллиарда световых лет.
Диаметр: 160 000 световых лет.

[2]



[3]

Эволюция галактик

На протяжении миллиардов лет галактики постоянно меняются, переходя из одной формы в другую. В конечном счете именно их развитие и определяет эволюцию Вселенной.

Мы познакомились с огромным разнообразием рассеянных во Вселенной галактик — от крохотных эллиптических карликов до мощных активных галактик, от величественных спиральных до хаотических неправильных. Может показаться, что найти какой-то порядок в этом разнообразии невозможно. Астрономам потребовалось много времени, чтобы хотя бы приблизиться к непротиворечивому объяснению различий в свойствах галактик, и сейчас мы, кажется, впервые нащупали здесь твердую почву.

Ключевую роль в развитии галактик играют столкновения. В отличие от звезд, галактики довольно часто сталкиваются друг с другом: с учетом их размеров можно сказать, что они расположены довольно тесно и гравитация более крупных из них достаточно велика, чтобы притянуть к себе соседей. Например, наш Млечный Путь, по-видимому, недавно поглотил одну малую галактику и сталкивается с другой — эллиптическим карликом в Стрельце, по другую сторону балджа по отношению к нам. В плену у нашей гигантской спиральной Галактики находится еще целый рой малых галактик, орбиты которых пока еще позволяют им оставаться в безопасности, но которым уготована та же судьба.

Крупная галактика в состоянии легко разрушить карликовую эллиптическую или неправильную и рассеять внутри себя ее звездный состав. Столкновение и даже просто тесное сближение двух больших галактик — проблема более сложная. Такое событие дает толчок мощным вспышкам звездообразования, но в то же время лишает галактики их жизненной силы — холодного межзвездного газа и пыли, запасы которых обеспечивают рождение новых звезд (см. с. 192, 198).

Сейчас, когда наблюдательная техника стала гораздо совершеннее и появилось понимание того, что именно следует искать, представляется, что сталкивающиеся галактики — явление повсеместное. Многие активные галактики, по всей видимости, наблюдаются именно в процессе столкновения или поглотили другую звездную систему в недавнем прошлом. Именно межгалактические столкновения, вероятно, стали главным фактором активизации черной дыры в ядрах многих галактик.

Представить себе, как столкновение между галактиками привело к образованию хаотически организованной неправильной галактики, относительно легко. Гораздо труднее понять, как такие столкновения могли породить новые регулярные спирали. И все же, по-видимому, именно это и происходит. Процесс эволюции галактик оказывается непохожим на постепенный переход от одного типа к другому, каким его представлял Хаббл на основе своей «вилочной» классификации, — это повторяющийся цикл столкновений, трансформаций и рассеяний.

В соответствии с наиболее популярной современной теорией галактики эволюционируют в скоплениях и сверхскоплениях, претерпевая ряд столкновений. В молодых скоплениях галактик много холодного межгалактического газа, который легко захватывается молодыми галактиками. Но с течением времени при каждом столкновении галактик некоторое количество газа в них нагревается и выталкивается наружу. Этот горячий газ удерживается общей гравитацией скопления, но теперь он уже слишком быстро движется, чтобы галактики легко могли его захватить.

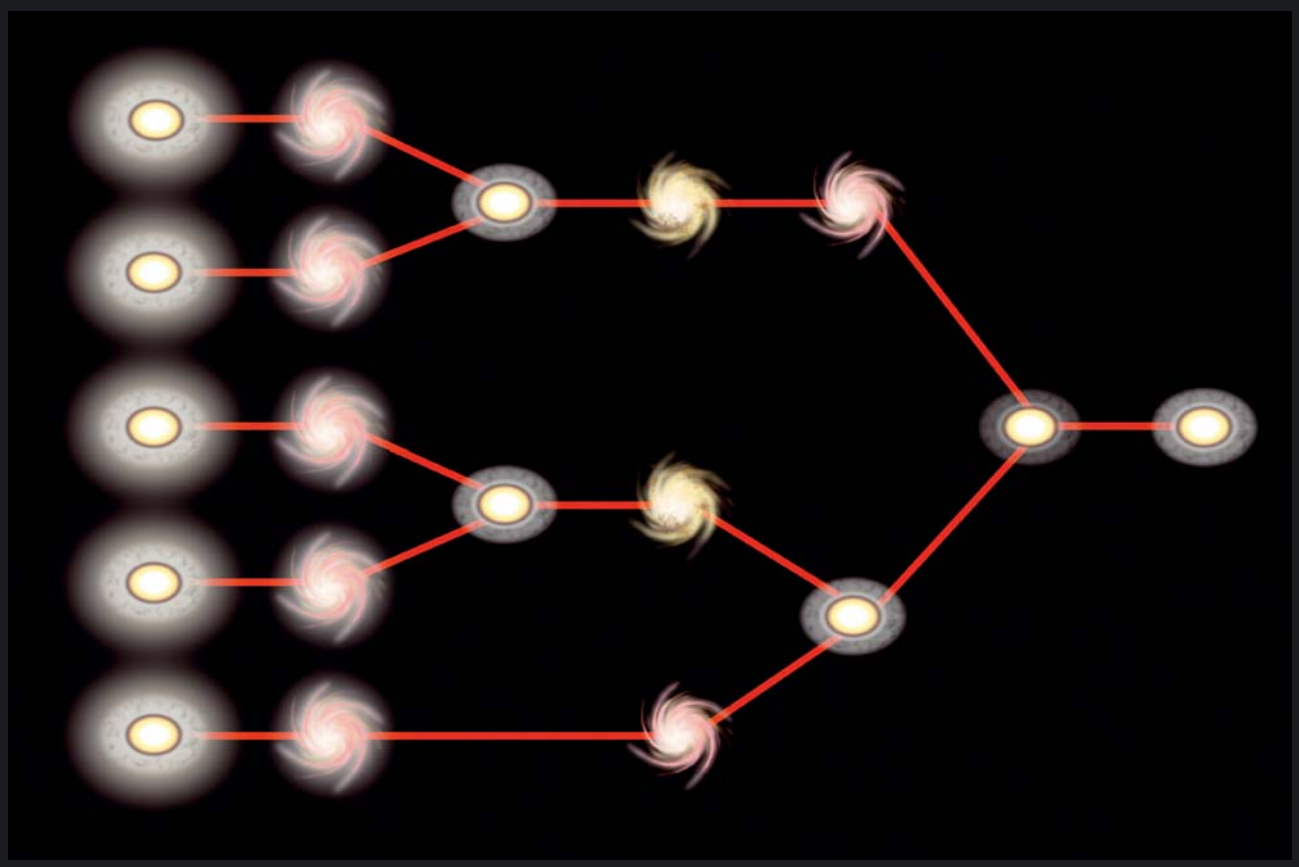
Проследим путь галактической эволюции на примере единичной галактики. Самый распространенный тип галактик во Вселенной — это, по-видимому, эллиптические карлики, шары из устойчивых звезд среднего возраста. В начале своей истории они содержат яркие горячие звезды, газ и пыль. Однако, когда самые массивные звезды заканчивают свою эволюцию и умирают, мощные ударные волны от взрывов сверхновых оказываются сильнее сил внутреннего тяготения, и, вместо того чтобы обогащать галактику тяжелыми элементами, остатки сверхновых выносятся в межгалактическое пространство. Что еще хуже, вместе с ними из галактики выносится большая часть газа и пыли, что замедляет рост новых поколений звезд. Остаются только долгоживущие красные и желтые звезды.

Многие неправильные и карликовые эллиптические галактики за этот ранний период своей эволюции меняются мало, вися в пространстве между своими более крупными соседями. Но в игру вступают более мощные эволюционные факторы: на протяжении миллиардов лет карликовая галактика испытывает несколько столкновений с другими галактиками того же типа, и на ее месте образуется уже более крупная эллиптическая. Если в центрах сталкивающихся галактик есть массивные черные дыры, они сливаются в одну сверхмассивную, с массой в миллионы Солнц. Теперь у галактики достаточно сильное тяготение, чтобы стянуть к себе больше окружающего ее холодного газа. Столкновения между газовыми облаками преобразуют новое гало галактики в уплощенный диск. Теперь, с эллиптическим звездным балджем в центре и плоским газовым диском по его краям, наша галактика становится линзообразной, но по мере того, как звезды в диске начинают группироваться, она преобразуется в спираль.

Проходит еще пара миллиардов лет, и действие тяготения неизбежно приводит нашу галактику в соприкосновение с другой крупной галактикой. Приливные силы в обеих системах вызывают вспышки звездообразования, но одновременно и разрушают спиральные рукава, выбрасывая звезды во всех направлениях в межгалактическое пространство. Когда центральные области галактик сливаются, орбиты звезд деформируются, а столкновения газовых облаков выбрасывают большую часть «строительного материала» для звездообразования в пространство в виде горячего газа. В конечном счете галактика превращается в рой звезд на хаотических эллиптических орбитах. Внутри нее не остается формообразующих газовых облаков, и она становится просто звездным шаром — эллиптической галактикой.

Однако история на этом не кончается: ведь притяжение галактики вполне достаточно для того, чтобы втянуть в себя холодный газ из своих окрестностей. За миллиард или больше лет она может восстановить сначала свой линзообразный газовый диск, а потом и спиральные ветви. В истории типичной галактики этот цикл может повторяться снова и снова много раз. Но по мере того, как количество холодного межгалактического газа убывает, восстановить спиральные рукава становится с каждым разом все труднее. С другой стороны, галактики в скоплении постоянно притягиваются друг к другу, и поэтому их столкновения происходят все чаще. И в итоге все галактики кончают тем, что объединяются в гигантские эллиптические системы, наблюдаемые в центрах самых старых и плотных скоплений галактик.

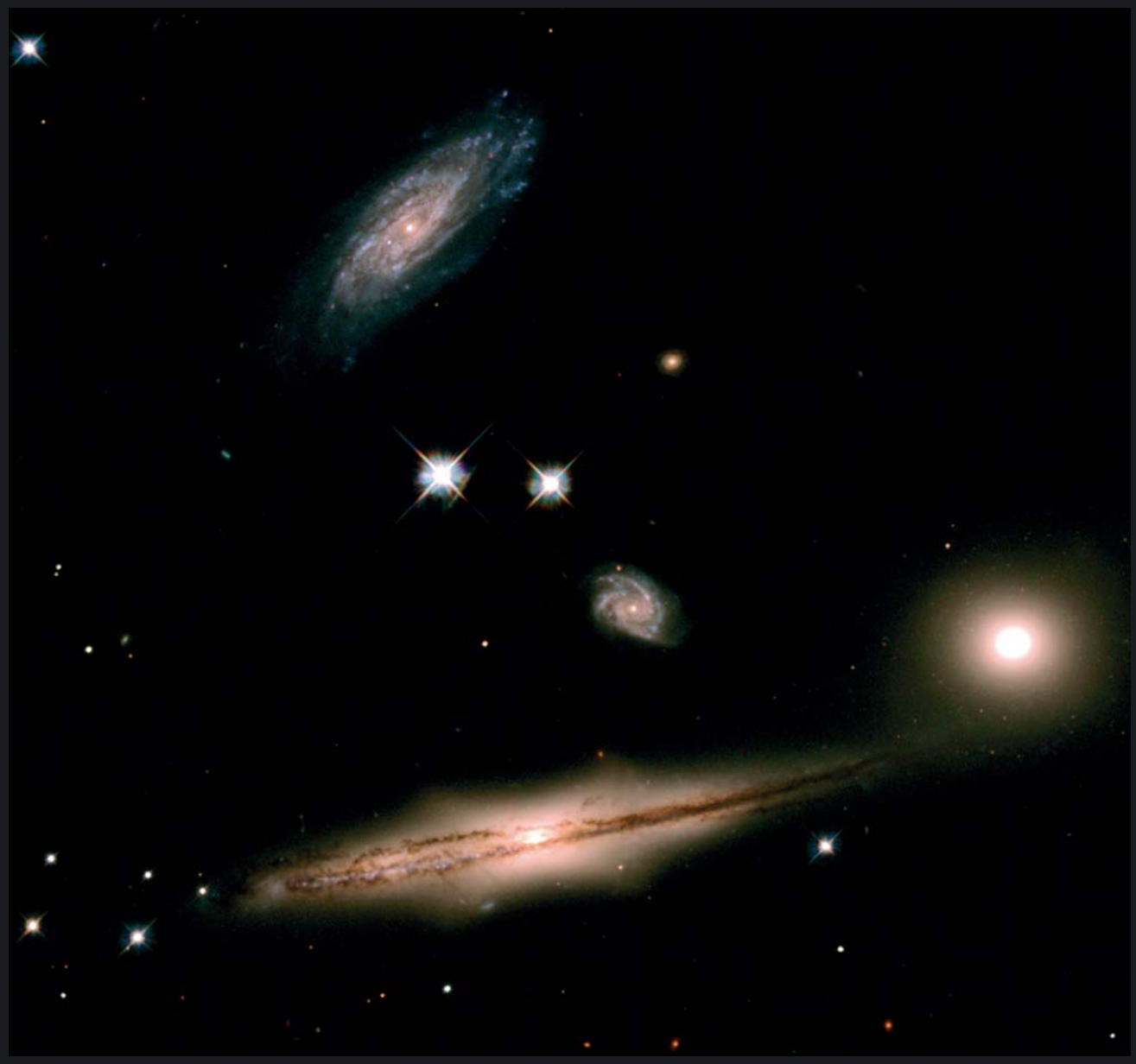
[Вверху] Серия из 36 фрагментов снятого космическим телескопом «Хаббл» изображения «Сверхглубокого поля» (с. 212) демонстрирует формы молодых галактик на разных стадиях слияния и развития миллиарды лет назад. Специфическая форма «головастика» образуется, когда звездные потоки выбрасываются наружу или рассеиваются под действием гравитационных сил, что характерно для слияний галактик — как прошлых, так и современных.



• Путь галактической эволюции
Рисунок иллюстрирует одну из многих возможных цепочек развития галактик. Слева — ряд эллиптических галактик, образуемых слияниями в ранней Вселенной. Они втягивают в себя большие количества холодного газа, которым изобилуют их окрестности, и в них развивается вначале газовый диск, а затем и спиральные ветви, полные молодых звезд. Когда впоследствии эти спиральные галактики сталкиваются и сливаются, образуются более крупные эллиптические, вокруг которых все еще достаточно газа, чтобы в них опять могли образоваться спиральные рукава. Однако, когда запасы межгалактического газа истощаются, эллиптическим галактикам становится труднее превратиться в спиральные. Конечный результат эволюции — массовое слияние в гигантскую эллиптическую галактику.

Галактика Водоворот
Спиральная и неправильная галактики
M51 и NGC 5195
Галактика Водоворот (слева) сейчас разрушает своего карликового компаньона, NGC 5195 (справа вверху), но и сама испытывает действие волны гравитационной перестройки. Именно напряжения, вызванные столкновением галактик, ответственны за туго закрученные спиральные ветви, отличительную особенность этой галактики: ударные волны породили в них волну звездообразования, отмеченную красным свечением ионизованных облаков водорода.
Расстояние: 31 миллион световых лет.
Диаметр: 100 000 световых лет.

[1]



[2]

Взаимодействующие галактики

Прохождение галактик друг мимо друга на небольшом расстоянии может вызвать остановку звездообразования или, наоборот, инициировать новую его волну.

На огромных масштабах космических расстояний галактики на деле оказываются распределены довольно тесно. Поперечники звезд измеряются в миллионах километров, а типичные расстояния между ними — в миллионах миллионов. Только в самом центре галактики и в шаровом скоплении звезды расположены более тесно. В отличие от звезд, поперечники галактик могут составлять десятки тысяч световых лет (а иногда и больше), а разделены они обычно расстояниями всего в несколько сотен тысяч световых лет. Поэтому нет ничего удивительного в том, что в своем движении галактики часто оказываются поблизости друг от друга.

Когда это случается, колоссальное притяжение каждой из звездных систем влияет на другую. Во многих случаях оно оказывается достаточно сильным, чтобы притянуть их еще ближе друг к другу, вплоть до столкновения и слияния. Но даже когда галактики после тесного сближения расходятся и продолжают свой путь в одиночестве, последствия все равно могут быть очень заметными.

Прохождение одной галактики вблизи другой вызывает гравитационные приливы, подобные тем, которые Луна порождает на Земле. Звезды и туманности притягиваются к проходящей мимо галактике, сталкиваясь при этом друг с другом. Инициируются волны звездообразования. В результате вокруг ядра спиральной галактики образуются кольцевые структуры, которые могут разрушить картину спиральных рукавов: индивидуальные звезды и звездные скопления выбрасываются в межгалактическое пространство и образуют формы, напоминающие антенны или «хвосты». По-видимому, в галактике возможно даже полное прекращение звездообразования.

В неправильных галактиках гравитационные силы, возникающие вследствие тесного сближения с другой галактикой, могут вызвать бурное хаотическое звездообразование во всем объеме галактики. Это выглядит настолько эффектно, что некоторое время назад такие галактики называли «взрывающимися». Сейчас их называют «галактиками со вспышкой звездообразования».

Эффекты взаимодействия между галактиками могут быть и более тонкими. Влияние близкой галактики может либо усилить, либо ослабить волны плотности, ответственные за образование рукавов в спиральных галактиках. Некоторые наиболее замечательные спиральные галактики «классического стиля» в недавнем прошлом испытали тесные сближения с галактиками меньших размеров.

Как мы уже знаем, в ядрах многих галактик таятся сверхмассивные черные дыры — спящие монстры, поглотившие все доступное вещество в своих окрестностях и теперь оставшиеся «на голодном пайке». Тесное сближение с другой галактикой может нарушить это хрупкое равновесие, стянув в область вокруг черной дыры свежие облака пыли, газа и даже целые звезды и этим разбудив монстра. Активность многих галактик, в частности относительно близких и не слишком «буйных» галактик Сейферта, была, по всей видимости, возбуждена именно такими взаимодействиями.

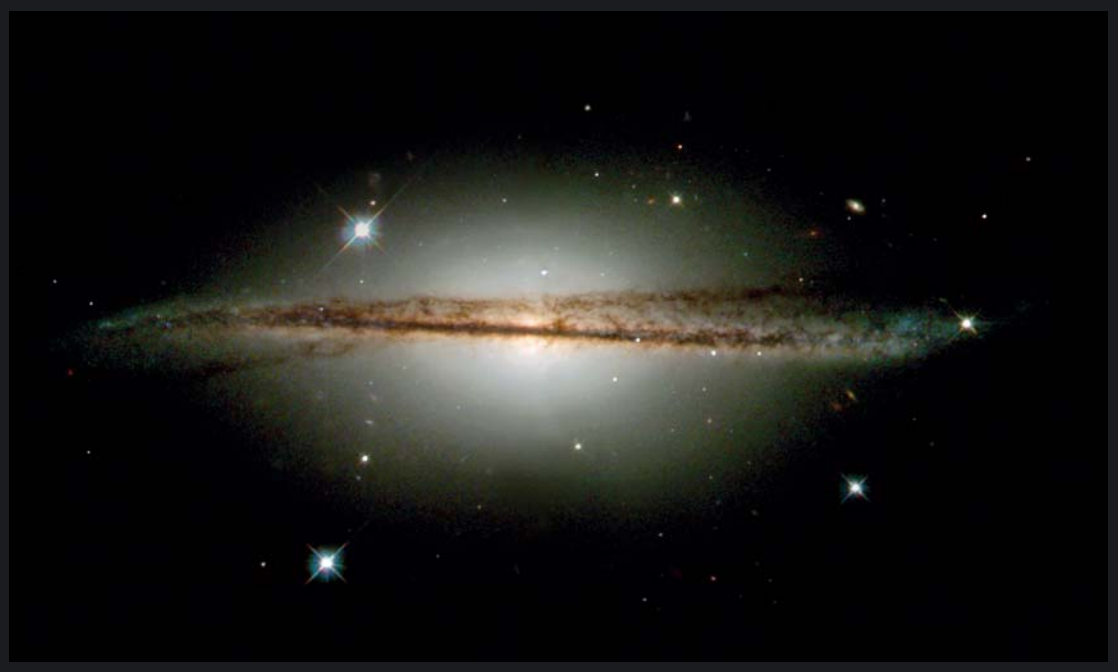
[1] Секстет Сейферта
Взаимодействующие галактики NGC 6027, 6027A, B и C
Эти тесно расположенные галактики вместе занимают область протяженностью всего 100 000 световых лет и объемом меньшим, чем объем Млечного Пути. Но внешность обманчива: на деле это не секстет, а квартет. Видимая в плане маленькая спираль в центре — галактика поля, отстоящая от нас почти впятеро дальше, чем остальные четыре, а шестой член секстета (справа) — вообще не галактика, а длинный приливный «хвост», состоящий из звезд, оторванных от одной из галактик.
Расстояние: 190 миллионов световых лет.

[2] HGC 87
Взаимодействующие галактики
Этот ансамбль четырех галактик исполняет под музыку гравитационных приливов и отливов замысловатый танец, который по сравнению с иной бешеной галактической тарантеллой можно считать грациозным менуэтом. Но все же танцорам приходится потрудиться, чтобы стянуть облака пыли и газа к сверхмассивным черным дырам и устроить повсюду яркие вспышки звездообразования.
Расстояние: 400 миллионов световых лет.

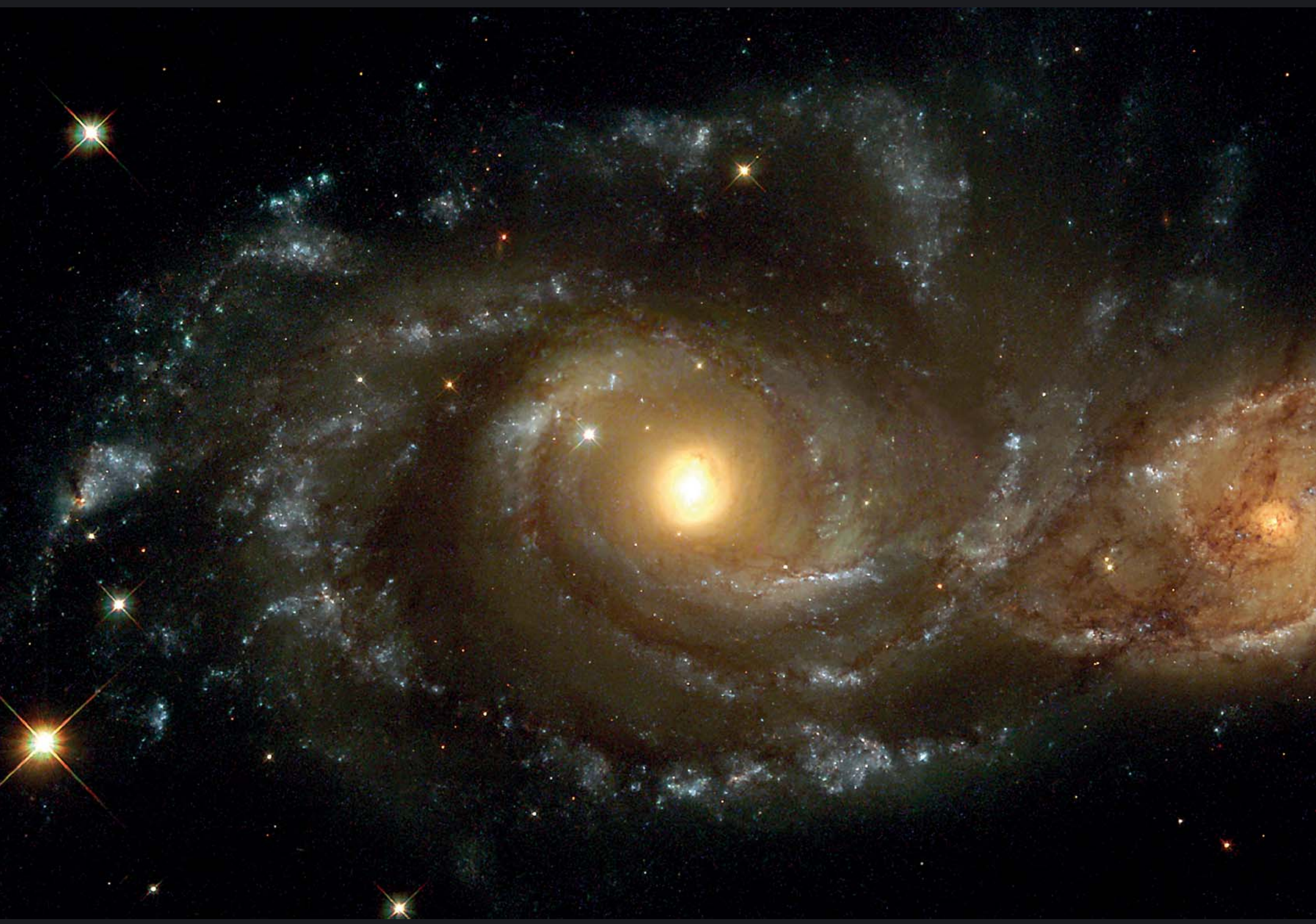
[3] Квинтет Стефана
Взаимодействующие галактики NGC 7318A и B, 7319, 7320
Космический телескоп «Хаббл» сфотографировал кратную систему галактик в созвездии Пегаса. Заметная голубая спираль NGC 7020 оказалась близкой галактикой поля, но остальные четыре галактики явно физически связаны и деформированы приливными силами и столкновениями. В частности, тесное сближение галактик NGC 7318A и B (в центре) вызвало в обеих вспышки звездообразования.
Расстояние: 270 миллионов световых лет.

[3]

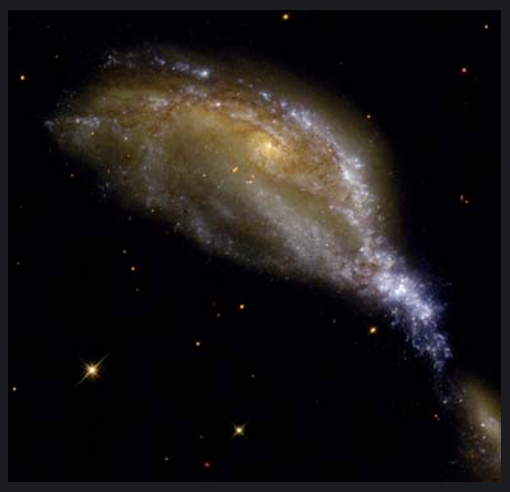
[1]



[2]



[4]



[3]

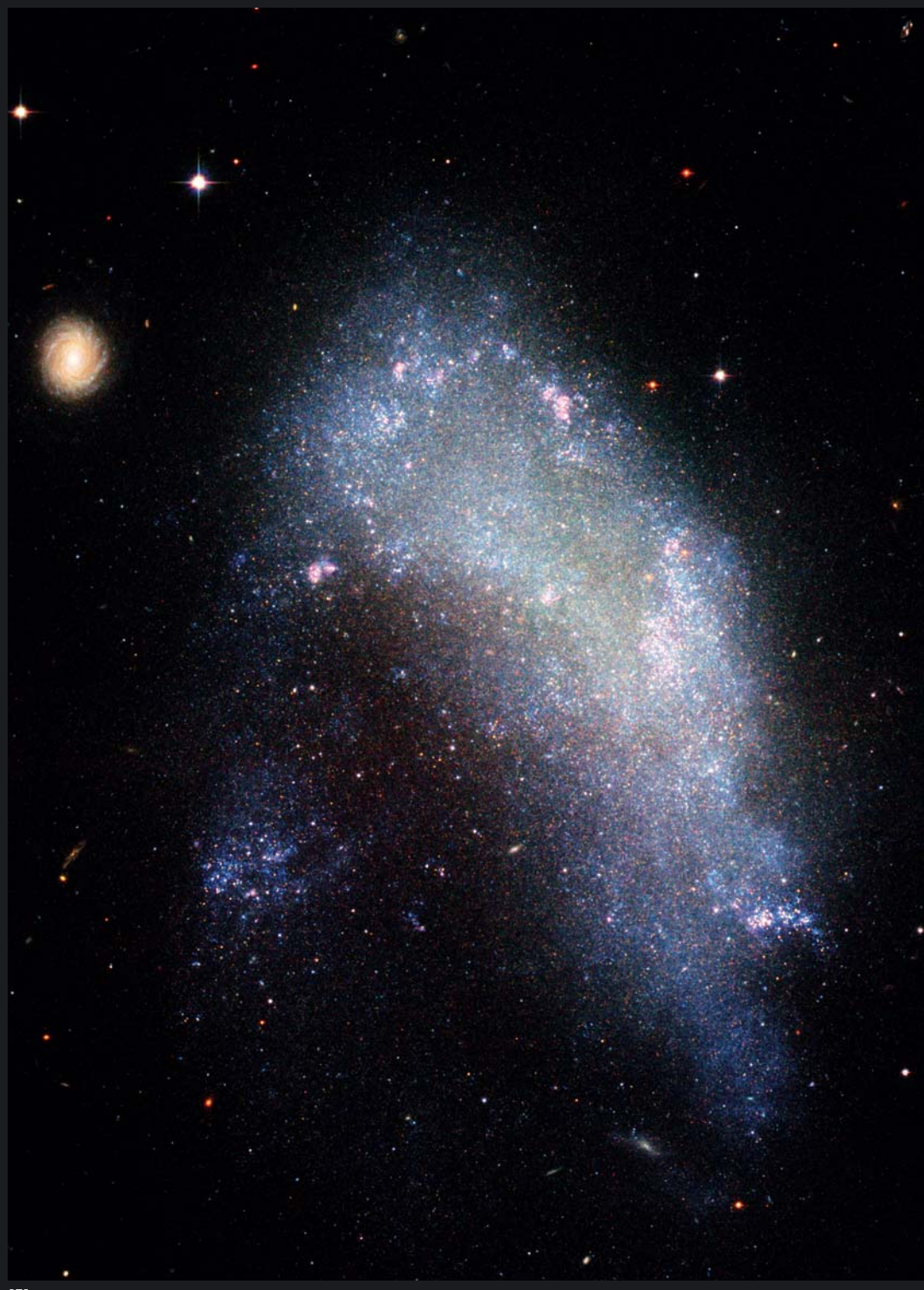
[1] NGC 1409, NGC 1410
Спиральные галактики
Через гравитационные «шахты», которые тянутся на 20 000 световых лет, галактика NGC 1409 выкачивает из своего меньшего соседа 40 миллиардов триллионов тонн вещества в год. Но эта с виду внушительная цифра составляет всего 2% массы Солнца и явно недостаточна для звездообразования. Зато NGC 1410 от него просто кипит.
Расстояние: 300 миллионов световых лет.
Диаметр каждой из галактик: 20 000 световых лет.

[2] ESO 510-G13
Спиральная галактика
Диск ESO 510-G13 искривлен тесным сближением с другой галактикой.
Расстояние: 150 миллионов световых лет.
Диаметр: 100 000 световых лет.

[3] NGC 6745A
Деформированная спиральная галактика
NGC 6745A деформировалась, пройдя на волосок от отсутствующей на этом фото NGC 6745B, за которой протянулась цепочка буйно расцветающих молодых звезд (справа внизу). Эти звезды образовались из газа, оторванного от NGC 6745A.
Расстояние: 200 миллионов световых лет.
Диаметр: 80 000 световых лет.

[4] NGC 2207 и IC 2163
Спиральные галактики
Обхватив своего большего партнера в яростной гравитационной тарантелле, IC 2136 сбрасывает с себя материю в виде стелющегося за ней звездного рукава длиной в 100 000 световых лет. Их танец будет продолжаться еще миллиарды лет, пока IC 2163 наконец не упадет в объятия к NGC 2207.
Расстояние: 115 миллионов световых лет.
Диаметры: 143 000 и 101 000 световых лет.

[5] NGC 1427A
Неправильная галактика
Эта маленькая неправильная галактика, захваченная гравитационной силой скопления галактик в созвездии Печи, несется в его сторону со скоростью 600 км/с (400 миль/с).
Расстояние: 62 миллиона световых лет.
Диаметр: 32 000 световых лет.



[5]

[На соседней странице]
Галактика Головастик
Деформированная спиральная галактика
UGC 10214
Головастик пережил тесное сближение с другой галактикой, видимой сквозь его спиральные ветви (слева вверху). Теперь за ним тянется хвост из звезд, газа и пыли длиной 300 000 световых лет. Как и его земной тезка, Головастик избавится от хвоста, когда подрастет: скопления голубых звезд станут карликовыми галактиками-спутниками.
Расстояние: 420 миллионов световых лет.
Длина: 300 000 световых лет.

Мыши
Деформированные спиральные галактики
NGC 4676A, 4676B
Мыши, возможно, получили это прозвище из-за тянущихся за ними хвостов из звезд и пыли, но они вьются друг вокруг друга, скорее, как две сливающиеся стаи ласточек. Две спиральные галактики, деформированные тесным сближением около 160 миллионов лет назад, еще через миллиард лет сольются в гигантскую эллиптическую галактику.
Расстояние: 300 миллионов световых лет.
Диаметр: 300 000 световых лет.

Сталкивающиеся галактики

Столкновения галактик — двигатель эволюции как отдельных галактик, так и Вселенной в целом.

Столкновения галактик — неизбежное следствие того, что галактики собираются в скопления. В любом скоплении притяжение больших и более массивных галактик заставляет меньшие обращаться вокруг них. Кроме того, самые крупные галактики притягивают друг друга. Часто галактики совершают друг вокруг друга несколько оборотов, как будто вальсируя перед тем, как произойдет их неотвратимое слияние.

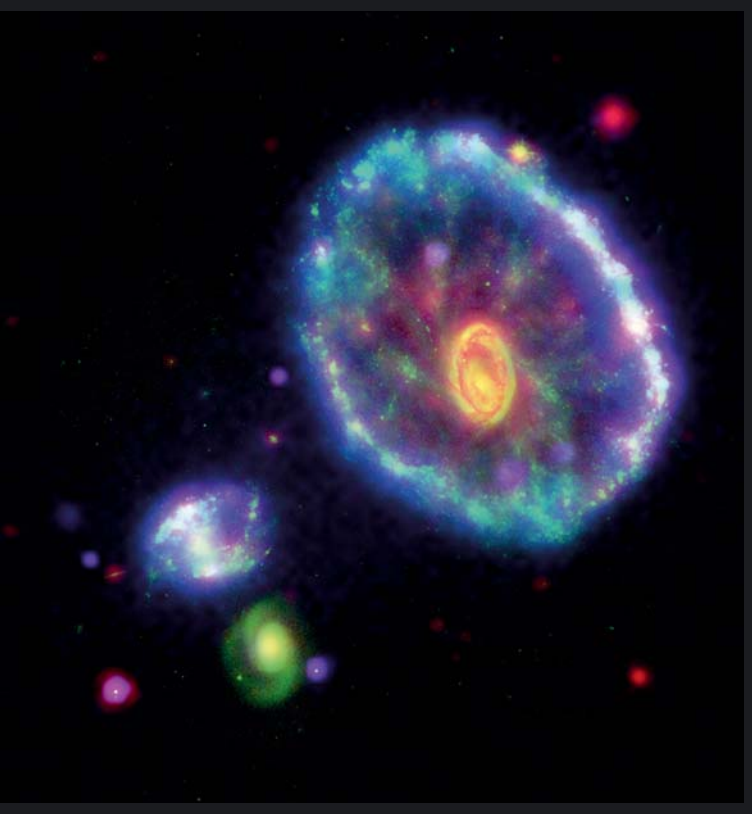
Звезды в галактиках отстоят друг от друга на несколько световых лет, и поэтому вероятность их прямого столкновения мала. В масштабе звезд и планетных систем слияние галактик будет скорее всего сказываться в изменении орбит звезд вокруг центра галактики или в тесных сближениях со звездами-пришельцами, при которых планеты могут быть сорваны со своих орбит.

Столкновения галактик в основном сказываются на туманностях — разреженных облаках газа и пыли протяженностью во много световых лет, которые образуют межзвездную среду — костяк галактики. Прямые столкновения между такими облаками неизбежны, и в результате происходит настоящий фейерверк.

Прежде всего, приливные силы, возникающие в сближающихся галактиках, приводят к вспышке звездообразовательной активности: туманности сжимаются и растягиваются в разных направлениях, вследствие чего темп звездообразования многократно увеличивается. Этот эффект только возрастает, когда галактики сталкиваются и по ним начинают распространяться ударные волны.

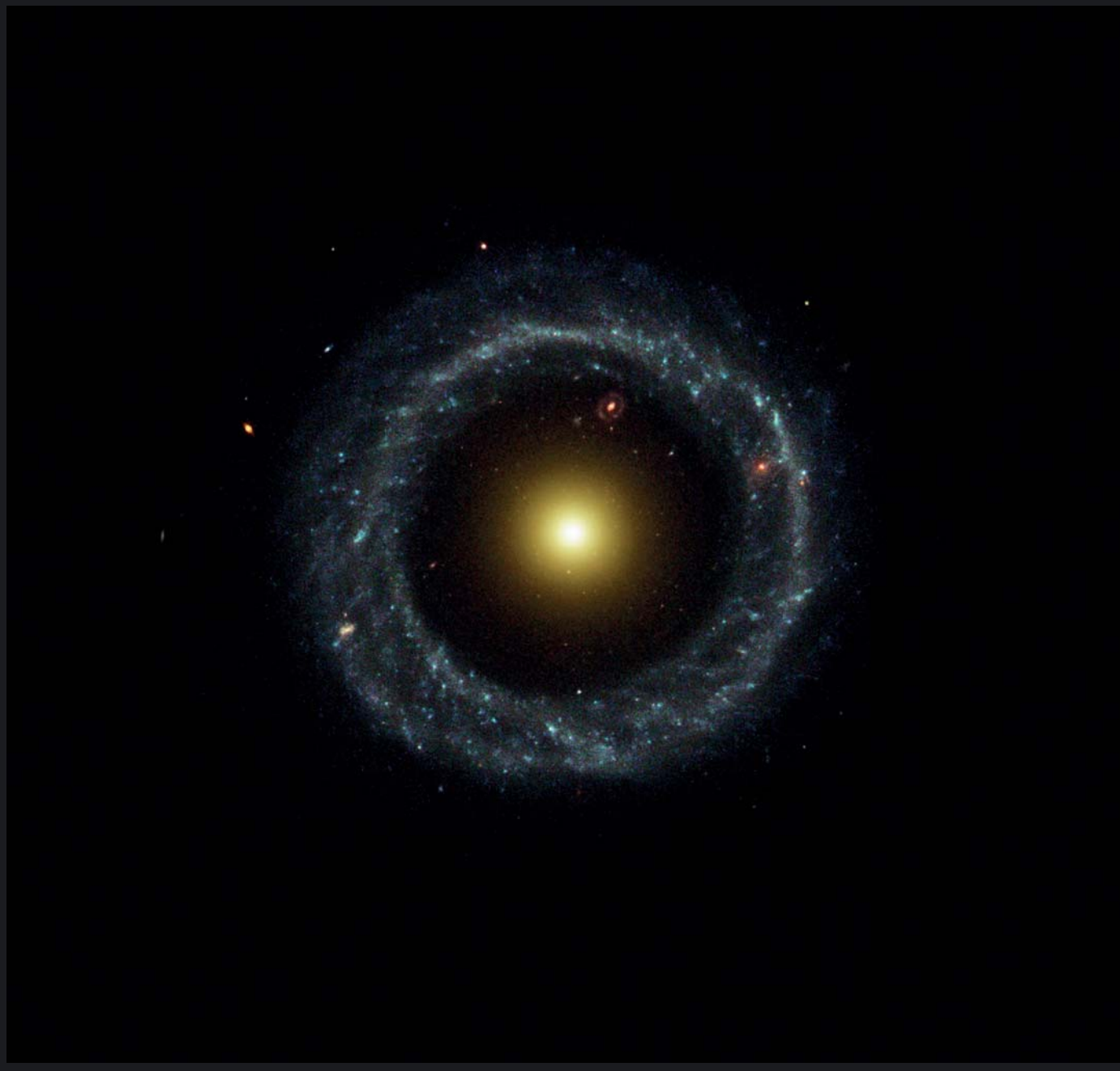
Однако в более широкой временной перспективе результат столкновения более сложен. Ударные волны часто разогревают газ настолько, что он преодолевает притяжение родительской галактики и «испаряется» в межгалактическое пространство. Горячий газ может и сохранить слабую гравитационную связь со слившимися галактиками, но он слишком горяч, слишком быстро движется и слишком однороден, чтобы из него могли образовываться звезды. Таким образом, конечным результатом слияния галактик может оказаться долгая и утомительная смерть участниц — бурный первоначальный всплеск звездообразования быстро затухает, а новый на смену ему не приходит.

Тесные сближения галактик могут иногда разбудить черные дыры в их ядрах. В прямых столкновениях галактик результат может оказаться еще эффектнее. Многие активные галактики либо находятся в процессе столкновения, либо восстанавливаются после него. Среди наиболее известных примеров — NGC 5128, лучше известная как радиогалактика Центавр А. В этом случае большая эллиптическая галактика в относительно недавнем прошлом разрушила спиральную. Гигантский звездный шар все еще окольцован пылью, оставшейся от жертвы столкновения, а центральную черную дыру вернул к жизни приток звезд, газа и пыли, которые она принялась «пожирать». В результате вокруг видимой части галактики появились огромные полости, бурно излучающие в радиодиапазоне.



[1]

[2]



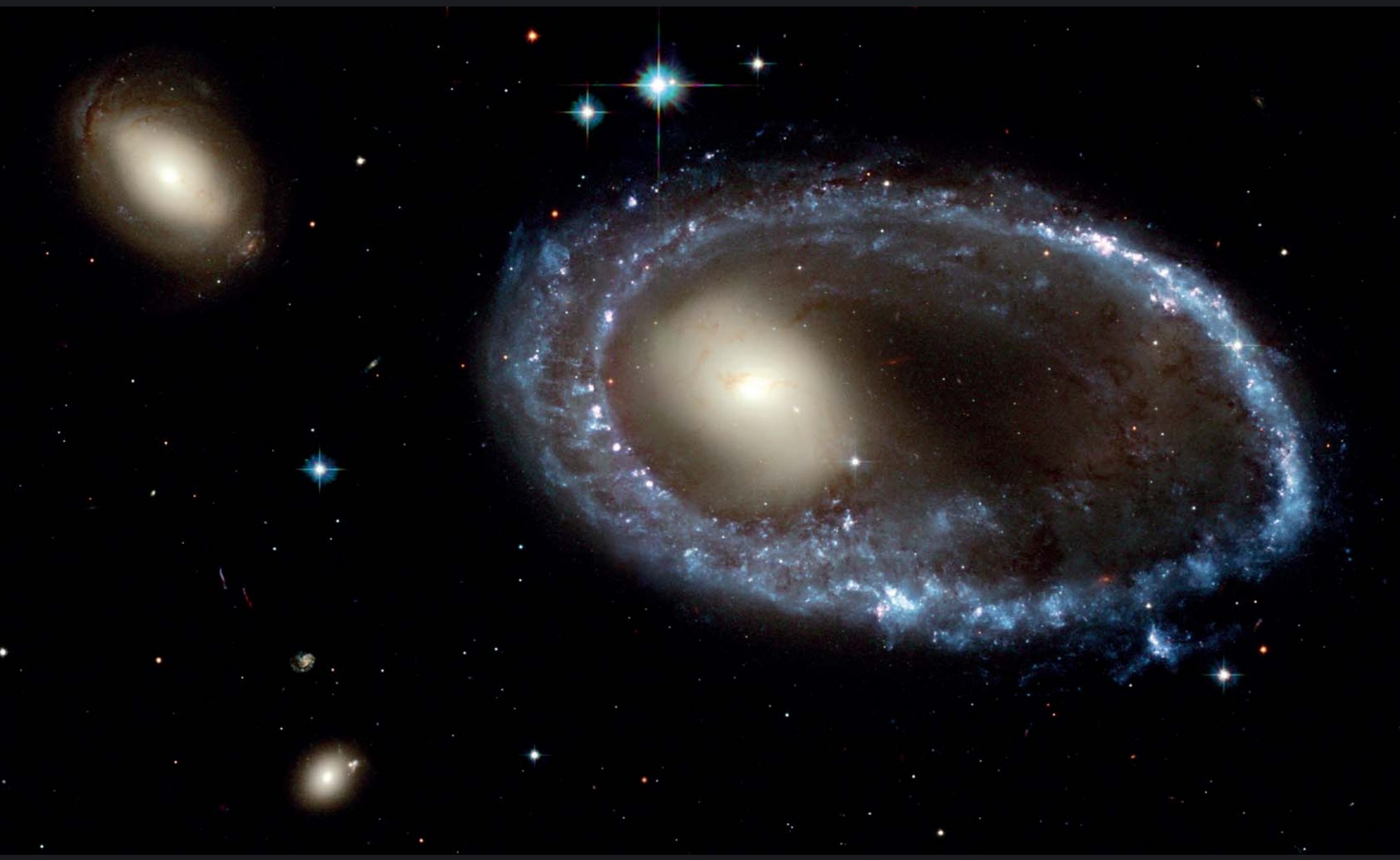
[3]

[1] **Галактика Тележное Колесо**
Кольцевая галактика
ESO 350-G40
«Колесо» было когда-то спиральной галактикой, но теперь об этом напоминают только его еле заметные «спицы». Если у двух сталкивающихся галактик достаточно большая относительная скорость, они не сольются, а будут «продираться» друг сквозь друга, при этом разрушаясь. Более 100 миллионов лет назад встречная галактика проткнула «Колесо» насквозь и разрушила его спиральную структуру, вызвав настоящую бурю звездообразования, которая не прекратилась по сей день.
Расстояние: 500 миллионов световых лет.
Диаметр: 150 000 световых лет.

[2] **NGC 4650A**
Полярная кольцевая галактика
Полярные кольцевые галактики очень редки — среди сотен миллионов зарегистрированных галактик их найдено всего около ста. Полярные кольца состоят из центрального галактического диска и перпендикулярного ему кольца из газа и звезд. Полярные кольца образуются либо вследствие прямого столкновения двух галактик, либо (в менее катастрофическом случае) когда одна галактика выкачивает газ из другой. Между ними создается приливный мост, который преобразуется в орбитальное кольцо.
Расстояние: 130 миллионов световых лет.
Диаметр кольца:
60 000 световых лет.

[3] **Объект Хога**
Кольцевая галактика
PGC 54559
Кольцо почти идеальной формы из горячих молодых голубых звезд обрамляет ядро из более старых и холодных желтых звезд (туда нечаянно спроецировалась и еще одна далекая кольцевая галактика). Кольцевые галактики обычно образуются в результате случайного лобового столкновения галактик на большой скорости. Но так как никаких следов второй галактики не найдено, астрономы подозревают, что внешнее кольцо может быть раздробленными остатками бывшей соседней галактики.
Расстояние: 600 миллионов световых лет.
Диаметр: 120 000 световых лет.

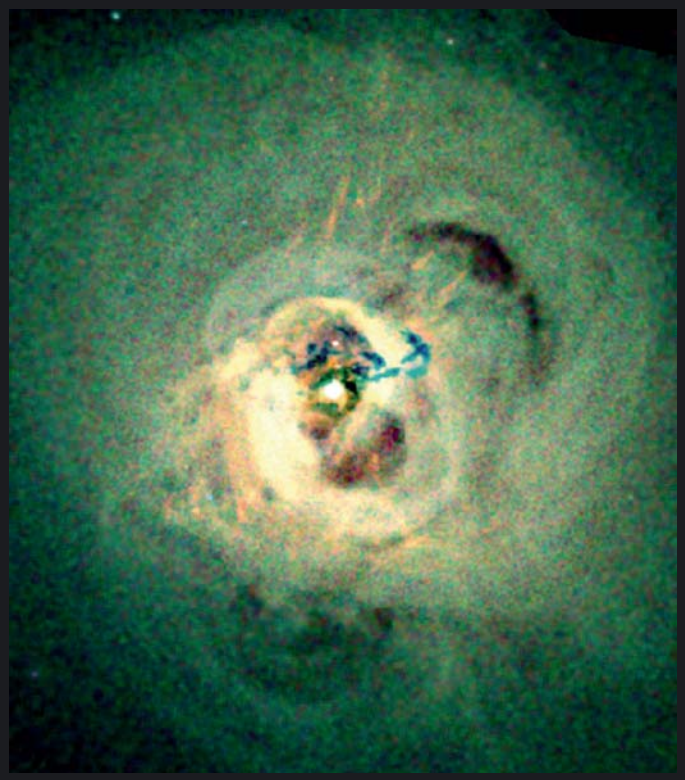
[4] **AM 0644-741**
Кольцевая галактика
Межгалактическое соударение изменило облик AM 0644-741: через диск галактики несется не просто волна, а цунами звездообразования, сметая ее первоначальную спиральную структуру. Сейчас фронт этой волны охватывает 150 000 световых лет: его можно отследить по яркому ультрафиолетовому излучению гипергигантских звезд.
Расстояние: 300 миллионов световых лет.
Диаметр: 150 000 световых лет.



[4]

Антенны
Деформированные спиральные галактики
NGC 4038, NGC 4039
Столкновение этих двух галактик вызвало в обеих вспышку звездообразования продолжительностью в миллиард лет. Бриллиантовые светящиеся узелки свидетельствуют о рождении тысяч звездных скоплений, полных гипергигантских звезд. Они горят ярко, но недолго: рентгеновские обозрения обнаружили в обеих галактиках множество коллапсаров — мертвых звездных остатков.
Расстояние: 63 миллиона световых лет.
Диаметр: 360 000 световых лет.

[1]



[2]

[3]

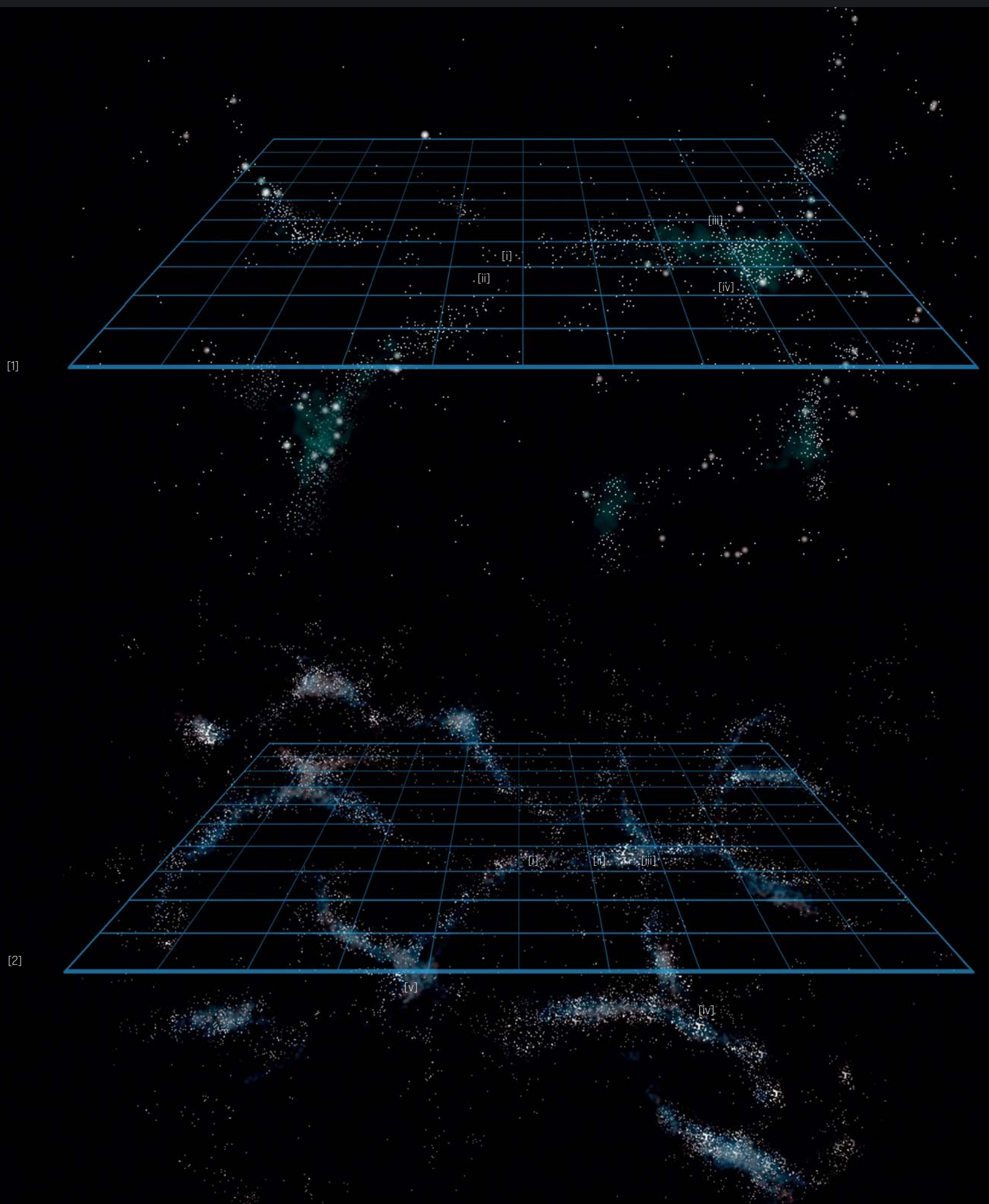
[1] [2] **NGC 1275**
Сталкивающиеся галактики
В самом сердце скопления галактик в Персее на скорости около 10 миллионов км/ч (6 миллионов миль в час) лоб в лоб столкнулись две галактики: спиральная врезалась в эллиптическую (слева вверху), вызвав настоящий фейерверк новых звездных скоплений. Удар к тому же разбудил сверхмассивную черную дыру Персей А, у которой теперь в избытке «пищи» и которая поэтому испускает потоки высокоэнергетического излучения. Мощное излучение взаимодействует с газовыми вихрями, затягиваемыми в Персей А, и создает звуковые волны, которые распространяются на сотни тысяч световых лет [3]. У сверхмассивной черной дыры собственный низкий бас: она тянет ноту си-бемоль, на 57 октав ниже «до» третьей октавы и в миллион миллиардов раз ниже предела человеческого слуха.
Расстояние: 235 миллионов световых лет.
Диаметр: 100 000 световых лет.

[3] **Галактика Черный Глаз**
Спиральная галактика
M64
Спрятавшись за плотной пылевой маской, этот галактический каннибал уже миллиард лет переваривает свой последний обед. Во внешнем газовом гало, которое все еще вращается в направлении, противоположном остальной части галактики, не осталось никакого следа перемычки галактики-жертвы. Там, где диск соприкасается с M64, он зажигает россыпь горячих голубых звезд, окруженных светящимися красноватыми водородными облаками.
Расстояние: 17 миллионов световых лет.
Диаметр: 50 000 световых лет.

ГЛУБИНЫ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

Скопления галактик

Скопления и сверхскопления галактик — самые большие дискретные объекты во Вселенной. Их протяженность — миллионы или сотни миллионов световых лет.



Галактики имеют вытекающую из закона всемирного тяготения естественную склонность собираться в группы. При этом они образуют структуры различных размеров: от небольших, как наша Местная группа, до гигантских скоплений, содержащих десятки и даже сотни крупных галактик. Хотя в большинстве таких скоплений, казалось бы, преобладают большие и яркие галактики, так получается в основном потому, что на столь огромных расстояниях только такие галактики и видны. В Местной группе на каждую большую галактику приходится по меньшей мере дюжина карликовых, и нет никаких оснований считать, что в других скоплениях дела обстоят иначе. Пространство между галактиками тоже нельзя назвать пустым: рентгеновские изображения часто показывают, что оно заполнено горячим газом, вероятно, оторванным от самих галактик в процессе их столкновений и слияний (см. с. 180).

В крупнейших скоплениях могут содержаться десятки больших галактик. Однако при любом количестве членов скопление, похоже, занимает примерно один и тот же сферический объем пространства диаметром около 10 миллионов световых лет. Поэтому в более населенных скоплениях галактики расположены теснее. А чем многочисленнее и компактнее скопление, тем более вероятно, что в нем есть как минимум одна гигантская эллиптическая галактика, конечный продукт галактической эволюции. Это означает, что сами скопления тоже эволюционируют и, вероятно, как и для отдельных галактик, их эволюция определяется столкновениями. Хаотично разбросанные группы галактик могут сливаться с другими подобными группами или поглощаться более крупными, образуя в конечном счете плотно населенные скопления проэволюционировавших галактик. Пример такого скопления — Эйбелл 1689 (см. с. 206).

Галактики внутри скоплений движутся вокруг общего центра тяжести. Если в скоплении недавно произошло слияние, оно может казаться хаотическим, но с течением времени галактики приобретают приблизительно сферическое распределение. Распределение межгалактического газа тоже меняется — вначале он концентрируется вокруг галактик, от которых он оторван, а под конец образует сферическое облако вокруг центра скопления, часто окружая лежащую в нем гигантскую эллиптическую галактику.

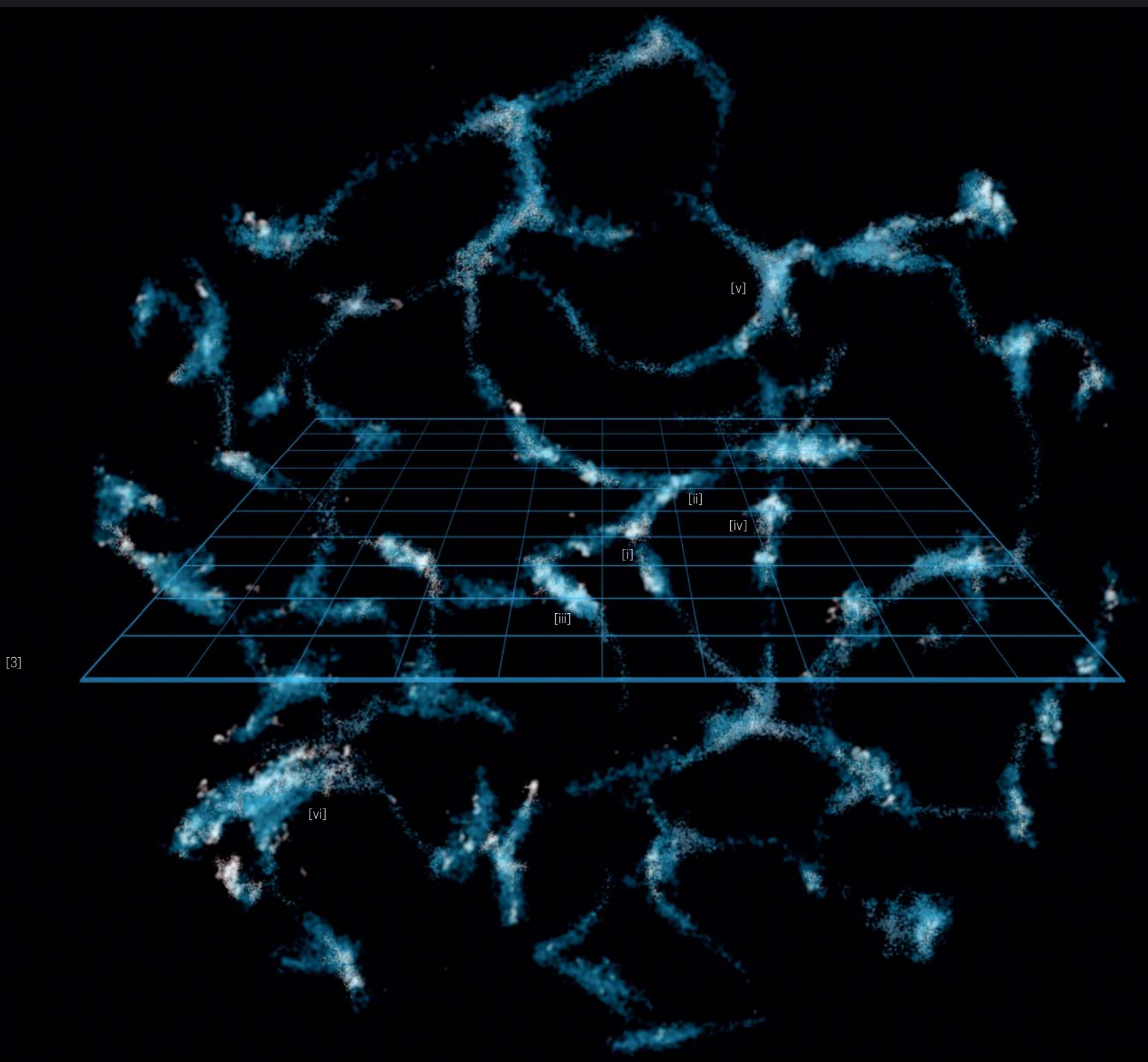
Скопления галактик редко бывают изолированными: иерархический характер распределения вещества во Вселенной подразумевает, что они должны часто соприкасаться со своими соседями. Границы между ними размыты, и некоторые галактики на границе двух скоплений могут с одинаковым основанием быть отнесены к каждому из них. Скопление галактик, по-видимому, лучше всего определять как группу галактик, обращающихся вокруг одного и того же центра масс, и нельзя утверждать, что все галактики в произвольном объеме пространства относятся к одному скоплению.

Скопления в целом могут испытывать влияние тяготения еще больших скоплений. Так мы приходим к идее сверхскопления — группы скоплений, каждое из которых испытывает влияние гравитации еще более массивного центрального скопления. Например, Млечный Путь принадлежит к Местной группе, а Местная группа является частью Сверхскопления Девы, центр которого — массивное скопление галактик в Деве.

[1] Местное Сверхскопление
На карту Вселенной нанесены скопления галактик в радиусе 100 миллионов световых лет вокруг нашей Местной группы.
[i] Местная группа
[ii] Группа Скульптора
[iii] Скопление Девы
[iv] Группа Большой Медведицы
[v] Скопление Печи
[vi] Скопление Эридана

[2] Другие сверхскопления
Вселенная в радиусе 200 миллионов световых лет содержит много других крупных скоплений галактик. В этом масштабе начинает проявляться их иерархическое распределение.
[i] Местная Группа
[ii] Скопление Девы
[iii] Скопление Центавра
[iv] Скопление Гидры
[v] Скопление Печи
[vi] Скопление Пегаса

[3] Большая Вселенная
На карте Вселенной в радиусе 1 миллиарда световых лет вокруг Млечного Пути начинает проявляться ее крупномасштабная структура.
[i] Сверхскопление Девы
[ii] Сверхскопление Центавра
[iii] Сверхскопление Персея-Рыб
[iv] Сверхскопление Кома
[v] Сверхскопление Геркулеса
[vi] Сверхскопление Часов



Эйбелл 1689
Скопление галактик
Эйбелл 1689 — одно из самых густонаселенных скоплений галактик. Почти идеально сферическая форма делает его прекрасной гравитационной линзой. Некоторые из объектов, которые скопление «увеличивает», имеют возраст около 13 миллиардов лет — почти такой же, как и вся Вселенная.
Расстояние: 2,2 миллиарда световых лет.
Количество галактик: более 3000.

[1]

[2]

[1] **Квазар «Лист клевера»**
Активная галактика
H1413 +117
Это пять рентгеновских изображений одного и того же объекта — далекого квазара, свет от которого линзируется лежащей у него на пути галактикой. Самое яркое из изображений испытывает еще и «микролинзирование» — прямо на нашем луче зрения, направленном на яркое ядро квазара, случайно оказалась массивная звезда, и ее линзирующий эффект сделал квазар еще ярче.
Расстояние: 11 миллиардов световых лет.

[2] **SDSS J1004 +4112**
Скопление галактик
Эта гравитационная линза создала пять изображений яркого квазара, находящегося на расстоянии около 10 миллиардов световых лет, и еще три — более слабой желтой галактики, удаленной от нас на 11 миллиардов световых лет.
Расстояние: 7 миллиардов световых лет.

Скопления и гравитационное линзирование

Как самые массивные объекты во Вселенной, скопления галактик оказывают на окружающее их пространство огромное влияние. Из общей теории относительности Эйнштейна следует, что большие или крайне плотные массы могут деформировать «ткань» пространства и времени вокруг себя. И некоторые скопления дают этому эффектное и наглядное подтверждение.

У густонаселенного скопления галактик достаточно массы, чтобы существенно искривить пространство. Это почти недоступно воображению, поэтому мы часто прибегаем к двумерной аналогии, представляя пространство как плоскую упругую площадку, на которой массивные тела, такие как галактики, создают вмятины. Когда различные объекты проходят в гравитационном поле какой-либо массы, они как бы попадают в такую выбоину в упругой площадке, и поэтому их пути отклоняются от прямолинейного. Чем быстрее движется объект и чем дальше он от вмятины, тем меньше этот эффект. Но некоторые тела прогибают пространство достаточно глубоко, чтобы отклонить от прямолинейного даже путь светового луча, самой быстрой вещи во Вселенной. Это явление называется гравитационным линзированием.

Этот эффект проявляется, когда скопление галактик лежит более или менее точно между Землей и более далеким объектом. Когда световые лучи от далекого объекта (возможно, яркого квазара или другого скопления галактик) проходят сквозь гравитационное поле близкого скопления, они отклоняются внутрь него настолько, что сходятся в одну точку на Земле. В зависимости от точного расположения объектов и распределения вещества в скоплении, играющем роль «линзы», в результате может наблюдаться либо единичное изображение далекого объекта, яркость которого усилилась от фокусировки, или, что более вероятно, целый ряд искаженных или смазанных изображений вокруг границ линзирующего скопления.

Гравитационные линзы позволили астрономам исследовать некоторые из самых далеких объектов Вселенной. Но, кроме того, этот эффект рассказал кое-что и о самих линзирующих скоплениях галактик. Например, некоторые из них изгибают световые лучи настолько сильно, что это совершенно не вяжется с наблюдаемым в них распределением галактик. Похоже, что эти скопления содержат значительное количество некоторой невидимой, но плотной материи.

Нити и войды

В самых больших масштабах огромные конгломераты галактик кажутся зернами пыли, оседающей на эфирные нити космической паутины.

Как выглядит Вселенная в масштабах сотен миллионов световых лет? Ответить на этот вопрос стало возможно, только когда появилось новое поколение мощных телескопов-гигантов, способных улавливать редкие фотоны от самых далеких галактик и строить изображения — достаточно яркие для того, чтобы разложить их в спектр.

Дело в том, что наши знания о структуре Вселенной целиком опираются на данные спектроскопии далеких галактик. С ее помощью мы анализируем их свет и определяем их красные смещения — меру скорости их движения прочь от нас. Почти все астрономы согласны с тем, что красное смещение — следствие общего расширения Вселенной, и считают, что его можно использовать как прямое указание на расстояние, на котором та или иная галактика от нас находится. Говоря об этих огромных расстояниях, мы уже не пользуемся световыми годами и парсеками — мы измеряем их непосредственно в красных смещениях, обозначаемых буквой z. Чем больше у объекта значение z, тем больше его спектральный состав смещен в красную сторону и тем дальше он находится от нас.

Карты Вселенной строятся на основе данных, получаемых специальными приемниками, которые регистрируют и анализируют спектры тысяч галактик в рамках одного изображения. Таким методом можно построить и изображение всего неба (или его большого участка) и выявить при этом структуры, которых до этого не замечали.

И какие удивительные структуры! Вселенная в целом выглядит почти как паутина — затейливое переплетение нитевидных цепочек галактик, иногда разворачивающихся в плоские листы и то и дело собирающихся в плотные узелки. Каждый узелок может быть скоплением галактик, каждый «лист» — сверхскоплением, но в огромных масштабах Вселенной они все равно уменьшаются почти до неразличимости.

В целом все эти структуры называются нитями. Они составляют как бы скелет Вселенной, и, как полагается костям скелета, они в основном пористые. Скопления и сверхскопления облегают гигантские с виду совершенно пустые области — войды. Открытие войдов поставило перед астрономами много вопросов — ведь их существование не вяжется с теорией Большого взрыва, да и вообще с законами физики, которые требуют, чтобы свойства Вселенной во всех направлениях были примерно одними и теми же. Впрочем, это вопрос масштаба: если рассматривать космические карты в еще более крупном масштабе, Вселенная вновь представляется однородной. Однако, как мы вскоре увидим, присутствие крупномасштабных вариаций в структуре Вселенной все равно ставит серьезные вопросы об их происхождении (см. с. 216).

Действительно ли войды пусты? По всей видимости, нет — свет от самых далеких скоплений галактик содержит запутанный частокол спектральных линий, появившихся в нем во время его долгих странствий в космосе. В этих линиях пришлось долго разбираться — оказалось, что их группы воспроизводят одну и ту же структуру, многократно появляющуюся в спектре на разных красных смещениях, так называемый «Лайман-альфа лес». Объяснить его появление можно было только тем, что на разных расстояниях и красных смещениях свет проходит через прозрачные водородные облака. Каждое такое облако поглощает излучение на определенном наборе длин волн, но к тому времени, когда свет достигает следующего облака, оно находится уже на другом красном смещении, и поэтому тот же набор линий оказывается уже в другой части спектра — и так повторяется много раз.

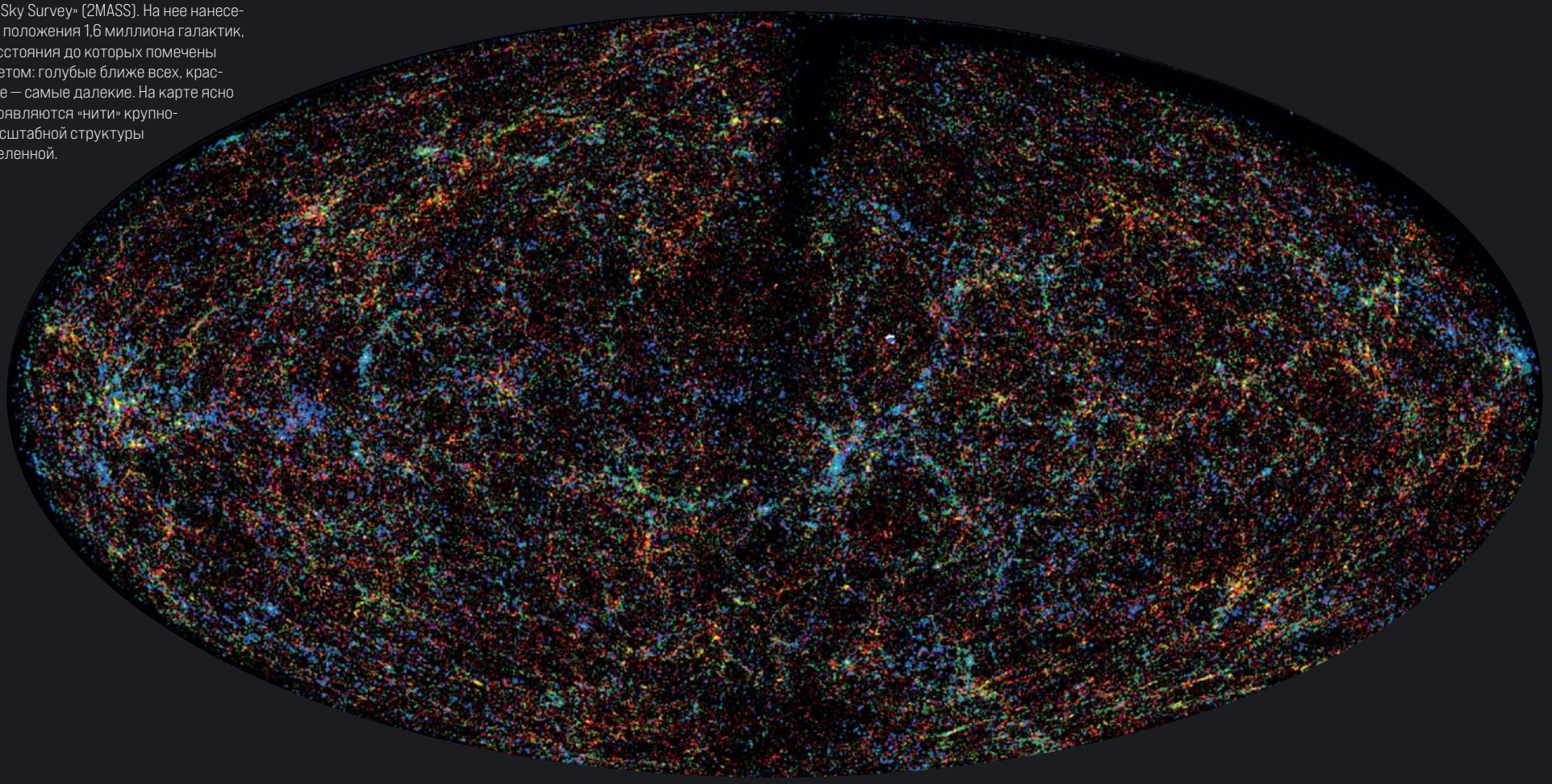
• Великий Аттрактор

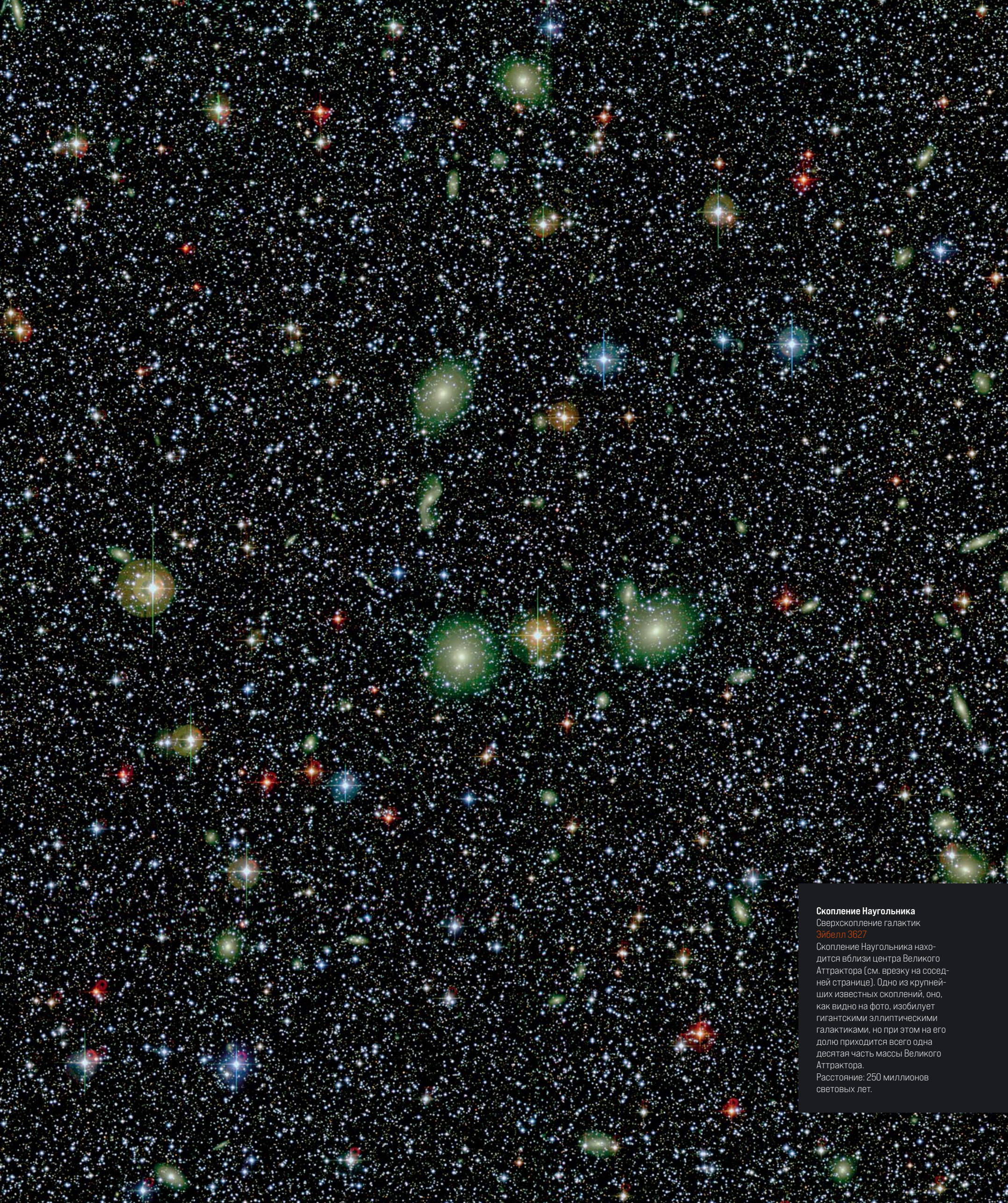
Случайное распределение скоплений галактик иногда порождает структуры большого масштаба, по крайней мере локальные. Уже первые подробные крупномасштабные карты Вселенной выявили гигантские образования, названные «Человечком» (Stickman) и «Великой Стеной». И то и другое оказалось, однако, просто результатом проекции на луч зрения при наблюдении с Земли.

Великий Аттрактор — структура более значительная. Это реальный объект, который оказывает влияние на нашу Галактику и тысячи других. Все скопления галактик в нашей локальной Вселенной с разной скоростью (к примеру, сверхскопление Девы со скоростью 2 200 000 км/ч,) движутся в направлении созвездия Центавра, а это верный признак того, что там находится гигантская концентрация масс. По всей вероятности, Великий Аттрактор — крупнейшее сверхскопление галактик.

[Внизу] Обозрение 2MASS

Эта самая подробная на сегодня карта ближней области Вселенной построена по данным обозрения галактик всего неба в инфракрасных лучах на волне 2 микрона «2 Micron All-Sky Survey» (2MASS). На нее нанесены положения 1,6 миллиона галактик, расстояния до которых помечены цветом: голубые ближе всех, красные — самые далекие. На карте ясно проявляются «нити» крупномасштабной структуры Вселенной.





Скопление Наугольника
Сверхскопление галактик
Эйбелл 3627
Скопление Наугольника находится вблизи центра Великого Аттрактора (см. врезку на соседней странице). Одно из крупнейших известных скоплений, оно, как видно на фото, изобилует гигантскими эллиптическими галактиками, но при этом на его долю приходится всего одна десятая часть массы Великого Аттрактора.
Расстояние: 250 миллионов световых лет.

Темная материя

Видимое вещество составляет
всего несколько процентов
общей массы Вселенной.
Остальное пока скрыто от
нашего взгляда.

Исследуя Вселенную, мы наталкиваемся на признаки существования в ней некоей скрытой сущности. Она проявляется в странном характере вращения спиральных галактик, в неожиданно сильных эффектах гравитационного линзирования, в необъяснимом крупномасштабном распределении галактик и скоплений галактик во Вселенной. Все эти загадочные явления указывают на существование огромных масс материи вне тех ее форм, которые доступны регистрации благодаря испускаемому ею излучению.

Астрономы называют эту сущность обобщенным термином «темная материя». Возможно, она существует в нескольких формах, но общее название выглядит удачным: ее главное свойство заключается в том, что она избегает взаимодействий с излучением, то есть не испускает его и не препятствует его распространению в больших объемах пространства. Ее существование следует только из гравитационных эффектов и из предсказаний теории Большого взрыва. И уже несколько десятилетий космологи, астрономы и исследователи элементарных частиц ведут ее увлекательные поиски, которые лишь недавно стали давать первые результаты.

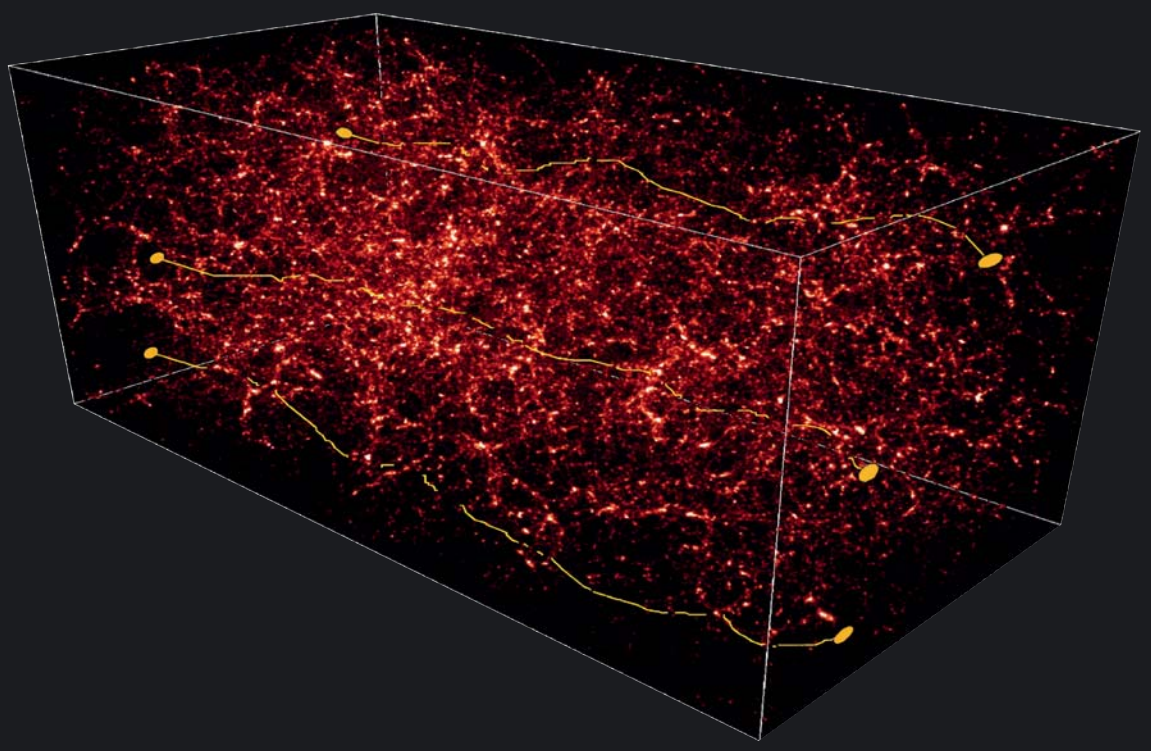
Большинство астрономов считают, что, скорее всего, существует два вида темной материи — они получили забавные прозвища MACHO и WIMP («мачо» и «хлюпик»). MACHO, или «массивные компактные объекты гало» (Massive Compact Halo Objects), — концентрированные скопления материи в с виду пустых областях гало спиральных галактик выше и ниже галактической плоскости. Эти объекты либо полностью темные, либо излучают настолько слабо, что мы неспособны зарегистрировать их даже в гало нашего Млечного Пути, не говоря уж о других галактиках. На роль MACHO предлагались коричневые карлики, одинокие планеты вне планетных систем, полностью остывшие и погасшие звезды-карлики и черные дыры.

MACHO определенно существуют. Несколько раз они были зарегистрированы, когда случайно загораживали собой далекие звезды в других галактиках. В некоторых случаях блеск звезд в результате таких затмений падает, но иногда гравитационное линзирование приводит к тому, что свет далекой звезды, наоборот, фокусируется и наблюдатель регистрирует кратковременный рост яркости. Линзирование — верный признак того, что по крайней мере некоторые MACHO являются черными дырами.

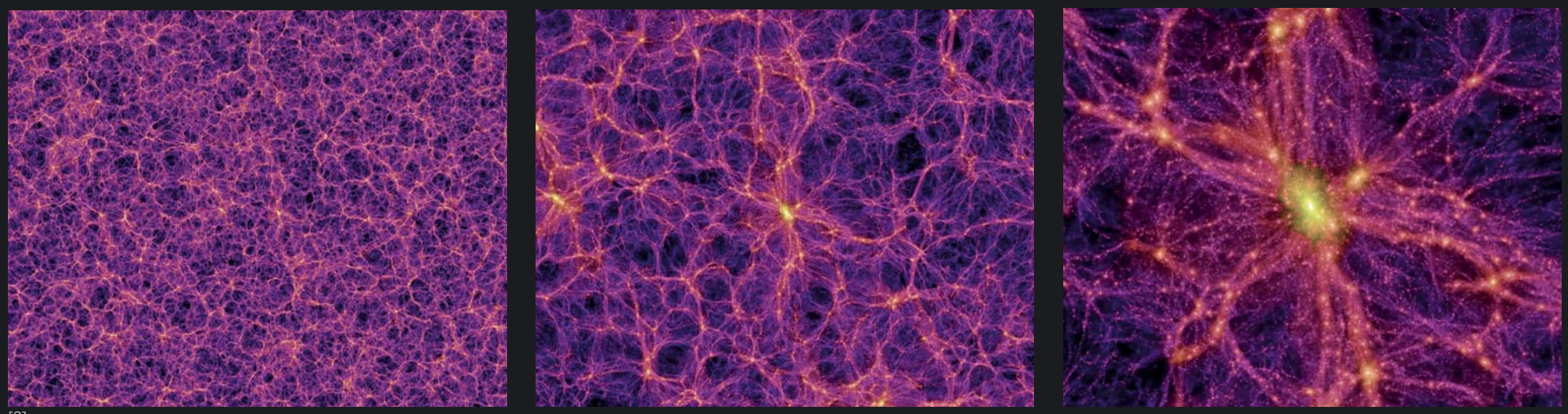
Однако MACHO решают проблему только частично: чтобы объяснить ими огромное количество темной материи во Вселенной, их должно быть нереально много. Более того, по природе своей они должны концентрироваться в галактиках. Тогда они могли бы помочь объяснить особенности вращения спиральных галактик, но есть свидетельства того, что темная материя распределена во Вселенной гораздо более равномерно.

Тут и могут пригодиться WIMP (Weakly Interacting Massive Particles) — «слабо взаимодействующие массивные частицы», пока не открытые частицы материи, обладающие массой, но почти не взаимодействующие ни с обычным веществом, ни с излучением.

Один из видов WIMP недавно привлек к себе внимание — нейтрино, частицы, в огромных количествах излучаемые при реакциях термоядерного синтеза в недрах таких звезд, как наше Солнце. Нейтрино известны с 1930-х, но прежде о них не думали как о WIMP — считалось, что они полностью лишены массы и обладают удивительной способностью проходить сквозь вещество, как будто оно вообще не существует. Чтобы их зарегистрировать, астрономам и физикам пришлось построить детекторы в виде огромных емкостей, заполненных жидкостью определенного химического состава и размещенных на глубине около мили под землей. В тех редчайших случаях, когда нейтрино взаимодействовали с атомами жидкости в детекторе, возникали вспышки света, из которых и можно было извлечь некоторую информацию о свойствах неуловимых частиц. Первые признаки того, что они все же обладают массой, хоть и очень малой, были получены в 1998 году, но подтвердилось это только в 2006-м. Так как количество нейтрино в космосе огромно, возможно, они могут составлять существенную часть темной материи.



[1] Это компьютерная симуляция распределения темной материи в объеме пространства с ребром в миллиард световых лет. Извивающиеся яркие дорожки иллюстрируют гравитационные искажения лучей света, распространяющиеся между галактикой с одной стороны объема и наблюдателем — с другой.



[2] Серия изображений иллюстрирует математическую модель влияния темной материи на формирование и распределение галактик. Темная материя, возникшая при Большом взрыве, собралась в нити и войды. Когда вокруг темной материи сконденсировалось обычное вещество, стали формироваться сверхскопления и скопления галактик.

Вселенная намного больше того, что доступно нашим глазам: 87% ее не только невидимо, но, возможно, даже состоит из совсем другого вида материи, чем обычное вещество. Как показывает эта компьютерная симуляция, истинную структуру Вселенной образуют вовсе не планеты, звезды или галактики, а плотное сплетение нитей темной материи, связывающих галактики друг с другом и образующих «паутину» из скапливающихся галактик.

Взгляд вглубь

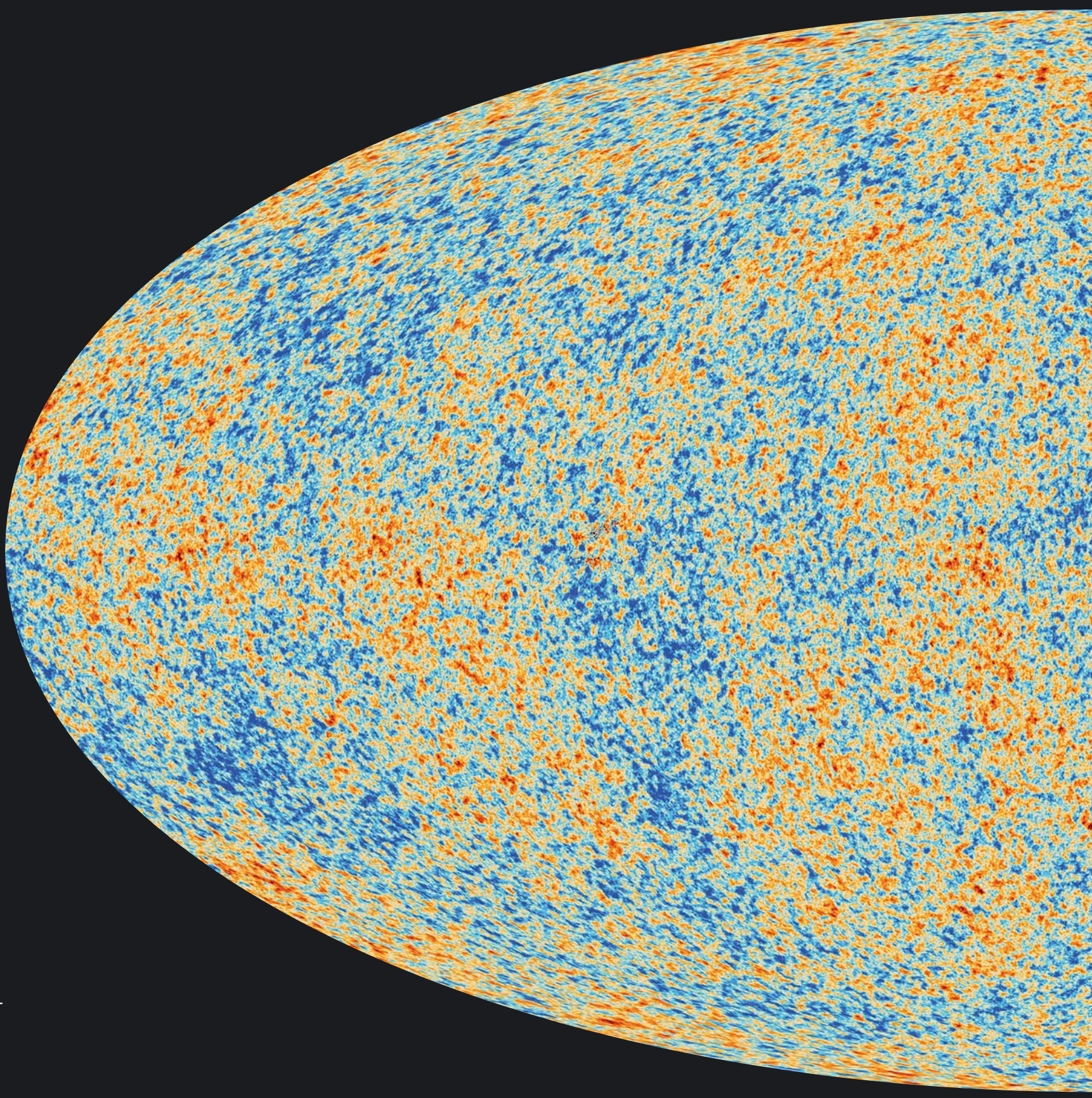
Космический телескоп Хаббла
заглянул в молодую Вселенную.

В 2004 году астрономы направили орбитальный космический телескоп «Хаббл» на небольшой — размером едва ли с десятую часть полной Луны — участок неба в созвездии Печи. Чувствительные приемники телескопа в течение нескольких миллионов секунд (более 11 суток общего наблюдательного времени) накапливали фотоны от этого с виду бедного звездами участка неба, выявив на нем около 10 000 галактик разного возраста на разных расстояниях и заглянув в самую раннюю эпоху формирования галактик. В так называемом ультраглубоком поле Хаббла (Hubble Ultra Deep Field — HUDF) обнаружено ошеломляющее разнообразие форм и хаотических структур галактик, вовсе не похожих на нынешние шары и спирали из звезд. Эти молодые образования сформировались в эпоху, когда после Большого взрыва прошло всего несколько сот миллионов лет.

• Расширяющаяся Вселенная

В рамках проекта HUDF получены не только изображения самых далеких галактик, но и их спектры, обнаружившие огромное разнообразие красных смещений, то есть самые разные скорости убегания. Различия в красных смещениях галактик и общая картина разбегания галактик открыты Эдвином Хабблом в 1920-х. Именно он установил связь между расстоянием до галактики и скоростью ее удаления от нас, и он же первым понял значение этой закономерности: поскольку Земля не может иметь никакого привилегированного положения в космосе, единственным объяснением могло быть только то, что вся Вселенная постоянно расширяется. Если само пространство расширяется с одинаковой для всей Вселенной скоростью, тогда чем дальше от нас находится объект, тем больше на нем будет сказываться это расширение и тем быстрее он будет от нас удаляться.

Конечно, если Вселенная расширяется и все объекты в ней удаляются друг от друга, появляется желание проследить этот процесс в обратном направлении, до начала этого расширения. В некоторой далекой точке прошлого (как теперь считается, около 13,8 миллиарда лет назад), все вещество Вселенной должно было быть сосредоточено в одной точке пространства и вследствие огромного давления было непредставимо горячим. Это представление лежит в основе теории образования Вселенной в результате Большого взрыва (см. с. 216). Открытия Хаббла, в частности установление им скорости расширения Вселенной (постоянной Хаббла), имеют огромное значение и для описания будущего Вселенной (см. с. 218).



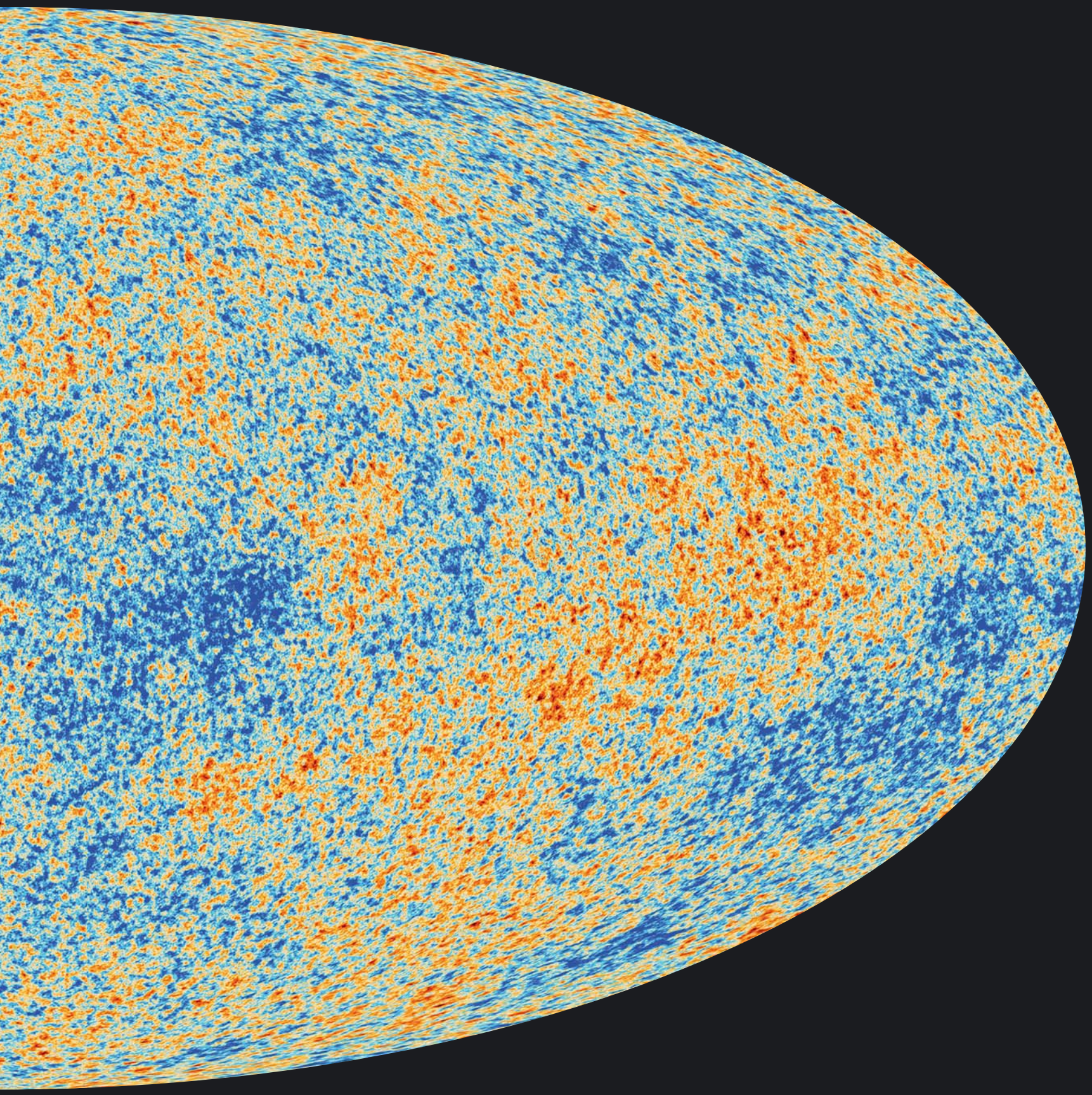
Да будет свет

С самого дальнего края наблюдаемой Вселенной идет к нам поток излучения — наиболее раннее доступное нам изображение космоса.

Взгляд наших телескопов вглубь космоса упирается в стену, в непреодолимый барьер. Какими бы мощными ни были наши телескопы, как далеко ни проникли бы наши космические зонды, мы никогда не сможем преодолеть эту преграду. Это не физическая стена, а граница пространства и времени. Пока наши оптические телескопы подбираются к ней все ближе, радиотелескопы «видят» ее уже более полувека. Составление карты Вселенной на радиоволнах позволило нам понять, что это за стена и что она говорит нам о Вселенной.

Стена представляет собой идеальную сферу радиусом около 46,5 миллиарда световых лет, в пространственно-временном центре которой находится Земля. Радиус сферы чуть меньше расстояния, которое свет мог пройти за 13,8 миллиарда лет с момента Большого Взрыва — не забудем, что, пока излучение шло с края Вселенной к Земле, пространство продолжало постоянно расширяться. Таким образом, стена обозначает самую дальнюю точку в любом направлении, свет от которой мог достичь Земли за время существования Вселенной. Поскольку скорость света конечна, то, чем дальше мы заглядываем в пространство, тем более далекое прошлое мы видим. Но так как возраст Вселенной конечен, то существует и конечный предел расстояния, на которое мы способны заглянуть вдаль. Если бы мы могли при этом увидеть сам Большой взрыв, это, возможно, помогло бы космологам разгадать многие самые глубокие тайны Вселенной. Но условия в ранней Вселенной не позволяют нам этого сделать (см. на обороте) — на заре времен космос был заполнен непрозрачным «туманом», в котором световые лучи бесконечно блуждали, поглощаясь и снова переизлучаясь, как это происходит сегодня в недрах звезд. Прошло около 300 000 лет, прежде чем эти условия изменились, количество частиц в единице пространства внезапно упало и Вселенная стала прозрачной. Теперь излучение могло свободно разлетаться в пространстве во все стороны и с тех пор путешествует во Вселенной. Мельчайшая часть его попадает и на Землю. За время странствий оно изменило свою некогда очень короткую длину волны на большую, и теперь мы регистрируем его в виде космического микроволнового фона. То, что было когда-то раскаленным излучением «поверхности последнего рассеяния» Вселенной, превратилось в призрачное слабое свечение, какое исходило бы от объекта с температурой меньше чем на 3 градуса Цельсия (5,4 по Фаренгейту) теплее абсолютного нуля.

В 1960-х регистрация этого, как его называют некоторые астрономы, реликтового излучения наземными радиоантеннами было настоящим прорывом — случайным, но очень своевременным открытием, которое стало решающим доказательством тогда еще очень спорной теории Большого взрыва. А недавно специально отправленные для этого спутники построили подробную карту распределения этого излучения по небу, измеряя разности его температуры в несколько миллионных долей градуса. Эти измерения позволяют нам взглянуть



на то странное непрозрачное образование, каким была Вселенная первые несколько тысяч лет.

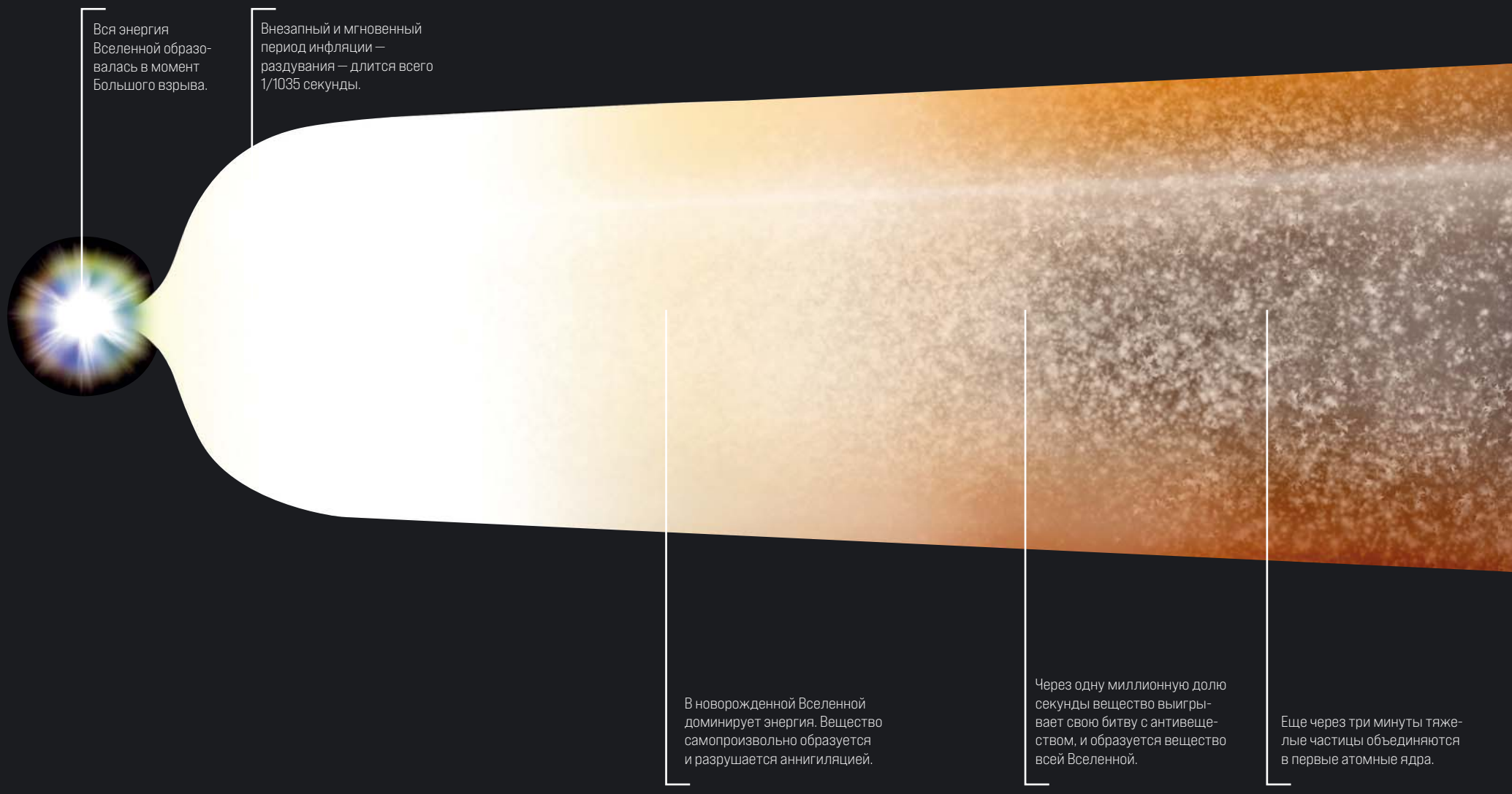
Это была эпоха, когда давление излучения на вещество противодействовало стягивающей силе гравитации, удерживая обычное вещество от коллапса и не позволяя ему структурироваться. И все-таки на картах распределения реликтового излучения определенная структура проявляется — чуть более горячие и чуть более холодные расплывчатые пятна, которые перекликаются с наблюдаемым сейчас переплетением гигантских нитей и войдов. Эти исчезающе малые температурные различия оказываются очень важными — они соответствуют областям большей и меньшей концентрации вещества в момент, когда вещество и излучение отделились друг от друга. Но если до этого излучение расталкивало обычное вещество в разные стороны, не позволяя ему сконденсироваться, как же могли начать формироваться структуры?

Единственный ответ на этот вопрос заключается в том, что «рябь» на картах реликтового излучения воспроизводит распределение темной материи в ранней Вселенной. Частицы темной материи, нечувствительные (или минимально чувствительные) к мощным потокам излучения вокруг них, могли раньше начать медленно концентрироваться под действием тяготения и образовывать центры притяжения, вокруг которых позже и стало сосредоточиваться видимое вещество будущих звезд, планет и галактик.

Для каждой точки пространства и времени существует собственная наблюдаемая Вселенная — грань, за которую заглянуть невозможно. Новые мощные астрономические инструменты помогают нам достичь все новых и новых вех на пути к этой грани, но преодолеть ее они никогда не смогут.

Здесь мы вступаем во владения космологов...

[Вверху] Эта подробная карта флуктуаций космического микроволнового фона получена космической обсерваторией «Планк» Европейского космического агентства. На ней зарегистрированы вариации температуры реликтового излучения в несколько миллионных долей градуса, соответствующие более и менее горячим, более и менее плотным областям ранней Вселенной.



Большой взрыв

Пространство, время и вещество родились в виде невероятно горячего и плотного огненного шара.

Существовала ли Вселенная всегда или у нее было начало в пространстве и времени? Это, быть может, основной вопрос астрономии. Ответ на него имеет огромное значение для космологии и философии. И судя по всему, наша Вселенная относительно молода — она образовалась всего 13,7 миллиарда лет назад. Знаменитая теория Большого взрыва, хоть ее и пришлось несколько раз корректировать и дополнять, все еще остается лучшей моделью происхождения космоса.

Теория Большого взрыва основывается на простом наблюдательном факте: Вселенная расширяется. Это стало ясно в 1920-х, когда пионерские исследования галактик, выполненные Эдвином Хабблом, впервые позволили определить расстояния до них и установить фундаментальную закономерность: чем дальше от нас находится галактика, тем больше скорость ее удаления от нас. И так как давно уже понятно, что Млечный Путь не занимает никакого особого положения во Вселенной, эту закономерность можно объяснить только одним способом: пространство само по себе расширяется, а с ним и все галактики. Нам только кажется, что нас это расширение не касается — с нашей точки зрения, мы находимся в его центре. Но для обитателей любой далекой галактики все выглядит точно так же, как и для нас.

Из того, что Вселенная расширяется, следует, что в прошлом галактики и их скопления были ближе друг к другу, чем сейчас. Первым эту мысль довел до логического завершения бельгиец Жорж Леметр, еще в 1931 году предположивший, что Вселенная родилась при взрыве «первоатома», в котором была сосредоточена вся масса и энергия. Однако только в 1940-х, с развитием ядерной физики после проекта «Манхэттен», физики-теоретики обратили внимание на эту идею. Для объяснения происхождения и строения Вселенной они разработали теорию «горячего Большого взрыва», на которой построена вся современная космология.

Физики понимали, что сжатая Вселенная должна была быть и горячей — такова универсальная взаимосвязь теплоты и давления. Но они понимали и то, что в экстремальных условиях ранней Вселенной должны были существовать формы материи, которые сейчас можно получить разве что в наиболее мощных ускорителях частиц. Первые несколько секунд сотворения мира рисовались как кипящий вихрь превращающихся друг в друга энергии и вещества (в соответствии с эйнштейновской формулой $E = mc^2$).

Чем тяжелее частица, тем больше энергии необходимо затратить на ее создание. Поэтому более тяжелые частицы рождались в самые первые мгновения. Те, что были неустойчивы, по мере того как Вселенная расширялась и температура падала, вскоре распадались и снова превращались в чистую энергию. Из устойчивых наиболее важную роль играли две крохотные частицы, называемые «верхним» и «нижним» кварками, — они соединялись в тройки и образовывали протоны и нейтроны, которые становились ядрами атомов). Легкие частицы формировались дольше: так появилось множество лептонов, в том числе почти безмассовые нейтрино и более тяжелые и привычные для нас электроны.

Первоначальная вспышка творения закончилась менее чем за миллионную долю секунды. С этого момента во Вселенной началось построение ее космического порядка. Кварки объединились в протоны и нейтроны. В соответствии с теорией Большого взрыва протонов образовалось примерно в семь раз больше, чем нейтронов.

Через 100 секунд, когда температура упала ниже 10 миллиардов градусов Цельсия (18 миллиардов по Фаренгейту), началась «эра нуклеосинтеза»: протоны и нейтроны стали объединяться в ядра простейших элементов. Проще всего было формироваться ядрам гелия, которые обычно состоят из двух протонов и двух нейтронов, но образовались и небольшие количества лития. У каждого из этих элементов были различные изотопы, в ядрах которых было одно и то же число протонов и разное — нейтронов. В конце концов на свободе осталось огромное количество одиноких протонов, которые стали ядрами самого распространенного элемента во Вселенной — водорода. Этот момент тоже хорошо описывается теорией Большого взрыва.

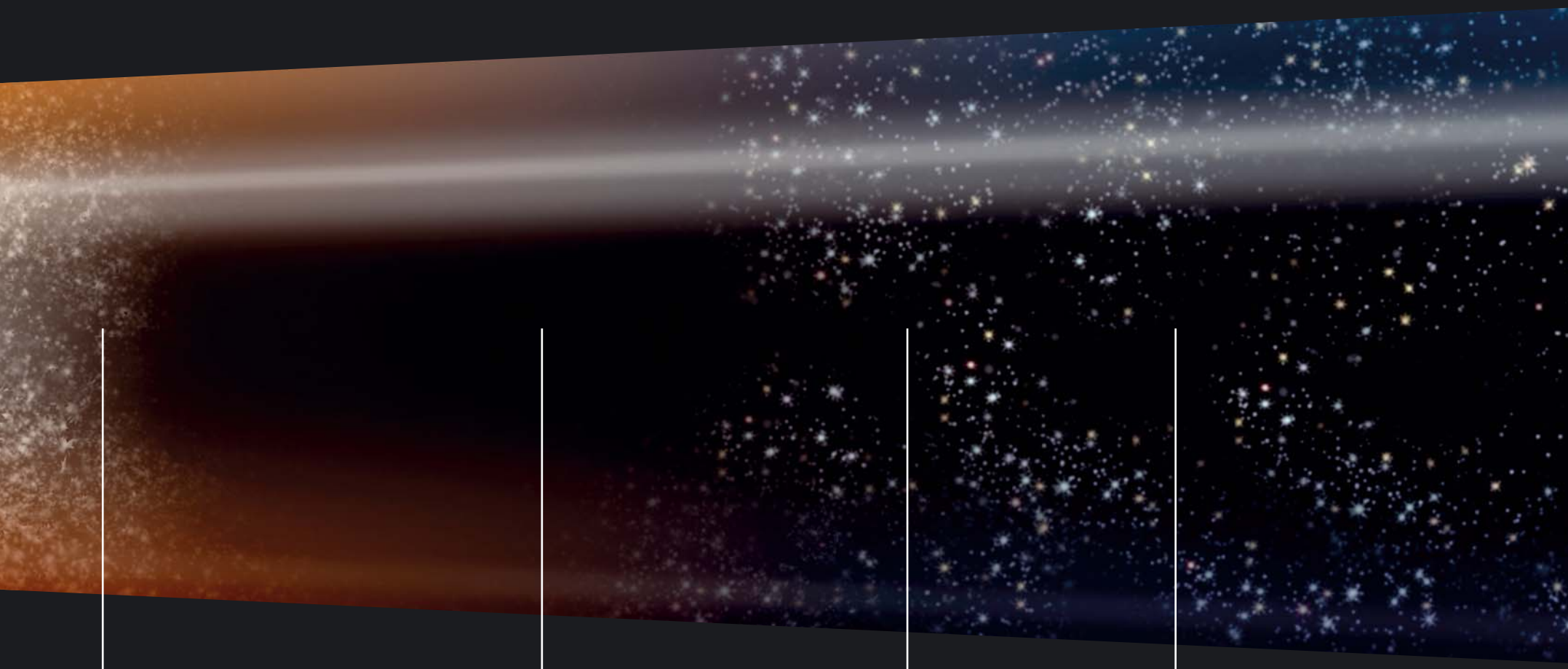
Все вещество нынешнего космоса уже было создано, но температура его все еще оставалась такой высокой, что большая часть энергии Вселенной существовала в форме высокочастотного излучения — гамма- и рентгеновских лучей. Эти фотоны — похожие на частицы «пакеты» электромагнитных волн — непрерывно то наталкивались на плотно упакованные в пространстве частицы, то «отскакивали» от них. И если бы кто-то мог видеть новорожденную Вселенную снаружи, она показалась бы ему непрозрачным огненным туманным шаром.

Последнее действие этой драмы произошло примерно через 300 000 лет после Большого взрыва, когда температура Вселенной упала ниже критической температуры в 3000 градусов Цельсия (5400 по Фаренгейту). Теперь электроны могли присоединяться к ядрам и впервые с момента сотворения Вселенной образовывать атомы. Огромное количество электронов быстро перешло в связанное состояние, и, так как плотность частиц во Вселенной резко упала, фотоны впервые получили возможность двигаться по длинным прямым линиям. Эхо этого события — разъединения вещества и излучения — до сих пор можно наблюдать в форме космического микроволнового фона, излучения, которое распространяется во Вселенной во всех направлениях и отмечает для нас пределы видимой Вселенной.

Сложности теории

Это описание — лишь краткое изложение основ теории Большого взрыва. Но, хотя ее основные положения и на сегодня остаются неизменными, несколько раз ее уже пришлось существенно подправлять, чтобы ответить на некоторые трудные вопросы и объяснить наблюдаемые факты.

Одной из первых и самых важных проблем было объяснение того, почему Вселенная образовалась из известных нам на сегодня частиц. Теоретически нет причин, которые запрещали бы известным частицам — протонам, составляющим атомные ядра, и электронам, окружающим их, — образоваться с равными по величине и противоположными по знаку электрическими зарядами. У любой частицы теоретически имеется противоположно заряженный двойник — именно это имеют в виду физики, когда говорят об «антивеществе». Различие в заряде более значительно, чем может показаться на первый взгляд, так как идентичные, но противоположно заряженные частицы будут притягиваться, а когда они встретятся, то аннигилируют, превратившись во вспышку чистой энергии. Хотя некоторые ядерные реакции в недрах звезд могут на короткое время порождать антиэлектроны (так называемые позитроны), мы знаем, что антивещество не может быть



Через 300 000 лет образуются первые атомы. Количество свободных частиц во Вселенной падает, и пространство впервые становится прозрачным.

Спустя более 100 миллионов лет вещество охлаждается и конденсируется. Вселенная погружена во тьму.

Через 200 миллионов лет первое поколение звезд-гигантов обогащает Вселенную тяжелыми элементами.

Спустя 400 миллионов лет после Большого взрыва начинают образовываться первые галактики.

широко распространено во Вселенной — иначе ее просто не существовало бы.

По-видимому, в самую первую микроскопическую долю секунды вещество и антивещество действительно присутствовали в равных количествах. В этот момент вокруг было столько энергии, что она могла спонтанно трансформироваться в пары идентичных и в то же время противоположных частиц и античастиц, которые тут же аннигилировали и вновь превращались в энергию. Это идеальное равновесие нарушили малые количества массивных и сложных по составу частиц — Х-бозонов. Физики выяснили, что эта частица самопроизвольно распадается на каскад частиц, в котором всегда есть небольшой перевес вещества над антивеществом. Таким образом, в ливне аннигиляций вещества и антивещества образовывался крайне незначительный — возможно, в одну частицу на миллиард — избыток обычных частиц. Вот эта-то малая доля всего исходного вещества теперь и образует нынешнюю Вселенную.

Другая серьезная трудность возникла, когда астрономы попытались сравнить предсказания теории Большого взрыва с реалиями сегодняшней Вселенной. При почти идеальном соответствии предсказаний теории в отношении количества различных элементов в ранней Вселенной удовлетворительного объяснения распределения вещества во Вселенной получить не удавалось. Если в течение первых 300 000 лет частицы, погруженные в первоначальный «туман» излучения, были отделены друг от друга, они должны были и по сей день оставаться в «размазанном» состоянии и не сконденсировались бы в те «нити» вещества, которые мы сегодня наблюдаем.

Чтобы преодолеть эту трудность, потребовалась новая коррекция теории. В 1981 году физик Алан Гут предположил, что Вселенная, какой мы видим ее сегодня, — лишь крохотная часть первоначальной Вселенной, раздутая до огромных размеров в результате мощной инфляции, которая произошла почти сразу же после самого «акта творения». Масштаб этой инфляции был таким, что мельчайшие субатомные или квантовые флуктуации в новорожденной Вселенной разрастались, определяя основные очертания постинфляционного космоса. Из них, как из семян, выросли впоследствии скопления галактик.

Конечно, введение идеи инфляции вызывает новый вопрос: какая сила могла вызвать столь масштабное событие? Неожиданный ответ таков: в нем участвовали все силы. Специалисты по физике частиц давно уже понимают, что Вселенной управляют четыре силы: тяготение, электромагнетизм и две ядерные силы, действующие внутри атома, «сильная» и «слабая». При достаточно высокой температуре электромагнитная и слабая ядерная силы могут объединиться в единую «электрослабую» силу. Возможно, со временем физикам удастся объединить ее с «сильным» ядерным взаимодействием, а потом, наконец, и с гравитацией. И если при почти бесконечно высокой температуре «акта творения» такая «суперсила» действительно существовала, она мгновенно бы расщепилась на свои составляющие, высвобождая при этом гигантские количества энергии. Именно это, по мнению большинства космологов, и было движущей силой инфляции.

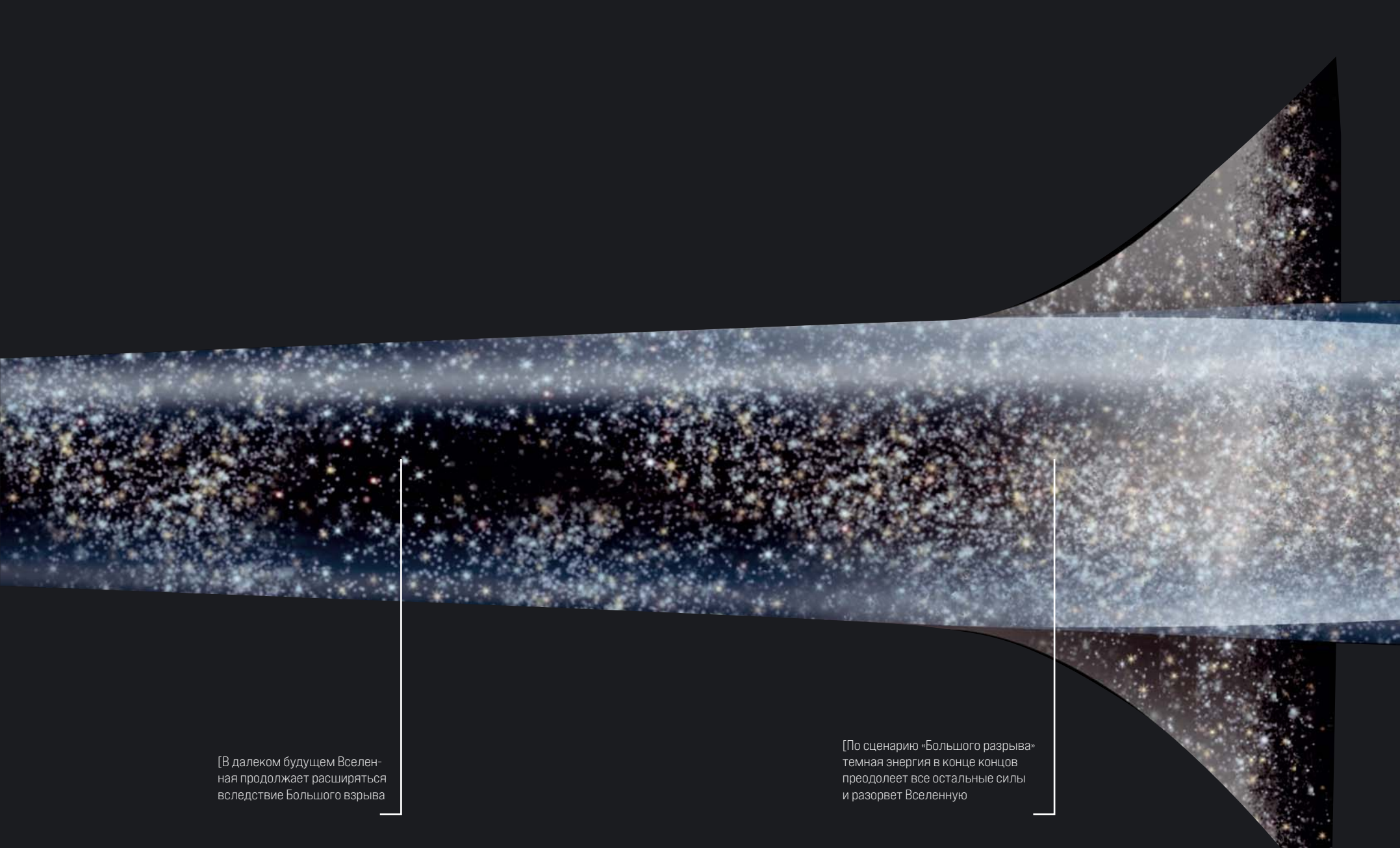
Есть, однако, и еще один большой вопрос. Упорно ускользает от рассмотрения сам Большой взрыв, его первопричина, породившая в результате нашу Вселенную. В то время как большинство космологов уверенно прослеживает состояние Вселенной в процессе Большого взрыва почти от самого «момента творения», первые 10–43 секунды космической истории наглухо скрыты от нас. В этот интервал времени, известный как «планковская эра», Вселенная была так мала, что классические законы физики были неприменимы. Космос подчинялся законам квантовой физики, механизм которой, построенный на вероятностях, управляет мельчайшими частицами материи. Космологи, теологи и все остальные могут сколько угодно рассуждать о первопричине Большого взрыва, но без квантовой теории гравитации, этого Святого Грааля современной физики, мы не сможем приблизиться к научному ответу на этот вопрос.

Происхождение структуры Вселенной

Есть, впрочем, важнейший вопрос, на который у современной космологии готов ответ, — это вопрос о том, что случилось после Большого взрыва. Между рождением космического микроволнового фона, который появился спустя 300 000 лет после Большого взрыва, и до появления самых далеких галактик, какие мы способны увидеть с нашими крупнейшими телескопами, лежит огромная полоса тьмы. Это было время, когда первые звезды начали объединяться в галактики, когда формировались первые скопления галактик. Не разобравшись, что происходило тогда, нельзя понять и сегодняшнюю Вселенную.

По всей видимости, вначале Вселенная действительно пережила Темные века — вещество было распределено слишком равномерно, чтобы могли образоваться звезды или галактики, и пустоту ничто не освещало. Однако постепенно, в течение миллионов лет, вещество стало медленно конденсироваться в узлы повышенной плотности, создаваемые инфляцией. Невидимая темная материя (см. с. 210) помогла этому процессу начаться. Не подверженная влиянию мощного излучения, пронизывавшего Вселенную перед разъединением вещества и энергии, она начала понемногу концентрироваться, и ее тяготение стягивало к ней обычное вещество.

В сегодняшней Вселенной галактики порождают звезды, но в те далекие времена дела обстояли иначе. Первыми свечами, осветившими космос, были гигантские звезды первого поколения, иногда называемые мегазвездами. Они были гораздо массивнее любых сегодняшних звезд. Состояли они исключительно из самых легких элементов Вселенной, и поэтому при огромных размерах интенсивность горения была у них сравнительно небольшой. В них образовывались первые тяжелые элементы: углерод, кислород, неон. Вскоре, однако, даже их гигантские запасы «топлива» истощались, и взрывы, которыми кончалось существование таких звезд, — взрывы гиперновых — были поистине колоссальны. В результате по Вселенной рассеивались тяжелые элементы и рассылались потоки высокоэнергетических гамма-лучей, которые и сейчас время от времени доходят до Земли с самых краев космоса. После гиперновых оставались гигантские черные дыры, которые, возможно, даже стали центрами образовавшихся вокруг них галактик.



Конец?

Чем закончится история Вселенной: схлопыванием, разрывом или медленным замерзанием?

Как погибнет Вселенная? Даже просто попытка ответить на этот вопрос, последний вопрос космологии, заставит нас подойти к грани наших нынешних знаний и выйти за эту грань. Но сделанные в последнее десятилетие шаги к разгадке этой тайны привели к пересмотру многих фундаментальных представлений о космосе. Еще недавно судьба Вселенной казалась относительно легко предсказуемой. Вырисовалось три возможных исхода, и выбор из них сводился в конечном счете к тщательным измерениям.

Самым, пожалуй, распространенным решением был конец Вселенной в форме «Большого сжатия»: оно должно было наступить в результате замедления расширения Вселенной под действием тяготения. Затем расширение должно было смениться схлопыванием: спустя много миллиардов лет галактики и скопления галактик начнут сближаться. По мере того как Вселенная будет становиться все более плотно населенной, она станет и горячее, пока наконец все вещество не превратится в «суп» из частиц, наподобие того, который существовал во времена Большого взрыва. В конечном счете Вселенная возвратится к состоянию сингулярности, из которого она и возникла. Теория Большого сжатия привлекательна тем, что история Вселенной выглядит симметрично конечной и одновременно включает в себя возможность непрерывного продолжения — ведь сжатие может привести к новому Большому взрыву и возникновению новой Вселенной. Может быть даже, такой цикл уже много раз повторялся, прежде чем возник наш нынешний мир.

Остальные две возможности были, по сути, вариациями одной темы. Расширение Вселенной, возможно, окажется слишком мощным, чтобы тяготение могло его замедлить. А может быть, все так тонко сбалансировано, что расширение почти полностью остановится, но в сжатие не перейдет. В обоих случаях Вселенную ждет «Большой холод» — вещество будет распространяться все дальше и дальше, для звездообразования будет оставаться все меньше материала, свет станет прерывистым и слабым, и все погрузится в темную и холодную вечность.

Выбираем судьбу

Какая же из этих альтернатив осуществится? Критические параметры, от которых зависит судьба Вселенной, — это скорость ее расширения и ее текущая плотность. С тех самых пор, как Эдвин Хаббл доказал, что Вселенная расширяется (см. с. 212), астрономы пытаются как можно точнее измерить скорость этого расширения — постоянную Хаббла. Но лишь недавно мы получили достаточно точный ответ на этот вопрос.

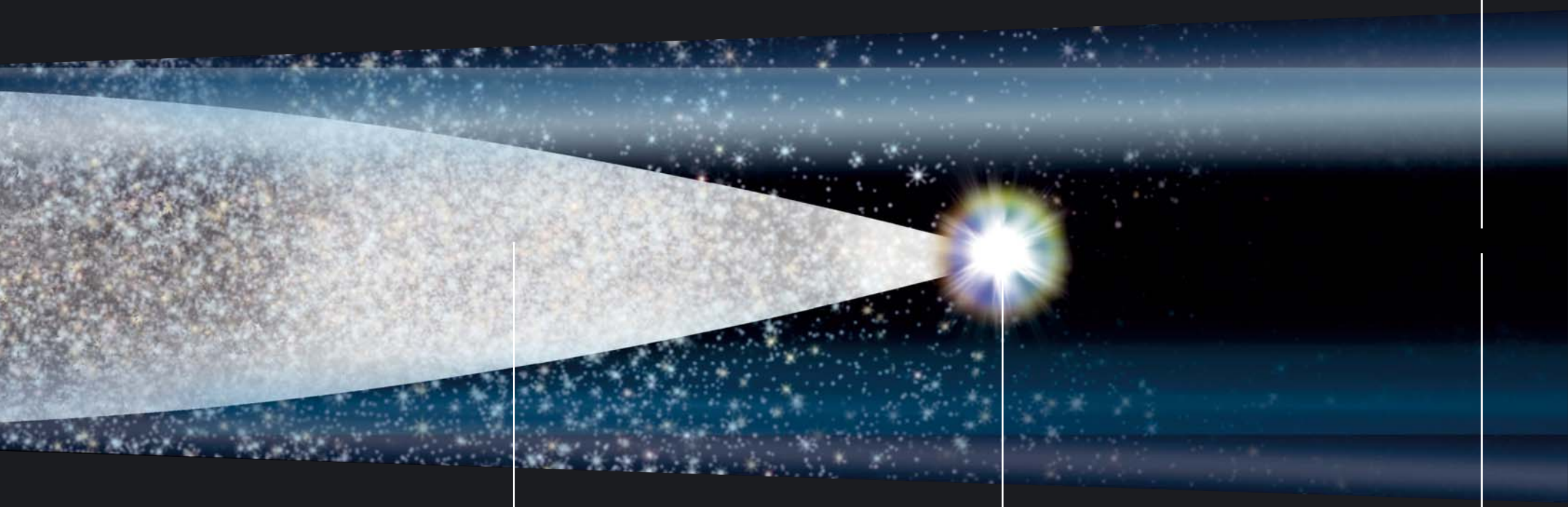
Оценить полную массу Вселенной оказалось почти так же трудно, так как надо учесть не только все видимое вещество, но и невидимую темную материю. Однако наиболее точные оценки, основанные все на той же постоянной Хаббла, неизменно приводили к одному и тому же разочаровывающему выводу: плотность Вселенной очень близка к критическому значению как раз на грани между вечным холодом постоянного расширения и огненной печью «Большого сжатия».

Но в конце 1990-х было сделано поразительное открытие, которое, казалось, ответило на этот вопрос раз и навсегда.

Темная энергия

В конце 1990-х группа астрономов приступила к реализации амбициозного проекта — независимой проверке измерений постоянной Хаббла, выполненных космическим телескопом «Хаббл». В качестве «стандартной свечи», эталона светимости для измерения космических расстояний, они выбрали не цефеиды, а совсем другой тип звезд, позволявший измерять гораздо более далекие расстояния, — сверхновые типа I. Эти ярчайшие звездные взрывы всегда вызываются одной и той же причиной: коллапсом белого карлика в нейтронную звезду в момент, когда его масса превысит предел Чандрасекара (1,4 массы Солнца). При этом всегда выделяется строго определенное количество энергии и достигается одна и та же максимальная светимость вспышки. Используя самые мощные телескопы в мире, астрономы искали как можно больше вспышек сверхновых I типа в как можно более далеких галактиках.

Результат их работы революционизировал нашу картину Вселенной. Далекие сверхновые были систематически более слабыми и, следовательно, более далекими, чем ожидалось. Единственным возможным объяснением этому было то, что расширение Вселенной ускорилось на протяжении ее истории. Это выглядит так, как будто некая непонятная сила расталкивает Вселенную в разные стороны и противодействует стремлению гравитации ее расширение замедлить.



[В модифицированном сценарии «Большого замерзания» расширение Вселенной постепенно прекращается, но так и не переходит в сжатие

[В сценарии «Большого сжатия» тяготение побеждает все остальные силы во Вселенной, и обращает ее расширение вспять

[«Большое сжатие» — возвращение космоса к сингулярности, из которой он родился

[В сценарии «Большого замерзания» Вселенной ее расширение продолжается вечно, даже когда исчезнут все звезды

Новую силу назвали темной энергией. Хотя ее источник и природа до сих пор глубоко таинственны, значение ее понятно: темная энергия, по-видимому, обрекает нашу Вселенную на вечное расширение и долгую холодную смерть.

Однако учет новой силы позволяет нам представить и другую возможную судьбу Вселенной. По-видимому, действие темной энергии со временем увеличивается: точные измерения говорят, что гравитация действительно замедляла расширение Вселенной и лишь примерно 6 миллиардов лет назад темная энергия увеличилась настолько, что стала преодолевать ее действие. Если постоянное увеличение темной энергии продолжится, то, вероятно, Вселенную ждет Большой холод, но некоторые считают, что темная энергия может расти экспоненциально. Тогда это может означать, что в некоторой точке будущего темная энергия начнет преодолевать местные гравитационные силы и даже силы, скрепляющие атомные ядра. В результате произойдет «Большой разрыв» — все вещество Вселенной будет разорвано и разлетится в разные стороны.

«Большой холод»

В свете новых знаний о темной энергии выглядит вероятным, что Вселенная обречена на долгое холодное умирание. Как же будет выглядеть «Большое похолодание»? Сначала изменения будут незаметными. Будут по-прежнему рождаться новые поколения звезд и галактик. Но по мере того, как будет уменьшаться количество холодного газа, необходимого для звездообразования, слияния галактик приведут к тому, что в большинстве скоплений галактик будут доминировать эллиптические гиганты (см. с. 188). Через несколько триллионов лет даже в этих гигантских галактиках звезды израсходуют все свое ядерное топливо, и во Вселенной не останется ничего, кроме темных обугленных звездных остатков, обращающихся вокруг гигантских черных дыр.

За достаточно большое время все на свете неизбежно деградирует от сложного к простому, и даже мертвые остатки звезд подчиняются этому правилу. В непредставимо далеком будущем даже черные дыры станут неустойчивыми и испарятся, превратившись в излучение. А еще позже распадутся и мертвые звездные остатки, чтобы затем снова сконденсироваться в новое поколение малых черных дыр — а их затем постигнет та же судьба, что и их предшественниц. Наконец от нашей некогда великолепной Вселенной не останется ничего, кроме разреженной взвеси субатомных частиц, вечно плавающих в бесконечной тьме.

Можно ли надеяться хоть на отсрочку этого приговора? Некоторые космологи считают, что наша Вселенная образовалась на поверхности многомерного объекта — «браны». У этой теории пока нет доказательств, но согласно ей наша брана и еще одна медленно движутся друг мимо друга, а когда они соприкасаются, что происходит, возможно, раз в триллион лет, случается Большой взрыв и рождается новая Вселенная. Эта идея далеко не всеми разделяется, но все же приятно верить, что наша умирающая Вселенная когда-нибудь породит новую, столь же прекрасную, какой была и она сама.

• Постоянная Хаббла

Постоянная Хаббла обычно измеряется в километрах в секунду на мегапарсек. Например, при постоянной Хаббла в 1 км/с/Мпк объект, находящийся от нас на расстоянии в один мегапарсек (примерно 3,26 миллиона световых лет), вследствие расширения Вселенной удалялся бы со скоростью в 1 км/с, объект на расстоянии 2 мегапарсек удалялся бы вдвое быстрее и т. д.

Оказалось, что точно измерить постоянную Хаббла чрезвычайно трудно. Если лучевую скорость далекой галактики легко определить, измеряя допплеровские сдвиги линий ее спектра (см. с. 212), то расстояние до нее найти гораздо труднее. Наиболее надежный способ сделать это основан на отыскании в галактиках очень слабых на огромных расстояниях цефеид — переменных звезд, период пульсаций которых связан с их истинной светимостью. Если мы знаем период изменений блеска такой звезды, мы можем найти и ее истинную яркость, а значит, и оценить расстояние до нее. На протяжении десятилетий трудность применения этой методики состояла в том, что цефеиды слишком слабы для регистрации их в других галактиках, кроме самых близких. Только с космическим телескопом «Хаббл» (HST) стало возможно находить цефеиды в более далеких галактиках, что дало более или менее точную оценку постоянной Хаббла — около 70 км/с/Мпк.]

ГЛОССАРИЙ

Абсолютный нуль
Самая низкая температура, достижимая во Вселенной: –273 градуса Цельсия (–459 по Фаренгейту). По сути, при этой температуре все движения атомов полностью прекращаются. Верхнего предела температуры не существует.

Аккреционный диск
Кольцеобразная структура, образующаяся при концентрации вещества, которое вращается в гравитационном поле очень плотного тела, такого как черная дыра или другой звездный остаток.

Активная галактика
Галактика, которая излучает больше энергии, чем могли бы обеспечить ее обычные составляющие: звезды, пыль и газ.

Активное ядро галактики
Ядро активной галактики. Энергия, выделяющаяся в таком ядре, может оказаться больше светимости всех остальных звезд в этой галактике. Считается, что источник энергии активного ядра — нагрев аккреционного диска в ходе его поглощения сверхмассивной черной дырой.

Апоцентр
Точка орбиты небесного тела, наиболее удаленная от центрального тела.

Астероид
Малое (диаметром до 1000 км) каменистое тело, обращающееся вокруг Солнца. Большинство их находится в поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера.

Афелий
Самая далекая от Солнца точка околосолнечной орбиты.

Белый карлик
Сверхплотный остывающий остаток звездного ядра, в котором иссякло ядерное горючее и который коллапсировал под действием собственного тяготения. Такая судьба ждет все звезды, кроме самых массивных.

Большой взрыв
Акт рождения Вселенной, с которого началось ее существование и расширение. Произошел 13,7 миллиарда лет назад.

Вселенная
Совокупность пространства, времени и всего, что в них содержится. См. также: Наблюдаемая Вселенная.

Галактика
Гравитационно связанная система пыли, газа и звезд. Размеры галактик лежат в промежутке от нескольких сот до сотен тысяч световых лет. Галактики классифицируются по их внешнему виду: наиболее распространены спиральные, эллиптические, линзообразные и неправильные.

Галактика со вспышкой звездообразования
Галактика (часто неправильной структуры), в которой происходит интенсивная вспышка звездообразования. Большинство таких вспышек инициируются взаимодействием — или даже столкновением — с другой галактикой.

Галактическое гало
Сферическая область вокруг спиральной галактики, заполненная слабыми звездами и шаровыми скоплениями. Радиус гало вокруг центра Млечного Пути превышает 50 000 световых лет.

Гамма-всплеск
Короткая (не более нескольких минут), но исключительно мощная вспышка гамма-излучения в космосе. Считается, что гамма-всплески происходят при вспышках сверхновых или столкновениях нейтронных звезд и/или черных дыр.

Гамма-лучи
Самая высокоэнергетическая форма электромагнитного излучения.

Гелиопауза
Граница между Солнечной системой и межзвездным пространством, на которой давление солнечного ветра уравновешивается давлением межзвездной среды. Предполагается, что она лежит на расстоянии от 14 до 20 световых часов от Земли.

Гиперновая
Необычно мощная сверхновая, взрывом которой заканчивается существование особенно массивной звезды. Такие звезды существовали на заре истории Вселенной.

Главная последовательность
Диагональная полоса, идущая из левого верхнего в правый нижний угол диаграммы Герцшпрунга — Рассела, на которой лежит около 90% всех звезд. Ее положение отражает равновесие, в котором большинство звезд проводит большую часть своего существования, светясь благодаря процессам термоядерного синтеза водорода в их ядрах. Положение той или иной звезды на главной последовательности определяется главным образом ее полной массой — более массивные звезды ярче и голубее.

Глобула Бока
Компактное темное газопылевое облако, в котором идет звездообразование.

Глубина прошлого (look-back time)
Разница во времени наблюдателя и наблюдаемого удаленного объекта, возникающая из-за конечности скорости света. Когда речь идет о соседних с нами областях космоса, она невелика, но на больших масштабах глубина прошлого достигает миллиардов лет, и мы можем наблюдать Вселенную на значительно более ранних стадиях ее эволюции.

Горизонт событий
«Поверхность невозврата» вокруг черной дыры. Что бы ни пересекло эту границу, оно навсегда будет отрезано от остальной Вселенной.

Гравитационная линза
Массивный объект, фокусирующий или искажающий ход световых лучей от источника света, расположенного за ним.

Гравитация (тяготение)
Физическая сила взаимного притяжения между всеми телами, пропорциональная их массам и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними. Общая теория относительности Эйнштейна объясняет гравитацию как искажение пространства и времени.

Двойная система
Два объекта (например, две звезды), связанные взаимным гравитационным притяжением.

Диаграмма Герцшпрунга — Рассела
Широко используемый в астрономии график, иллюстрирующий общие свойства большого числа звезд. Светимость или собственная яркость звезды (вертикальная ось) сравнивается с ее цветом, спектральным классом или температурой поверхности (горизонтальная ось). Обычно голубые, горячие звезды высокой светимости лежат в левой верхней части диаграммы, а красные низкотемпературные слабые звезды — в правой нижней.

Допплеровское смещение
Смещение частоты волны, вызванное эффектом Допплера. В повседневной жизни мы часто слышим допплеровское смещение частоты звукового сигнала у проезжающего мимо нас автомобиля с сиреной. Астрономы измеряют допплеровские смещения световых волн от астрономических объектов — этим методом определяются лучевые скорости звезд. См. также: Красное смещение.

Звезда
Массивный шар из водорода и гелия, удерживаемый от разлетания силой тяготения и большую часть своей жизни излучающий свет за счет энергии термоядерных реакций в его ядре. Звезды рождаются в туманностях и рассеянных скоплениях. На диаграмме Герцшпрунга — Рассела они большую часть своей истории проводят на главной последовательности. Затем звезды проходят фазу красного гиганта и в зависимости от их массы в конце своей эволюции образуют либо планетарную туманность, либо сверхновую. Ядро погасшей звезды может стать белым карликом, нейтронной звездой или черной дырой.

Звезда Вольфа — Райе
Очень массивная — обычно с массой более 25 солнечных — короткоживущая звезда. Мощный звездный ветер срывает и уносит внешние оболочки ее атмосферы, обнажая горячие недра.

Звезда класса O (O-звезда)
Массивная звезда бело-голубого цвета, часто с массой между 30 и 100 солнечных масс, относящаяся к самому горячему спектральному классу: ее поверхностная температура превышает 30 000 градусов Цельсия (54 000 по Фаренгейту). Иногда такие звезды называются голубыми гигантами.

Звезда типа T Тельца
Класс очень молодых вспыхивающих звезд, в недрах которых началось ядерное горение, но которые еще не достигли равновесия между направленным наружу лучистым давлением и сжимающей силой тяготения.

Звездный ветер
Испускаемый звездами поток высокоэнергетических частиц, аналогичный солнечному ветру.

Звездообразование
Процесс гравитационной конденсации звезд в молекулярных облаках.

Излучение
Испускание энергии или частиц вещества. См. также: Электромагнитное излучение.

Индекс-каталог (IC)
Состоящее из двух частей дополнение к «Новому общему каталогу» (NGC). Содержит 5386 астрономических объектов. Опубликован в 1895 и 1908 годах.

Инфракрасное излучение
Электромагнитное тепловое излучение, невидимое для человеческих глаз, но ощущаемое как тепло.

Ионизация
Процесс образования ионов, то есть атомов, электрически заряженных вследствие захвата или потери электронов. Электроны могут быть сорваны со своих орбит в атомах высокоэнергетическим излучением (например, излучением звезд). Полностью ионизованное вещество называется плазмой.

Карликовая галактика
Маленькая слабая галактика, неправильная или эллиптическая.

Каталог Мессье (M)
Список примерно 100 астрономических объектов, выглядящих как туманности. Составлен французским астрономом Шарлем Мессье между 1758 и 1781 годами.

Квазар
Очень яркое ядро далекой активной галактики. Название является сокращением от «квазизвездный радиоисточник»: этот класс объектов был впервые обнаружен по их радиоизлучению.

Коллапсар
Общее название трех продуктов гравитационного коллапса, то есть катастрофического сжатия звезды под действием собственной тяжести: белого карлика, нейтронной звезды или черной дыры.

Кольцевая галактика
Галактика, окруженная кольцом очень ярких звезд. Считается, что такие объекты образуются, когда спиральные галактики разрушаются лобовым столкновением с другой галактикой.

Комета
Глыба пыли и льда размером в несколько километров, сохранившаяся со времен образования Солнечной системы. Кометы различаются по их орбитальным периодам. Короткопериодические кометы совершают оборот вокруг Солнца менее чем за 200 лет, тогда как у долгопериодических комет это может занять миллионы лет. См. также: Пояс Койпера и Облако Оорта.

Коричневый карлик
Недоразвитая звезда массой менее 8% солнечной. Из-за малой массы термоядерное горение водородных атомов в коричневых карликах не поддерживается, но они все же слабо светятся благодаря горению изотопа водорода — дейтерия.

Космический микроволновой фон (реликтовое излучение)
Слабое микроволновое излучение всего неба. Считается, что это послесвечение Большого взрыва, охладившееся до –270 градусов Цельсия (–454 по Фаренгейту) — всего на 2,7 градуса Цельсия (4,9 по Фаренгейту) выше абсолютного нуля.

Красное смещение
Допплеровское смещение длины световых волн, вызванное увеличением расстояния между Землей и источником света. Противоположный эффект, возникающий при уменьшении расстояния, называется голубым смещением. Оба эффекта используются для измерения относительных лучевых движений звезды, но красное смещение особенно важно как показатель общего расширения Вселенной. Красное и голубое смещение можно точно измерить по спектральным линиям.

Красный гигант
Стареющая звезда, истощившая все запасы водорода в своем ядре. Термоядерное горение водорода идет в тонкой сферической оболочке вокруг ядра; позже в ядре начинается синтез более тяжелых элементов. Эти процессы ведут к росту светимости звезды, но одновременно и к резкому увеличению ее диаметра, из-за чего ее поверхность охлаждается и краснеет.

Красный карлик
Маленькая и относительно холодная звезда с диаметром и массой менее одной трети солнечных. Красные карлики составляют подавляющее большинство звезд.

Линзообразная галактика
Галактика, напоминающая по форме спиральную, с центральным ядром и диском, но без спиральных ветвей.

Луна (спутник)
Естественный спутник планеты. В Солнечной системе по меньшей мере 140 лун. Если «Луна» пишется с заглавной буквы, значит, имеется в виду именно естественный спутник Земли.

Лучевое давление
Давление, оказываемое на объект потоком фотонов.

Магнетар
Нейтронная звезда с исключительно сильным магнитным полем.

Малая планета
Малое, но все же достаточно массивное тело Солнечной системы, такое как астероид, комета или один из многочисленных ледяных карликов пояса Койпера.

Масса
Мера количества вещества, содержащегося в теле. Своим знаменитым уравнением E = mc2 Альберт Эйнштейн показал, что масса (m) эквивалентна энергии (E). В астрономии аккуратно различают массу и вес — силу, действующую на объект данной массы в гравитационном поле.

Межзвездная среда
Разреженное вещество, рассеянное в пространстве между звездами. Обычно состоит на 90% из водорода, на 9% из гелия и на 1% из пыли.

Местная группа
Группа из примерно 40 галактик, расположенных внутри области поперечником более 10 миллионов световых лет. В группе доминируют Млечный Путь и галактика в Андромеде.

Млечный Путь
Наша Галактика. Название отражает восприятие древними молочно-белой туманной полосы звезд, пересекающей ночное небо. Млечный Путь — большая спиральная галактика поперечником в 100 000 световых лет, содержащая более 200 миллиардов звезд. Наша Солнечная система лежит примерно на расстоянии в две трети радиуса Галактики от ее центра.

Молекулярное облако
Конденсация пыли и газа, гораздо более плотная, чем межзвездная среда. Протяженность таких облаков может достигать сотен световых лет. В них происходит образование звезд.

Наблюдаемая Вселенная
Часть Вселенной, которую мы способны изучать, ограниченная глубиной прошлого, — сфера радиусом в 13,7 миллиарда световых лет с центром на Земле. На краю наблюдаемой Вселенной в любом направлении мы видим прошлое, не слишком далеко отстоящее от момента Большого взрыва.

Нейтронная звезда
Исключительно плотный звездный остаток, образующийся при взрыве сверхновой, когда огромные гравитационные силы настолько сильно сжимают электроны и протоны, что образуются нейтроны. См. также: Пульсар и Магнетар.

Неправильная галактика
Любая галактика, не обладающая структурными особенностями, которые позволили бы классифицировать ее как эллиптическую, спиральную или линзообразную. Несмотря на свою бесструктурность, неправильные галактики обычно богаты газом, пылью и молодыми звездами.

Новая
Звезда, внезапно увеличившая свой блеск более чем в 100 раз. Новые появляются в двойных системах, где один из компонентов — белый карлик. Вещество звезды-компаньона переносится на поверхность белого карлика, на которой в результате начинают идти ядерные реакции взрывного характера.

Новый общий каталог (NGC)
Каталог 7800 астрономических объектов (туманностей и звездных скоплений), опубликованный в 1888 году.

Облако Оорта
Рой комет, предположительно окружающий Солнечную систему на расстоянии между половиной светового года и одним световым годом от Солнца. Его существование следует из изучения орбит долгопериодических комет, афелии которых лежат в этой области.

Область звездообразования
Сжимающееся молекулярное облако, в котором образуются новые звезды.

Объект Хербига — Аро
Тип эмиссионной туманности, образованной джетами, выбрасываемыми новорожденными звездами и сталкивающимися с межзвездной средой.

Орбита
Траектория небесного тела, обращающегося вокруг другого тела под влиянием силы тяготения. Орбиты обычно имеют форму эллипса, причем центральное тело или центр масс системы тел находятся в одном из двух его фокусов. См. также: Эллипс.

Остаток сверхновой
Разлетающиеся после взрыва сверхновой внешние оболочки атмосферы звезды, смешанные с захваченными из межзвездной среды пылью и газом.

Отражательная туманность
Пылевое облако, отражающее или рассеивающее свет близких звезд. Отражательные туманности часто имеют голубой оттенок, так как голубой цвет рассеивается пылью сильнее, чем красный.

Парсек
Единица измерения космических расстояний, соответствующая параллаксу в одну угловую секунду.
1 пк = 3,26 светового года.

Перигелий
Ближайшая к Солнцу точка околосолнечной орбиты.

Плазма
«Четвертое состояние вещества», электропроводящая смесь электронов и ионов. Многие астрономические объекты полностью или частично состоят из плазмы: звезды, эмиссионные туманности, аккреционные диски.

Планета
Объект, обращающийся вокруг звезды. Исторически сложилось так, что это название относится только к крупным телам; вопрос о том, насколько малые тела можно считать планетами, является спорным. Недавно был введен класс карликовых планет, к которому был отнесен Плутон и некоторые другие малые планеты.

Планетарная туманность
Ярко светящаяся сброшенная оболочка умирающей звезды — красного гиганта, находящегося на последней стадии своей эволюции и сделавшегося неустойчивым. Планетарные туманности — короткоживущие образования, существующие не более 100 000 лет и угасающие с остыванием центрального белого карлика. Название объясняется тем, что при наблюдении в первые телескопы эти туманности были похожи на планеты.

Постоянная Хаббла
Мера скорости расширения Вселенной. Измеряется в км/с на мегапарсек (один мегапарсек примерно равен 3,26 миллиона световых лет).

Пояс Койпера
Дискообразная область ледяных тел, простирающаяся от орбиты Нептуна до как минимум одного светового дня от Солнца. Крупнейшие представители — Плутон и Эрида.

Протозвезда
Зародыш звезды, еще не настолько плотный, чтобы в нем могли начаться реакции термоядерного синтеза, но уже светящийся в инфракрасных лучах, так как он сжимается под действием тяготения и при этом нагревается.

Протопланетный диск
Газопылевой диск вокруг звезды, из которого может сформироваться планетная система.

Пульсар
Вращающаяся нейтронная звезда, которая испускает мощное высокоэнергетическое излучение из своих магнитных полюсов.

Рассеянное (открытое) звездное скопление
Группа молодых звезд, объединенных общим происхождением из одного молекулярного облака, но слабо связанных гравитационными силами. В этих группах обычно доминируют короткоживущие яркие голубые звезды. В течение нескольких сотен миллионов лет эти скопления рассеиваются в пространстве.

Рентгеновское излучение
Высокоэнергетическое электромагнитное излучение, несущее меньше энергии, чем гамма-лучи, но больше, чем ультрафиолетовое излучение.

Сверхгигант
Звезда очень большой массы, истощившая запасы водорода в своем ядре и вошедшая в фазу развития, аналогичную красному гиганту. При этом ее светимость и размеры увеличиваются. При расширении звезды типа Солнца ее поверхность охлаждается, становясь красной или оранжевой; сверхгиганты же вырабатывают такое количество энергии, что их поверхности остаются горячими и они могут иметь почти любой цвет.

Сверхмассивная черная дыра
Черная дыра с массой в несколько миллионов или миллиардов солнечных масс. Считается, что в ядрах большинства, если не всех галактик таится сверхмассивная черная дыра.

Сверхновая
Гибель звезды в форме колоссального взрыва. Сверхновые бывают двух типов: типа I и типа II. При вспышке сверхновой типа I происходит коллапс белого карлика в нейтронную звезду. Сверхновая типа II — это взрыв звезды с массой в восемь или более солнечных. В зависимости от массы звезды после взрыва в его центре остается нейтронная звезда или черная дыра.

Сверхскопление галактик
Гравитационно связанная группа из десятка или более соседних скоплений галактик.

Свет
Электромагнитное излучение, регистрируемое человеческим глазом. Термин «свет» часто нестрого употребляется и для обозначения других форм электромагнитного излучения, особенно ультрафиолетового и инфракрасного.

Светимость
Мера интенсивности излучения звезды или другого небесного объекта. Часто используется для сравнения истинной яркости звезд.

Световая минута
Расстояние, которое свет проходит в вакууме за минуту: 17 900 000 км.

Световая секунда
Расстояние, которое свет проходит в вакууме за секунду: 299 791 км.

Световой год
Расстояние, которое свет проходит в вакууме за год: 9,5 триллиона километров.

Световой час
Расстояние, которое свет проходит в вакууме за час:
1 миллиард километров .

Скопление галактик
Связанный силами гравитации коллектив галактик числом от десятков до тысяч.

Солнечная масса
Мера массы звезд и более массивных объектов. Равна массе нашего Солнца, или 1,98 триллиона триллионов тонн.

Солнечный ветер
Поток плазмы, истекающий из Солнца со скоростью до 3,2 миллиона км/ч (2 миллиона миль в час) и проносящийся по всей Солнечной системе до самой гелиопаузы.

Солнце
Звезда в центре нашей Солнечной системы.

Спектр
Свет от астрономического объекта, разложенный в длинную полоску по длине волны и цвету. Традиционно спектр формировался при помощи стеклянной призмы, которая расщепляла свет на разные цвета. Сегодня астрономы используют для этих целей дифракционные решетки — с огромной точностью изготовленные устройства, которые более эффективно разлагают свет по длинам волн и меньше поглощают его.

Спектральная линия
Заметная вертикальная линия в спектре, соответствующая определенной длине волны и порожденная определенными атомами или молекулами. Спектральные линии могут быть яркими (эмиссионными), если их излучает газ в эмиссионной туманности, или темными линиями поглощения, образующимися, когда газ в атмосфере звезды поглощает волны определенной длины из проходящего сквозь него непрерывного излучения. Различные атомы и молекулы образуют специфические картины линий. Если эти линии смещены в красную или голубую сторону, это говорит о наличии допплеровского сдвига.

Спектральный класс
Система классификации звезд по их цвету, поверхностной температуре и интенсивности определенных линий в их спектре. Последовательность классов, от голубых до красных звезд, такова: O, B, A, F, G, K и M; каждый класс подразделяется на девять подклассов, от 0 до 9. Солнце, например, является желтой звездой класса G2.

Спектроскопия
Регистрация и исследование света, разложенного в спектр. Часто заключается в измерении положений и отождествлении спектральных линий, каждая из которых относится к определенному элементу или молекуле — например, в атмосфере звезды.

Спиральная галактика
Галактика со сферическим центральным балджем из более старых звезд, окруженным уплощенным диском спиральной структуры из молодых и горячих звезд. Млечный Путь — спиральная галактика.

Спутник
Космическое тело на орбите вокруг другого космического тела большей массы.

Темная материя
Материя, которая не проявляет себя испусканием или поглощением излучения, но влияет своим тяготением на обычное вещество. На долю темной материи приходится большая часть массы Вселенной.

Темная туманность
Плотное газопылевое облако, экранирующее свет от объектов, расположенных за ним. Такая туманность называется еще абсорбционной.

Темная энергия
Гипотетическая форма энергии, заполняющая все пространство и создающая антигравитационные силы, которые вызывают наблюдаемое ускорение расширения Вселенной. Не следует смешивать ее с темной материей.

Термоядерный синтез (ядерное горение)
Процесс, лежащий в основе энерговыделения в звездах. В недрах звезд два или больше атомных ядра под действием давления объединяются, образуя более тяжелое ядро и выделяя при этом энергию. Большинство звезд превращают водород в гелий; в более массивных и горячих звездах может идти синтез более тяжелых элементов.

Туманность
Космическое облако пыли и газа. См.: Темная туманность, Эмиссионная туманность, Молекулярное облако, Планетарная туманность и Отражательная туманность.

Ультрафиолетовое излучение
Электромагнитное излучение с длиной волны короче, чем у фиолетового света.

Фотоиспарение
Один из процессов, определяющих форму молекулярных облаков в областях звездообразования. Когда ультрафиолетовое излучение молодых звезд передаст облаку достаточное количество энергии, облако преодолевает поддерживающие его целостность силы тяготения и рассеивается в межзвездном пространстве.

Фотон
Частица или квант света; наименьшая возможная порция электромагнитной энергии.

Цефеиды
Тип переменных звезд, блеск которых циклически изменяется, причем период этих пульсаций однозначно связан с их средней светимостью. Измеряя период пульсаций цефеид в галактиках, астрономы могут оценить их истинные светимости и, сравнивая их с видимым блеском, вычислить расстояния до них.

Черная дыра
Концентрация массы с настолько сильным гравитационным полем, что, находясь ближе определенного расстояния от ее центра, ничто — даже свет — не может ее покинуть. В конце своей эволюции самые массивные звезды под действием собственного веса коллапсируют и образуют черные дыры. Сверхмассивные черные дыры могут также формироваться в центрах галактик из коллапсирующих облаков газа или путем слияния нескольких черных дыр.

Черный карлик
Остывший остаток звезды типа Солнца, превратившейся в ходе своей эволюции в белый карлик и затем остывший до такой температуры, что его тепловое излучение прекратилось. Черные карлики — теоретические объекты; время, необходимое белому карлику для полного остывания, больше нынешнего возраста Вселенной.

Шаровое скопление
Состоящее из сотен тысяч звезд скопление правильной шаровой формы, плотность в котором в тысячу раз превышает ту, что наблюдается в окрестностях Солнца. Прежде считалось, что шаровые скопления относятся к первым поколениям звезд Вселенной, но недавние наблюдения галактик со вспышками звездообразования выявили там шаровые скопления в процессе формирования.

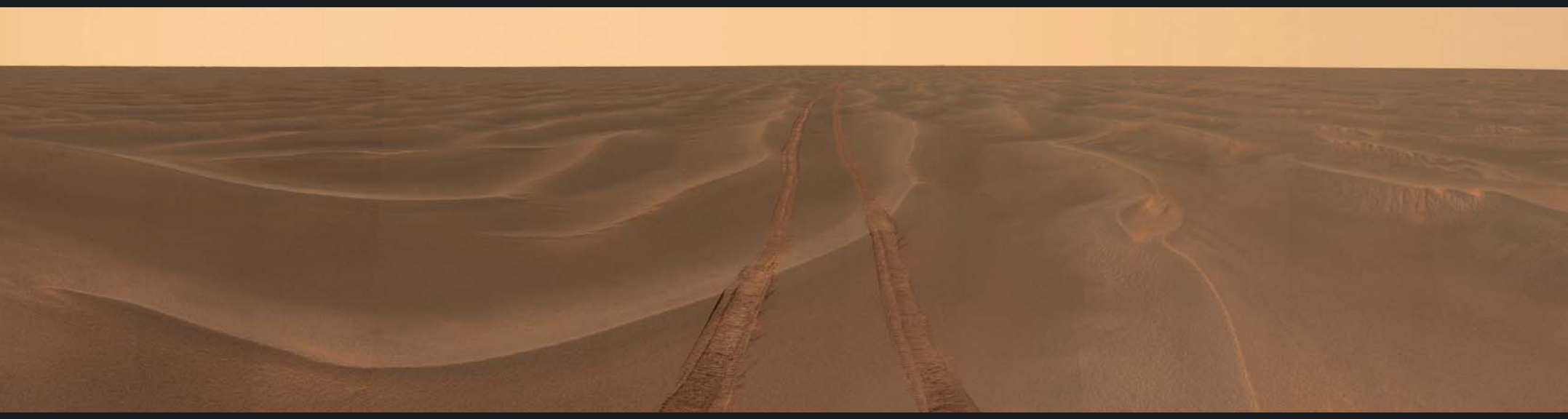
Электромагнитное излучение
Форма энергии, которая распространяется во Вселенной в виде комбинации электрических и магнитных волн. Самый известный вид такого излучения — видимый свет, каждый цвет которого соответствуют определенной длине волны и энергии. Полный электромагнитный спектр простирается от крайне высокоэнергетических гамма-лучей до низкоэнергетических радиоволн, включая также рентгеновское, ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное и микроволновое излучение. Электромагнитное излучение можно также описать как поток частиц — фотонов.

Эллипс
Типичная форма орбиты небесного тела, напоминающая вытянутую окружность. Кроме центра у эллипса есть два фокуса, лежащих на его большой оси — по одному с каждой стороны от центра. Окружность — частный случай эллипса.

Эллиптическая галактика
Галактика в форме сферы или мяча для американского футбола, без какой-либо внутренней структуры.

Эмиссионная туманность
Самосветящееся облако газа. Причиной его свечения обычно является поглощение ультрафиолетового излучения близких звезд с последующим его переизлучением в видимом диапазоне. Планетарные туманности, остатки сверхновых и многие облака звездообразования являются эмиссионными туманностями.

Эффект Допплера
Физический эффект, который заключается в том, что длина и частота волны, излучаемой объектом и принимаемой наблюдателем, зависит от относительного движения излучающего тела и приемника излучения. Когда они движутся навстречу друг другу, длина принимаемой волны короче, а частота выше; когда друг от друга, наоборот, длина волны больше, а частота ниже.



Cosmos: A Field Guide by Giles Sparrow
First published in Great Britain in 2006
Copyright © Quercus Publishing Ltd 2006, 2007, 2010, 2017
Foreword copyright © John Harrison & Daughter, 2007

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permissionin writing from the publisher.

Спэрроу, Джайлс.

С71 Космос : большое путешествие по Вселенной / Джайлс Спэрроу ; [перевод с английского К. М. Масленникова]. — Москва : Эксмо, 2021. — 224 с. — (Подарочные издания. Миссия «Космос»).

Перед вами одна из самых лучших и известных фотокниг о космосе. Планеты, луны, звезды, туманности, белые карлики, черные дыры и другие небесные объекты представлены в этой потрясающей коллекции захватывающих фотографий Вселенной. Вы совершите путешествие по Солнечной системе, отправитесь в межзвездное пространство и сердце нашей галактики, пройдете сквозь облака пыли и газа, увидите, как рождаются и умирают звезды.

450 потрясающих космических изображений нашей Вселенной в знаменитой книге Джайлса Спэрроу.

УДК 523
ББК 22.6

© Масленников К.М., перевод на русский язык, 2020
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2021

ISBN 978-5-04-115537-7

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научно-популярное издание

ПОДАРОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ. МИССИЯ «КОСМОС»

Спэрроу Джайлс

КОСМОС
БОЛЬШОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ ПО ВСЕЛЕННОЙ

Главный редактор *Р. Фасхутдинов*
Руководитель направления *В. Обручев*
Ответственный редактор *Ю. Лаврова*
Научный редактор *К. Масленников*
Младший редактор *Ю. Клюшина*
Художественный редактор *А. Гусев*
Корректоры *Н. Витько* и *Р. Болдинова*

Страна происхождения: Российская Федерация
Шығарылған елі: Ресей Федерациясы

ООО «Издательство «Эксмо»
123308, Россия, город Москва, улица Зорге, дом 1, строение 1, этаж 20, каб. 2013.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru
Өндіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы,
123308, Ресей, қала Мәскеу, Зорге көшесі, 1 үй, 1 ғимарат, 20 қабат, офис 2013 ж.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.
Тауар белгісі: «Эксмо»
Интернет-магазин : www.book24.ru

Интернет-магазин : www.book24.kz
Интернет-дукен : www.book24.kz
Импортёр в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».
Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию,
в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»
Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша арыз-талаптарды қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС,
Алматы қ., Домбровский көш., 3«а», литер Б, офис 1.
Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.
Сертификация туралы ақпарат сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо» www.eksmo.ru/certification
Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылмаған

Дата изготовления / Подписано в печать 28.12.2020. Формат 60x108 1/6.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 34,12.
Тираж экз. Заказ

ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!

eksmo.ru

МЫ В СОЦСЕТЯХ:
eksmolive
eksmo
eksmolive
eksmo.ru
eksmo_live
eksmo_live

ISBN 978-5-04-115537-7

12+

В электронном виде книги издательства вы можете купить на www.litres.ru
ЛитРес: один клик до книг

book 24.ru Официальный интернет-магазин издательской группы "ЭКСМО-АСТ"

ЛУЧШИЕ КНИГИ О БИЗНЕСЕ С ЛОГОТИПОМ ВАШЕЙ КОМПАНИИ? ЛЕГКО!

Удивить своих клиентов, бизнес-партнеров, сделать памятный подарок сотрудникам и рассказать о своей компании читателям бизнес-литературы? Приглашаем стать партнерами выпуска актуальных и популярных книг. О вашей компании узнает наиболее активная аудитория.

ПАРТНЕРСКИЕ ОПЦИИ:

- Специальный тираж уже существующих книг с логотипом вашей компании.
- Размещение логотипа на супер-обложке для малых тиражей (от 30 штук).
- Поддержка выхода новинки, которая ранее не была доступна читателям (50 книг в подарок).

ПАРТНЕРСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ:

- Рекламная полоса о вашей компании внутри книги.
- Вступительное слово в книге от первых лиц компании-партнера.
- Обращение первых лиц на суперобложке.
- Отзыв на обороте обложки вложение информационных материалов о вашей компании (закладки, листовки, мини-буклеты).

У вас есть возможность обсудить свои пожелания с менеджерами корпоративных продаж. Как?

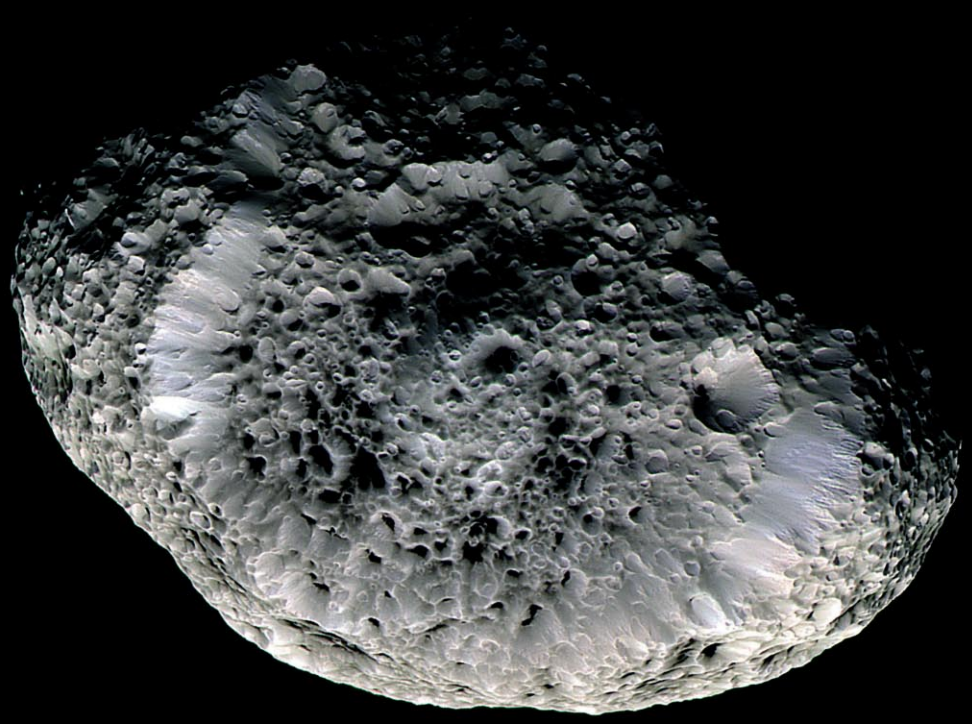
Звоните:
+7 495 411 68 59, доб. 2261

Заходите на сайт:
eksmo.ru/b2b

КОСМОС

Посмотрите в ночное небо, и вы увидите необыкновенный свод звезд. И это только малая часть Вселенной! Планеты, луны, звезды, туманности, белые карлики, черные дыры и другие невероятные тайны космоса представлены в этой удивительной книге. Прежде чем вы отправитесь в путешествие по Солнечной системе, вы побываете в межзвездном пространстве в самом сердце нашей Галактики. В процессе путешествия вы пройдете через темные облака пыли и газа, пылающие недавно расплавленными звездами, увидите, как умирающие звезды расцветают и исчезают; понаблюдаете за скрытой жизнью галактик, за тем, как они собираются и группируются; приблизитесь к краю пространства и заре времени, узнаете, как родилась Вселенная.

ЗЕМЛЯ • ЛУНА • ВЕНЕРА • МЕРКУРИЙ • СОЛНЦЕ • МАРС • АСТЕРОИДЫ
ЮПИТЕР • САТУРН • УРАН • НЕПТУН • ДАЛЬНИЕ ОКРАИНЫ
ЖИЗНЬ ЗВЕЗД • ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК • ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ
БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ • КОНЕЦ?



ВЕЛИКОЛЕПНЫЕ СНИМКИ ВСЕЛЕННОЙ
ИЗ КОЛЛЕКЦИИ **NASA**

ISBN 978-5-04-115537-7

БОМБОРА
ИЗДАТЕЛЬСТВО

БОМБОРА – лидер на рынке полезных и вдохновляющих книг.
Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.

bomborabooks bombora.ru