

New Science

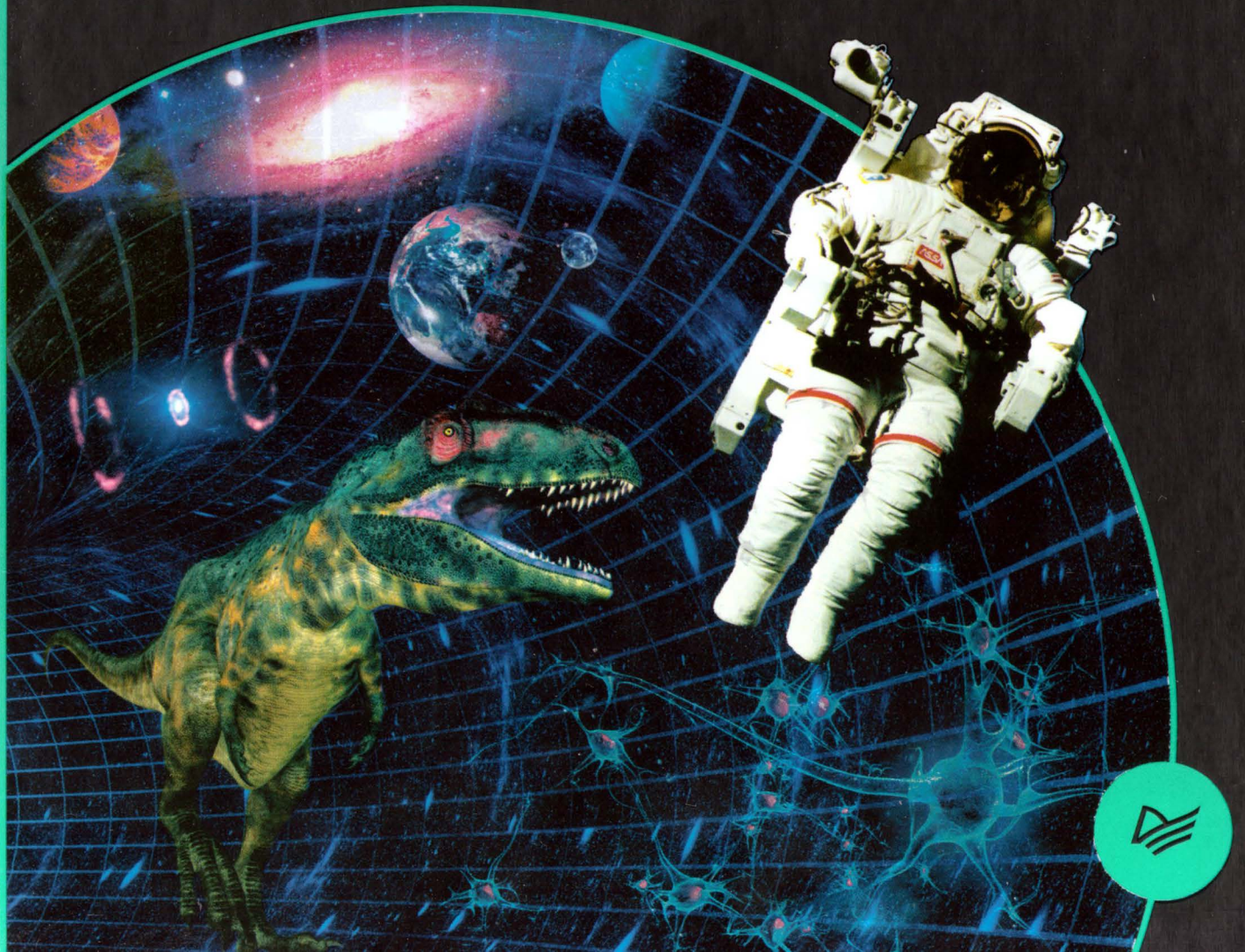
Нил Деграсс Тайсон, Дональд Голдсмит

.....

ИСТОРИЯ ВСЕГО

.....

14 миллиардов лет
космической эволюции





W. W. NORTON & COMPANY
NEW YORK • LONDON

Neil DeGrasse Tyson,
Donald Goldsmith



ORIGINS



Fourteen Billion Years of
Cosmic Evolution



Москва · Санкт-Петербург · Нижний Новгород · Воронеж
Киев · Екатеринбург · Самара · Минск

2016

Нил Деграсс Тайсон,
Дональд Голдсмит

.....

ИСТОРИЯ ВСЕГО

.....

14 миллиардов лет
космической эволюции

ББК 22.68
УДК 524.8
Т14

Нил Деграсс Тайсон, Дональд Голдсмит

Т14 История всего: 14 миллиардов лет космической эволюции. — СПб.: Питер, 2016. — 352 с.: ил. — (Серия «New Science»).

ISBN 978-5-496-01745-9

Наше происхождение началось не на Земле, а, на самом деле, в космосе. Основываясь на научных открытиях и исследованиях, где пересекаются несколько наук — геология, биология, астрофизика и космология, — вы узнаете, как сформировались наши знания о космосе.

В этой книге Нил Деграсс Тайсон и Дональд Голдсмит отправят вас в космический тур, где вы узнаете о рождении галактики, исследованиях Марса, об открытии воды на одной из лун Юпитера и многое другое.

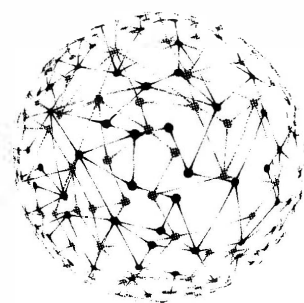
12+ (В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.)

ББК 22.68
УДК 524.8

Права на издание получены по соглашению с W-W-NORTON&COMPANY. Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-0393059922 англ.
ISBN 978-5-496-01745-9

Copyright © 2004 by Neil deGrasse Tyson and Donald Goldsmith
© Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер», 2016
© Издание на русском языке, оформление ООО Издательство «Питер», 2016
© Серия «New Science», 2016

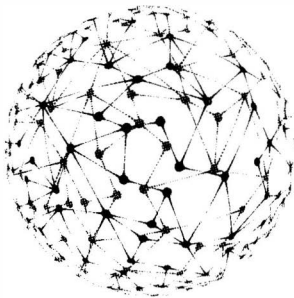


Оглавление

Благодарности	8
Предисловие. Рассуждения о происхождении науки и науке о происхождении	10
Увертюра. Величайшая история всех времен	17
Часть I. Происхождение Вселенной.....	23
Глава 1. В начале всех начал	24
Глава 2. О важности антивещества	39
Глава 3. Да будет свет!.....	47
Глава 4. Да будет тьма!	60
Глава 5. Да будет больше тьмы!.....	76
Глава 6. Одна Вселенная или множество?	99
Часть II. Происхождение галактик и структура Вселенной	111
Глава 7. Как были обнаружены галактики.....	112
Глава 8. Происхождение структуры	125
Часть III. Происхождение звезд.....	151
Глава 9. Пыль к пыли.....	152
Глава 10. Это элементарно	174

Часть IV. Происхождение планет	189
Глава 11. В эпоху юности миров	190
Глава 12. Межпланетные истории	203
Глава 13. Сложение Вселенной из миров. Планеты за пределами Солнечной системы	215
Часть V. Возникновение жизни	235
Глава 14. Жизнь во Вселенной	236
Глава 15. Возникновение жизни на Земле	245
Глава 16. Поиски жизни в Солнечной системе	265
Глава 17. Поиски жизни в галактике Млечный Путь	293
Эпилог. Поиск самих себя во Вселенной	313
Глоссарий	318

*Посвящается каждому, кто поднимает
глаза к небу, и всем, кто еще не знает, что
по-другому просто нельзя.*



Благодарности

Мы в неоплатном долгу перед Робертом Лаптоном из Принстонского университета за то, что он читал и перечитывал рукопись, добиваясь того, чтобы в ней мы говорили то, что имеем в виду, и имели в виду то, что говорим. Благодаря его исключительной эрудиции в астрофизике и английском языке эта книга в результате получилась на несколько уровней выше, чем мы изначально смели надеяться.

Мы также благодарны Шону Кэрроллу из Чикагского института ядерных исследований им. Ферми, Тобиасу Оуэну из Гавайского университета, Стивену Сотеру из Американского музея естественной истории, Лэрри Сквайру из Калифорнийского университета, Майклу Штраусу из Принстонского университета и продюсеру сериала NOVA* Тому Левенсону за ряд ключевых предложений, которые помогли дополнить и улучшить книгу.

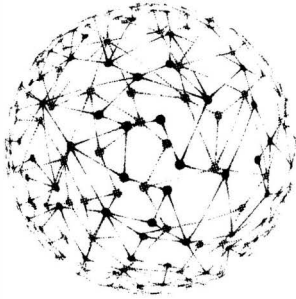
Мы хотим поблагодарить Бетси Лернер из литературного агентства Gernert за ее веру в наш проект с самого начала: она видела в рукописи не только книгу, но и воплощение глубокого интереса к Вселенной, который заслуживал того, чтобы поделиться им как можно с большим количеством людей.

* NOVA («Новая звезда») — американский научно-популярный документальный телесериал, который выходит на телеканале PBS в США, а также более чем в 100 странах мира. Первая серия вышла на экраны 3 марта 1974 года; в 2015 году идет уже 42-й сезон сериала.

Внушительные отрывки из второй части и разрозненные сегменты первой и третьей частей книги впервые были опубликованы в журнале «Естественная история» в виде эссе под авторством Нила Деграсса Тайсона. За это он выражает отдельную благодарность главному редактору журнала Питеру Брауну и особенно старшему редактору Эвису Лэнгу, который и сегодня героически продолжает исполнять роль высокообразованного поводыря Нила Деграсса Тайсона в мире литературы и писательства.

Авторы спешат отметить поддержку фонда Альфреда Слоуна во время написания и подготовки книги к печати. Их неизменная готовность поддерживать подобные проекты приводит нас в восхищение.

*Нил Деграсс Тайсон, Нью-Йорк,
Дональд Гольдсмит, Беркли, Калифорния,
июнь 2004*



Предисловие

РАССУЖДЕНИЯ О ПРОИСХОЖДЕНИИ НАУКИ И НАУКЕ О ПРОИСХОЖДЕНИИ

В последнее время ответы на вопросы о наших истоках во Вселенной приходят не только из области астрофизики. Трудясь под эгидой целого объединения молодых областей науки, таких как астрохимия, астробиология и физика астрочастиц, астрофизики обнаружили, что взаимодействие с множеством разных научных дисциплин при поиске ответа на вопрос: «Откуда мы здесь?» — дает исследователям доступ к информации немислимой ранее ширины и глубины, помогая анализировать устройство нашей Вселенной.

В книге «История всего: 14 миллиардов лет эволюции» мы знакомим читателя с новой единой системой научных знаний, которая позволяет исследовать происхождение не только Вселенной, но и отдельных крупнейших ее структур, образованных веществом: звезд, что сияют в космосе, планет, предлагающих наиболее пригодные условия для зарождения жизни, и самой жизни на одной или нескольких таких планетах.

Люди проявляют интерес к вопросам происхождения мира по многим причинам как логического, так и эмоционального характера.

Мы едва ли способны объять суть чего бы то ни было, пока не узнаем, откуда оно появилось. Из всех историй, что мы когда-либо слышали, именно те, что говорят о первоисточнике, начале начал, находят в нас наибольший отклик.

Врожденная эгоистичность человека, обусловленная эволюцией его вида и приобретенным на Земле жизненным опытом, естественным образом заставляет нас сосредотачиваться на локальных событиях и явлениях для того, чтобы рассказать бóльшую часть историй о происхождении. Однако с каждой новой ступенью знаний о строении Вселенной мы лишь убеждаемся, что живем на крупице космической пыли, которая вращается вокруг самой заурядной звезды где-то на отшибе самой обычной галактики — одной из сотен миллиардов галактик во Вселенной. Сам факт такой космической незначительности запускает в человеческой психике потрясающий защитный механизм. Многие из нас, сами того не подозревая, напоминают человека из мультфильма, глядящего на звездные небеса и говорящего своему приятелю: «Когда я вижу все эти звезды, я поражаюсь тому, сколь они незначительны».

На протяжении всей истории человечества различные культуры предлагали мифы о создании мира, отражавшие наше происхождение как результат действия неких высших сил, определяющих судьбу. Такие истории помогали нам бороться с чувством собственной незначительности.

Большинство историй о мироздании, как правило, начинается с общей картины, но они с поразительной скоростью добираются до самой поверхности Земли, молнией проносясь сквозь рождение Вселенной, всего ее содержимого, жизни на Земле как таковой, и превращаются в длинные объяснения бесчисленных подробностей истории человечества и его социальных конфликтов, словно мы с вами и есть центр мироздания.

Почти все разрозненные ответы на вопрос о нашем происхождении так или иначе опираются на основополагающую предпосылку, что космос ведет себя в соответствии с рядом общих правил, которые, по крайней мере гипотетически, раскрываются тогда, когда мы начинаем внимательно изучать окружающий нас мир. Философы Древней Греции вознесли эту предпосылку до невероятных высот. Они настаивали, что

человек обладает способностью воспринимать и понимать принципы устройства природы, а также базовую реальность, скрытую под зримыми ее проявлениями. Эта реальность и есть те самые фундаментальные истины, управляющие всем на свете. Они также весьма метко утверждали, что докопаться до этих истин будет непросто. Двадцать три столетия назад в своем знаменитом высказывании о невежестве человека греческий философ Платон сравнил тех, кто стремится к знанию, с узниками в пещере, прикованными к полу: они не видят того, что у них за спиной, но пытаются постигнуть достоверную суть этих предметов по очертаниям теней на противоположной стене пещеры.

Этим сравнением Платон не просто подытожил попытки человека понять Вселенную, но и подчеркнул нашу естественную склонность к тому, чтобы приписывать таинственным и едва осознаваемым сущностям власть над ней. И это на основании знаний, которые в лучшем случае являются лишь верхушкой айсберга. От Платона до Будды, от Моисея до Мухаммеда, от гипотетического космического творца до современных фильмов о «матрице» — в каждой культуре люди рано или поздно приходят к выводу, что Вселенной управляют высшие силы, которых не смущает та пропасть, что лежит между реальностью и ее поверхностными внешними проявлениями.

Полтысячелетия назад постепенно сформировался и укрепился новый подход к пониманию природы. Сегодня мы называем этот подход наукой. Он появился в результате взаимодействия новых технологий и тех открытий, которые стали благодаря им возможны. Распространение печатных книг в Европе и одновременное улучшение дорожно-го и водного сообщения позволили людям выходить на связь друг с другом быстрее и эффективнее. Они могли в краткие сроки узнавать, что думают и говорят другие, и отвечать им гораздо быстрее, чем раньше. В XVI и XVII веках такая ускоренная двухсторонняя схема обсуждения постепенно превратилась в новый формат получения знаний, основанный на принципе, что самый эффективный способ познания космоса — это тщательные наблюдения за ним в сочетании с попытками описать общие базовые принципы, которые объясняли бы множества таких наблюдений.

Кроме того, наука зависит от организованного скептицизма — постоянного и методического подвергания сомнению всех и вся. Немногие из нас сомневаются в своих собственных выводах, так что на практике наука в полной мере применяет свой базовый скептицизм, воздавая по заслугам тем, кто сомневается в чужих выводах. Возможно, такой подход следует считать неестественным, и не столько потому, что он поощряет недоверие к мыслям других людей, сколько потому, что наука поощряет и награждает тех, кто смог продемонстрировать, что другой ученый был попросту не прав. В глазах других ученых тот, кто смог поправить ошибку коллеги или назвать достойную причину сомневаться в его или ее заключениях, совершает благородное дело, словно Учитель дзен-буддизма,огревающий по ушам уклоняющегося от медитации ученика. Правда, надо признать, ученые поправляют друг друга как равный равного, а не как учитель ученика.

Воздавая почести ученому, который заметил у другого ошибку — а такая задача в разы проще, чем заметить свои собственные промахи, — ученые создали внутри своего обособленного мирка врожденную систему самокоррекции. Они совместно учредили самый эффективный и действенный инструмент для анализа природы из доступных нам: ученые ищут способы развенчать предложенные другими теории, но исключительно потому, что искренне стремятся внести вклад в развитие человеческого знания. Таким образом, наука — это коллективная погоня за знанием, но уж точно не кружок взаимного восхищения, впрочем, последнее ей совершенно ни к чему.

Как и все попытки человека свершить прогресс, научный подход работает лучше в теории, чем на практике. Не все ученые подвергают друг друга сомнению так старательно, как следовало бы. Необходимость произвести впечатление на отдельных ученых, которые занимают влиятельные должности и иногда оказываются неосознанной жертвой внешних факторов, нередко вмешивается в самокоррекционные процессы науки. Тем не менее в долгосрочной перспективе ошибки не выживают — рано или поздно их обнаружат другие ученые, которые поднимутся по карьерной лестнице, объявив о своем открытии остальным. Те же заключения, которые выдерживают многократные нападения

других ученых, в конце концов приобретают статус научных законов; их принимают в качестве состоятельных моделей описания реальности, даже при том, что ученые понимают — каждый из этих законов может в один день оказаться лишь частью какого-то большего и более фундаментального порядка вещей.

Однако нельзя сказать, что ученые тратят все свое время на то, чтобы доказать: кто-то другой был не прав. Большинство научных изысканий подразумевает тестирование не до конца утвержденных гипотез с использованием слегка улучшенных результатов наблюдений. Время от времени рождается принципиально новое видение какой-то важной теории, или (чаще всего в эпоху технологического прогресса) целый свод новых наблюдений открывает глаза на новый возможный свод гипотез, которые способны объяснить эти новые наблюдения. Величайшие моменты научной истории всегда связаны с появлением нового объяснения, которое, возможно, вкуче с новыми результатами наблюдений провоцирует резкий скачок в нашем понимании устройства окружающего мира. Научный прогресс зависит от отдельных личностей из обоих лагерей: тех, кто собирает более качественные данные и осторожно делает новые выводы на их основании, и тех, кто рискует многим (но и много выигрывает в случае успеха), бросая вызов общепризнанным умозаключениям.

Скептическое ядро науки делает ее неважным конкурентом человеческим сердцам и умам, которые шарахаются от ее бесконечных противоречий и предпочитают безопасную надежность вроде как «непреложных» истин. Если бы научный подход предлагал лишь очередную трактовку устройства Вселенной, он никогда бы не добился чего-либо значительного. Выдающийся успех науки заключается как раз в том, что она работает. Если вы полетите на самолете, построенном по всем канонам науки, то есть на основании принципов, которые выдержали бесчисленное количество попыток доказать их несостоятельность, — вы с вероятностью в разы большей долетите до пункта назначения, чем если бы вам довелось путешествовать в самолете, собранном по правилам ведической астрологии.

Относительно новая история показывает, что люди, столкнувшись с тем, как успешно наука объясняет естественные явления, демонстрируют один из четырех типов реакции на это. Во-первых, узкое меньшинство принимает научный подход с распростертыми объятиями, видя в нем главную надежду на то, чтобы когда-нибудь понять природу во всем ее многообразии; они не ищут для себя дополнительных вариантов пояснения устройства Вселенной. Во-вторых, гораздо большее количество людей игнорируют науку, считая ее неинтересной, непроницаемой или противоречащей человеческому духовному началу (те, кто жадно смотрят телевизор, ни на секунду не задумываясь, откуда и как в нем появляются изображение и звук, напоминают нам о тесной этимологической связи слов «магия» и «машина»). В-третьих, еще одно меньшинство болезненно реагирует на то, как наука опровергает дорогие их сердцу верования, и потому активно стремится найти способы в свою очередь опровергнуть те научные результаты, что раздражают или даже гnevят их. Правда, делают они это вне скептической системы координат науки. Это можно легко установить, просто задав любому из них вопрос: «Какие вещественные доказательства смогут убедить вас, что вы не правы?» Эти антиученые все еще пребывают в состоянии шока, столь искусно описанного Джоном Донном в его поэме «Анатомия мира: первая годовщина» в 1611 году, когда начали появляться первые плоды современной науки:

Все новые философы в сомненье.

Эфир отвергли — нет воспламененья,

Исчезло Солнце, и Земля пропала,

А как найти их — знания не стало.

Все признают, что мир наш на исходе,

Коль ищут меж планет в небесном своде

Познаний новых... Но едва свершится

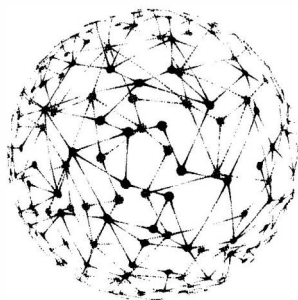
Открытие — все на атомы крушится.

*Все — из частиц, а целого не стало... **

* Пер. Д. Шедровицкого.

Наконец, четвертая — довольно большая — доля общественности принимает научный подход в вопросах изучения природы, при этом сохраняя свою веру в сверхъестественных существ, которые управляют Вселенной за счет механизмов за гранью нашего понимания. Барух Спиноза, философ, который навел самый прочный мост между естественным и сверхъестественным, отрицал какие-либо различия между природой и Богом и настаивал, что космос есть одновременно и природа, и Бог. Приверженцы более традиционных религий, которые, как правило, утверждают, что это различие есть и оно неоспоримо, часто разрешают для себя эту дилемму, всего лишь разделяя пространства, в которых действуют естественное и сверхъестественное.

К какому бы лагерю вы себя ни относили, нет никакого сомнения в том, что мы живем в благоприятное время для новых открытий, связанных с устройством Вселенной. Так давайте же начнем свое путешествие к истокам человечества в необъятном космосе, побудем немного детективами, которые устанавливают сам факт преступления, исходя из найденных улик. Мы приглашаем вас присоединиться к поискам космических улик и способов их трактовки, чтобы вместе попытаться узнать, как же так вышло, что небольшая часть этой Вселенной превратилась ... в нас с вами.



Увертюра

ВЕЛИЧАЙШАЯ ИСТОРИЯ ВСЕХ ВРЕМЕН

Первоначала вещей <...>
Всякие виды пройдя сочетаний и разных движений,
В расположенья они наконец попадают, из коих
Вся совокупность вещей получилась в теперешнем виде
И, приведенная раз в состояние нужных движений,
Много бесчисленных лет сохраняется так...*

Лукреций

Примерно 14 миллиардов лет тому назад, в самом начале времен, все пространство, вещество и энергия известной нам Вселенной могли уместиться на булавочной головке. Вселенная тогда была так горяча, что основные силы природы (мы зовем их взаимодействиями), все вместе описывающие ее устройство, представляли собой одну единую силу. Когда температура Вселенной составляла невообразимые 10^{30} градусов, а ее возраст насчитывал всего лишь 10^{-43} секунд — а до этого момента все наши теории вещества и пространства вообще не имеют никакого смысла, — начали спонтанно появляться, исчезать и вновь появляться

* *Тит Лукреций Кар. О природе вещей / Пер. с лат. Ф. Петровского.*

черные дыры, рождаясь из энергии единого силового поля. В таких экстремально суровых условиях, по нашим ориентировочным прикидкам, сама структура пространства и времени была жестоко скручена, из-за чего приобрела пористый пенообразный вид. В данный временной промежуток явления, описанные общей теорией относительности Эйнштейна (современная теория гравитации), и явления, объясненные квантовой механикой (описывает вещество в его мельчайших проявлениях), были неотличимы друг от друга.

Вселенная расширялась и остывала, и от единого силового поля отделилась сила тяготения — гравитация. Вскоре после этого сильное ядерное взаимодействие и электрослабое взаимодействие отделились друг от друга: этому сопутствовало выделение огромного объема энергии, которое спровоцировало стремительное увеличение Вселенной в размерах — в 10^{50} раз. Это стремительное расширение, известное в науке как эпоха инфляции, растянуло и разгладило вещество и энергию до такой степени, что разница между их плотностью в двух разных частях Вселенной не превышала одной стотысячной доли.

Далее мы уже можем вооружиться физикой, «обкатанной» и утвержденной в лабораторных условиях. Вселенная была все еще достаточно горячей для того, чтобы фотоны в ее составе могли спонтанно конвертировать свою энергию в пары частиц из вещества и антивещества, которые тут же незамедлительно аннигилировали, возвращая энергию обратно фотонам. По неизвестным нам причинам равновесие между количеством вещества и антивещества во Вселенной было нарушено при предыдущем расщеплении сил, из-за чего вещества в ней стало чуть больше, чем антивещества. Данное неравновесие — важнейший фактор в дальнейшей эволюции Вселенной: на каждый миллиард частиц антивещества пришелся один миллиард плюс еще одна частица вещества.

Вселенная продолжала остывать, и электрослабое взаимодействие разделилось на электромагнитное и слабое ядерное. Таким образом

были сформированы четыре разных и знакомых нам сегодня фундаментальных взаимодействия. Так как общая энергия фотонного бульона продолжала уменьшаться, энергии отдельных фотонов перестало хватать для спонтанного формирования пар частиц вещества и антивещества. В то же время все оставшиеся пары вещества и антивещества одна за другой аннигилировали, оставляя за собой Вселенную, в которой существовала одна частица обычного вещества на каждый миллиард фотонов и никакого антивещества. Если бы вышеописанного неравновесия не приключилось, бесконечно расширяющаяся Вселенная бесконечно состояла бы из света: в ней не было бы больше ничего, в том числе ни одного астрофизика. За промежуток времени продолжительностью примерно три минуты вещество превратилось в протоны и нейтроны, многие из которых соединились в не что иное, как простейшие атомные ядра. В это время свободно перемещающиеся по Вселенной электроны тщательно разнесли фотоны во всех направлениях, создавая в итоге тусклый и непрозрачный бульон из вещества и энергии.

Когда температура Вселенной упала до нескольких тысяч градусов по шкале Кельвина (это немного горячее доменной печи), свободные электроны уже перемещались достаточно медленно для того, чтобы прямо из бульона их понемногу могли выхватить аналогично перемещающиеся ядра: были созданы атомы водорода, гелия и лития — три самых легких химических элемента. Вселенная на данный момент впервые обрела прозрачность и начала пропускать свет. Эти беспечные свободные фотоны мы можем наблюдать сегодня в качестве так называемого космического микроволнового фонового излучения (или реликтового излучения). На протяжении первого миллиарда лет своей истории Вселенная продолжала расширяться и охлаждаться, а вещество под влиянием гравитации понемногу собиралось в огромные сосредоточения, которые мы сегодня называем галактиками. В рамках так или иначе обозримого космоса были сформированы сотни миллиардов таких галактик, каждая из них состоит из сотен миллиардов звезд, в ядрах

которых постоянно протекает термоядерный синтез. Ядра звезд, более чем в десять раз превосходящих по своей массе Солнце, достигли температуры и степени давления, достаточных для того, чтобы произвести «на свет» десятки химических элементов, весивших больше водорода, включая элементы, которым предстояло превратиться в целые планеты и зародить жизнь. Эти элементы были бы бесполезными, если бы они навсегда остались внутри звезд. Но смерть звезд с высокой массой сопровождается взрывом, после чего их богатые химическими элементами внутренности рассеиваются по всей галактике, пока не пригодятся где-нибудь еще.

Прошло семь или восемь миллионов лет такого вселенского химического обогащения, и родилась неприметная звезда (Солнце) в неприметном регионе (Орионовом рукаве) неприметной галактики (Млечный Путь) из неприметной части Вселенной (окраины суперкластера* Девы). В газовом облаке, из которого сформировалось Солнце, содержалось большое количество тяжелых химических элементов, их хватило на несколько планет, тысячи астероидов и миллиарды комет. Во время формирования этой звездной системы вещество сжалось и соединилось в отдельные космические тела, вырвавшись из родительского облака газа, но не прекратило вращаться вокруг Солнца. В течение нескольких сотен миллионов лет постоянные встречи с высокоскоростными кометами и другим космическим мусором расплавляли поверхность скальных планет, не давая сформироваться сложным молекулам. Со временем в Солнечной системе остается все меньше и меньше вещества, за счет которого другие тела могли бы еще больше нарастить массу, их поверхности понемногу начинают остывать. Планета, которую мы зовем Землей, родилась на орбите на таком расстоянии от Солнца, на котором в ее атмосфере могут существовать океаны (в основном в жидкой форме). Если бы Земля сформировалась гораздо ближе к Солнцу, ее океаны испарились бы. Если бы она появилась существенно дальше, океанам предстояло бы за-

* От англ. supercluster. Называется также сверхскоплением.

мерзнуть. В общем, такая жизнь, какой знаем ее мы, на планете не появилась бы.

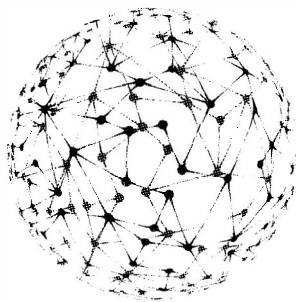
В толще океанических вод, отличающихся богатым химическим составом, под воздействием неизвестных нам механизмов сформировалась простейшая анаэробная бактерия, которая непринужденно взяла и повысила в богатой углеводородом атмосфере Земли уровень содержания кислорода — повысила настолько, что стало возможно существование аэробных организмов: они могли жить, развиваться и заселять океаны и суши. Те же самые атомы кислорода, обычно встречающиеся парами (O_2), собрались и в группы по три, создав верхний озоновый (O_3) слой атмосферы: он защищает поверхность Земли от большинства ультрафиолетовых фотонов Солнца, весьма недружелюбно настроенных по отношению к земным молекулам.

Своим разнообразием жизнь на Земле и (как мы предполагаем) в других уголках Вселенной обязана изобилию углерода в космическом пространстве и тому бесчисленному количеству молекул, простых и сложных, что когда-то из него получились; в мире существует больше видов углеродных молекул, чем всех остальных молекул, вместе взятых. Но жизнь — хрупкая штука. Встречи земного шара с крупными объектами, оставшимися после формирования Солнечной системы (раньше они происходили регулярно), до сих пор периодически наносят урон нашей экосистеме. Всего каких-нибудь 65 миллионов лет назад (а это менее 2 % всей истории нашей Земли) астероид весом 10 миллиардов тонн врезался в территорию нынешнего полуострова Юкатан и уничтожил более 70 % наземной флоры и фауны — да-да, включая динозавров, господствующую форму жизни на суше тех времен. Эта экологическая трагедия дала шанс более мелким и выжившим в катастрофе млекопитающим занять освободившиеся на Земле вакансии. Особенно мозговитый отряд этих млекопитающих, которых мы называем приматами, эволюционировал в род и вид *гомо сапиенс*, отличающийся достаточным уровнем интеллекта, чтобы рано или поздно изобрести научные методики и инструменты, астрофизику и разгадать историю происхождения и эволюции Вселенной.

Да, Вселенная когда-то «началась». Да, Вселенная продолжает эволюционировать. И — да, каждый атом вашего тела можно проследить до самых истоков времен, до Большого взрыва и до термоядерных печей в ядрах особо крупных звезд. Мы не просто «находимся» в этой Вселенной — мы являемся ее неотъемлемой частью. Это она нас породила. Можно даже сказать, что Вселенная уполномочила нас, обитателей этого крошечного уголка необъятного космоса, самим во всем разобраться. К чему мы с вами и приступаем.

Часть I

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ВСЕЛЕННОЙ**



Глава 1

В НАЧАЛЕ ВСЕХ НАЧАЛ

В начале всех начал была физика. Физика описывает поведение вещества, энергии, пространства и времени и то, как они взаимодействуют друг с другом. В нашем театральном представлении космических масштабов это взаимодействие лежит в основе всех биологических и химических явлений. По этой причине все фундаментальное и знакомое нам, землянам, начинается с законов физики и именно благодаря им возможно. Применяя эти законы к астрономическим декорациям, мы имеем дело с физикой астрономического масштаба и потому называем ее астрофизикой.

Практически в любой области научных изысканий, но особенно в физике, передовая научных открытий — словно линия на графике, которая соединяет точки экстремальных значений событий и ситуаций, отражающих наши возможности для их измерения. Для вещества такое экстремальное значение представляет собой район черной дыры, где гравитация серьезно искажает окружающий пространственно-временной континуум. На пике энергии при температуре 15 миллионов градусов в ядрах звезд протекает термоядерный синтез. Какое экстремальное значение ни возьми, оно всегда будет связано со скандально

высокой температурой и очень высокой плотностью, характерными для самых первых мгновений жизни нашей Вселенной. Чтобы понять, что происходит в каждом из таких случаев, необходимо вооружиться законами физики, открытыми после 1900 года, в так называемую физиками современную эпоху (это позволяет отделить ее от классической эпохи, куда мы относим всю прочую физику с ее открытиями и теориями).

Одна из ключевых особенностей классической физики заключается в том, что описанные ею события, законы и прогнозы вполне разумны. Все они были открыты и проверены в обычных лабораториях в стенах обычных зданий. Законы тяготения и движения, электричество и магнитные свойства, природа и поведение тепловой энергии — обо всем этом до сих пор можно узнать на занятиях по физике в старших классах школы. Эти разоблачения тайн природы легли в основу индустриальной революции, изменяя культуру и общество так, как предыдущие поколения не могли себе и вообразить, они и по сей день остаются в центре всего происходящего в мире, являются первопричиной всех событий.

В то же время в современной физике ничего разумным не кажется, ведь все события происходят в условиях, лежащих далеко за пределами восприятия доступными человеку чувствами. Это, кстати, даже хорошо. Мы можем радостно заключить, что наша повседневная жизнь протекает совершенно отдельно от физики экстремальных состояний и значений. Вообразите свое самое обычное утро: вы просыпаетесь, бродите по дому, что-нибудь едите и уходите по делам. В конце дня ваши близкие рассчитывают увидеть вас таким же, каким вы были с утра, более того, они уверены, что вы вернетесь домой целым. Теперь представьте себе: вы приезжаете в офис, заходите в перегретый конференц-зал, где в 10 утра должно состояться важное собрание, — и вдруг теряете все до одного свои электроны. Или еще хуже — ваше тело рассыпается на миллионы отдельных атомов. Так себе, правда? Ладно, а теперь представим, что вы сидите у себя в кабинете и пытаетесь закончить работу при свете 75-ваттной настольной лампы. Вдруг кто-то

включает целых 500 ватт основного освещения — и в результате ваше тело начинает беспорядочно отскакивать от стены к стене, пока вас наконец не выкидывает прямо из окна. А что, если вы пойдете на матч по сумо сразу после работы, где два почти шарообразных джентльмена столкнутся, исчезнут и тут же превратятся в два столпа света, после чего покинут помещение в противоположных направлениях? Или, предположим, по дороге домой вы выбираете непривычный маршрут, и темное здание у обочины сначала затягивает ваши ноги, невероятно растягивая ваше тело с головы до ног и сжимая ваши плечи, а потом протаскивает вас сквозь узкое длинное отверстие в стене — и вас больше никто не увидит и не услышит...

Если бы подобные вещи происходили с нами в повседневной жизни, современная физика казалась бы нам гораздо менее странной. Наши знания основ относительности и квантовой механики были бы естественным отражением нашего жизненного опыта, а наши близкие, скорее всего, ни за что не отпускали бы нас на работу. Но в первые минуты существования Вселенной такие штуки происходили сплошь и рядом! Чтобы представить себе это и хотя бы приблизительно осознать, у нас нет иного выбора, кроме как поставить во главу угла новую форму здравого смысла — такую адаптированную интуицию, подсказывающую, как именно ведет себя вещество и как законы физики описывают его поведение при экстремальных значениях температуры, плотности и давления.

Добро пожаловать в мир, где $E = mc^2$.

Впервые Альберт Эйнштейн опубликовал свое знаменитое уравнение в 1905 году в фундаментальной научной статье *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, которая вышла в ведущем немецком физическом журнале «Анналы физики»*. Работа «К электродинамике движущихся тел» гораздо более известна как специальная теория относительности

* *Annalen der Physik* — один из старейших научных журналов в мире, публикующий оригинальные статьи в области теоретической, экспериментальной, прикладной и математической физики; издается с 1799 года.

Эйнштейна: в ней были сформулированы понятия, навсегда изменившие наши представления о времени и пространстве. В 1905 году сотруднику патентного бюро в швейцарском городе Берне Эйнштейну было всего 26 лет. Позднее в этом же году он внес ряд дополнений к трактовке самого известного своего уравнения в новой выдающейся статье, уместившейся на двух с половиной страницах того же журнала, она называлась *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* — «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?». Не тратьте время на поиски оригинала статьи, эксперименты и тестирование теории Эйнштейна: ответ на этот вопрос — «да». Сам Эйнштейн писал:

*«Если тело излучает энергию E , его масса уменьшается на величину E/c^2 .
<... > Масса тела отражает его энергетическое содержимое; если изменить энергию на E , масса изменится соответствующим образом».*

Не до конца убежденный в собственной правоте, он затем предполагает:

«Вполне вероятно, что данную теорию можно проверить на практике, изучив тела, для энергетического содержимого которых характерны значительные изменения (например, как у радиоактивных солей)».

Вот он — алгебраический рецепт на случай, если вам захочется перевести вещество в энергию или энергию в вещество. $E = mc^2$: энергия равняется массе, умноженной на скорость света в квадрате. Эта формула — очень эффективный вычислительный инструмент, дарящий нам широкие возможности для познания и осознания Вселенной — от ее сегодняшнего состояния и до ничтожных долей секунды после зарождения космоса. Она позволяет определить, сколько энергии может излучать звезда или сколько вы выгадаете, переведя монеты из своего кармана в полезную форму энергии.

Наиболее знакомая всем форма энергии освещает все вокруг, хотя многие даже не догадываются о ее энергетической сути и не задумываются

о ее названии. Речь о фотоне — невесомой неделимой частице видимого света или любой другой формы электромагнитного излучения. Мы живем, постоянно купаясь в море из фотонов: они исходят от Солнца, Луны и звезд; духовок, люстр и ночников; сотен теле- и радиостанций; бесчисленных сигналов сотовых телефонов и радаров. Почему же мы не наблюдаем, как день за днем, каждый день, энергия превращается в вещество или наоборот? Дело в том, что энергия обычных фотонов слишком мала, много меньше выраженной через формулу $E = mc^2$ массы самых крохотных элементарных частиц. Такие фотоны производят слишком мало энергии, чтобы превратиться во что-либо еще, поэтому их удел — весьма незатейливое существование.

Хотите наглядный пример работы формулы $E = mc^2$? Обратитесь к фотонам гамма-излучения — в них как минимум в 200 000 раз больше энергии, чем в видимых фотонах. Вы очень быстро заболите раком и умрете, но перед этим вам удастся разглядеть пары электронов: один из вещества, а другой из антивещества (физики называют их электроном и позитроном соответственно). Как и множество подобных динамичных пар в нашей Вселенной, они будут появляться там, где раньше были фотоны. Вы также увидите, как эти пары электронов, сталкиваясь, аннигилируют и вновь превращаются в фотоны гамма-излучения.

Увеличим энергию фотонов еще в 2000 раз и получим гамма-лучи, энергии которых хватит на то, чтобы превратить предрасположенных к этому людей в зеленых монстров наподобие Халка. Пары таких фотонов обладают энергией, описанной уравнением $E = mc^2$ и достаточной для того, чтобы создавать такие частицы, как нейтроны, протоны и их «антиверсии» — античастицы, каждая из которых будет почти в 2000 раз превышать массой обычный электрон. Фотоны с высокой энергоемкостью существуют во многих космических горнилах мироздания.

Для гамма-излучения подходит практически любая среда температурой выше нескольких миллиардов градусов. Трудно переоценить

космологическую важность наличия частиц и квантовой энергии, превращающихся друг в друга. В данный момент температура нашей расширяющейся Вселенной, которую можно вычислить, измерив все микроволновые фотоны во всем мировом пространстве, составляет смешные 2,73 градуса по шкале Кельвина. В ней нет отрицательных температур: частицы с наименьшей энергией располагаются на нулевой отметке; комнатная температура составляет 295 градусов; вода кипит при 373 градусах. Как и фотоны видимого света, микроволновые фотоны выше любых суетных попыток превратиться в какие-то частицы под диктовку формулы $E = mc^2$. Проще говоря, нам неизвестны частицы со столь малой массой, что в них мог бы превратиться микроволновый фотон. То же самое можно сказать и о фотонах, которые составляют радиоволны, инфракрасный и видимый свет, а также ультрафиолетовые и рентгеновские лучи. Еще проще говоря, для преобразований частиц необходимо гамма-излучение. Однако вчера Вселенная была чуть меньше и чуть горячее, чем сегодня, а позавчера — еще чуть меньше и горячее. Теперь откатимся назад, скажем, на 13,7 миллиарда лет и окажемся в самой гуще первичного бульона, образовавшегося после Большого взрыва. Тогда температура космоса была достаточно высокой для того, чтобы представлять собой астрофизический интерес, а гамма-излучение постепенно наполняло Вселенную.

Расшифровка поведения пространства, времени, вещества и энергии от Большого взрыва до сегодняшнего дня — одна из величайших побед человеческого разума. Если вам требуется развернутое объяснение всего, что происходило еще раньше, когда Вселенная была меньше и горячее, чем когда-либо потом, вам нужно найти способ заставить четыре фундаментальных взаимодействия — гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое ядерные — снова объединиться в одно целое и превратиться в единое метавзаимодействие. Вам также будет необходимо найти способ примирить между собой две физические дисциплины, которые в данный момент несовместимы друг с другом:

квантовую механику (науку о малом) и общую теорию относительности (науку о большом).

Воодушевленные относительно успешным объединением квантовой механики и электромагнетизма в середине XX века физики постепенно занялись объединением квантовой механики и общей теории относительности в единую стройную теорию квантовой гравитации. Хотя у них пока ничего путного не вышло, мы уже знаем, когда произошло все самое интересное: во время так называемой планковской эпохи. Она описывает стадию развития космоса вплоть до 10^{-43} секунд (это одна десятимиллионно-миллиардно-миллиардно-миллиардная доля секунды) от начала времен. Так как информация никогда не путешествует быстрее скорости света (3×10^8 м/с), гипотетический наблюдатель, расположившийся где угодно во Вселенной во время планковской эпохи, смог бы увидеть не далее чем на 3×10^{-35} м вокруг себя (это три стотриллиардно-миллиардно-миллиардных метра). Немецкий физик Макс Планк, в честь которого и были названы эти с трудом вообразимые времена и расстояния, выдвинул гипотезу о квантовой энергии в 1900 году. Сегодня Планк — главный кандидат в общепризнанные отцы квантовой механики.

Однако с точки зрения повседневной жизни волноваться совершенно не о чем. Разногласия квантовой механики и силы тяготения не представляют собой практических проблем для современной Вселенной. Астрофизики используют принципы и инструменты общей теории относительности и квантовой механики в работе над совершенно разными категориями задач. Однако в самом начале, в планковскую эпоху, большое было одновременно и малым, значит, должен существовать какой-то способ, пусть даже поневоле, реабилитировать отношения этой семейной пары. Да, как ни печально, клятвы, произнесенные тогда у космического алтаря, нам пока узнать не удастся, и потому ни один из известных нам законов физики не описывает достаточно убедительно, что же происходило во время краткого медового месяца Вселенной — до того, как ее расширение заставило большое и малое разойтись навсегда.

В конце планковской эпохи гравитация умудрилась отделиться от остальных, все еще объединенных сил природы и обрести независимые характеристики, которые замечательно описаны в наших сегодняшних теориях. Когда Вселенной исполнилось 10^{-35} секунд, она продолжила расширяться и остывать, и то, что оставалось от когда-то единой силы, постепенно разделилось на электрослабое и сильное ядерное взаимодействия. Еще чуть позже электрослабое взаимодействие поделилось на электромагнитное и слабое ядерное. Вот вам и четыре фундаментальных, хорошо знакомых взаимодействия: слабое управляет ядерным распадом, сильное удерживает вместе частицы атомного ядра, электромагнитное связывает отдельные атомы в целые молекулы, а гравитация помогает веществу образовывать крупные формы и структуры. К тому моменту, как Вселенной исполнилась одна миллиардная доля секунды, ее таинственно эволюционировавшие взаимодействия (а также еще несколько ключевых элементов) уже успели наделить космос своими фундаментальными свойствами, каждое из которых заслуживает отдельной книги.

Пока тянулась та бесконечная, первая в истории Вселенной одна миллиардная доля секунды, взаимодействие вещества и энергии не прекращалось. Незадолго до того, как сильное и электрослабое взаимодействия разделились (а также во время этого деления и после него), Вселенная состояла из кипящего океана кварков, лептонов и их сестер-античастиц, а также бозонов — частиц, которые помогали всем им взаимодействовать друг с другом. Исходя из данных, которыми мы обладаем сегодня, ни одно из этих семейств частиц не делится на что-либо еще меньшее по размеру (или «более базовое»). Однако при всей их фундаментальности в каждое из семейств, в свою очередь, входят несколько видов частиц. Фотоны — включая те, что представляют собой видимый свет, — относятся к семейству бозонов. Наиболее известные обывателю (но не физику!) лептоны — это электроны и, пожалуй, нейтрино, а самые общеизвестные кварки... на самом деле таких нет, потому что в повседневных условиях вы не встретите кварков самих по себе, они всегда формируют собой какие-то другие

частицы, например протоны и нейтроны. Каждому виду кварков было дано абстрактное название, не имеющее никакой филологической, философской или педагогической подоплеки. Единственная цель этих названий — помочь различать отдельные виды кварков: верхний кварк (u-кварк) и нижний кварк (d-кварк), странный (s-кварк) и очарованный (c-кварк), истинный (t-кварк) и прелестный (b-кварк)*.

Кстати, бозоны называются именно так в честь индийского физика Шатъендраната Бозе. Слово «лептон» происходит от греческого *leptos* — «легкий», «малый». У слова «кварк» происхождение названия имеет гораздо более художественный, даже литературный характер. Американский физик Мюррей Гелл-Ман, выдвинувший гипотезу о существовании кварков в 1964 году и в том числе предположивший, что в семействе кварков есть только три члена, выбрал для них имя из одной довольно туманной строки романа «Поминки по Финнегану» писателя Джеймса Джойса, где герой восклицает: «Три кварка для Мастера Марка!»** У кварков есть одно преимущество — у всех очень простые названия; химикам, биологам и геологам следовало бы поучиться у физиков тому, как давать изучаемому простые и удобные названия, а то они вечно мудрят с терминологией.

Кварки — довольно ловкие ребята. В отличие от протонов, каждый из которых обладает электрическим зарядом +1, и электронов с зарядом -1 каждый, кварки наделены дробными зарядами, кратными одной третьей. За исключением самых экстремальных условий вам никогда не встретится кварк, который гуляет сам по себе: он всегда крепко держит за руку еще кварк-другой. Более того, сила, которая удерживает кварки рядом, только *растет*, когда вы пытаетесь разделить

* U-кварк — сокр. от up quark; d-кварк — сокр. от down quark; s-кварк — сокр. от strange quark; c-кварк — сокр. от charmed quark; t-кварк — сокр. от top quark; b-кварк — сокр. от bottom quark.

** Three quarks for Muster Mark! (альтернативный перевод — «Три кварка для Мастера Марка!»). Предположительно, захмелевший мистер Марк хотел сказать «три кварты» (1 кварта = 1,14 литра), но язык не послушался его.

их, — словно они заключены в какое-то субъядерное эластичное кольцо, не дающее им расстаться. Правда, если все же развести их достаточно далеко, это «кольцо» лопнет. Энергия, высвобожденная при его разрыве, вспоминает о формуле $E = mc^2$ и приводит к созданию нового кварка на конце каждой половинки «кольца», за которые вы тянули ... И все можно начинать сначала.

В эпоху кварков и лептонов, длившуюся первую миллиардную долю секунды в жизни космоса, Вселенная была достаточно плотной для того, чтобы разъединение свободных кварков в среднем существенно не отличалось от разъединения связанных кварков. В данных условиях было невозможно установить однозначные связи между соседними кварками, поэтому они просто свободно перемещались мимо друг друга. Экспериментальное обнаружение такого состояния вещества, которое по понятным причинам было названо кварковым бульоном, впервые было объявлено в 2002 году командой физиков Брукхейвенской национальной лаборатории (Лонг-Айленд, Нью-Йорк).

Наблюдения и теория вкупе позволяют предположить, что некое происшествие в самом начале после рождения Вселенной (возможно, в момент выделения из единого силового поля каких-то типов взаимодействия) наградило космос примечательной асимметрией: количество частиц вещества превысило количество частиц антивещества примерно на одну на миллиард. Сегодня вы и я существуем именно по этой причине. Эту крошечную разницу никто бы с ходу и не заметил в период бесконечного создания, аннигиляции и воссоздания кварков и антикварков, электронов и антиэлектронов (помните, они называются позитронами?), нейтрино и антинейтрино. В ту эпоху столь незначительного, казалось бы, преобладания вещества над антивеществом у этого самого «третьего лишнего» (а точнее, у «миллиард первого» лишнего) было множество возможностей встретиться еще с какой-нибудь частицей и аннигилировать. Да что там — все так и делали!

Но этому пришел конец. Вселенная продолжала расширяться и остывать, ее температура стремительно опускалась ниже 1 миллиарда градусов по шкале Кельвина. С начала всех начал на этот момент прошла одна миллионная доля секунды, но в этой умеренно теплой Вселенной температуры и плотности вещества было уже недостаточно для того, чтобы изготавливать новые кварки. Все кварки быстренько нашли себе по партнеру, создавая собой новое семейство тяжелых частиц, которые называются адронами (от греческого *hadros* — «плотный»). В результате перехода от просто кварков к адронам произошли протоны и нейтроны, а также другие, менее известные виды тяжелых частиц, представляющие собой различные комбинации кварков. Легкое неравновесие в объеме вещества и антивещества в этом кварко-лептонном бульоне передалось адронам... и последствия этого просто невероятны.

Вселенная продолжала охлаждаться, и количество энергии, доступное для спонтанного зарождения частиц, продолжало падать. Во время адронной эпохи фотонам уже не хватало сил на то, чтобы создавать пары «кварк — антикварк» по предписанию формулы $E = mc^2$: величина их энергии E была ниже, чем значение mc^2 . Вдобавок ко всему те фотоны, что остались в живых после всех многочисленных аннигиляций, продолжали терять энергию, отдавая ее расширяющейся Вселенной. Их энергия упала ниже уровня, необходимого для создания пар «адрон — антиадрон». После каждого миллиарда аннигиляций на поминках остался пировать миллиард фотонов и лишь один-единственный адрон — немое свидетельство былой асимметрии между веществом и антивеществом. Рано или поздно этим одиноким адронам доведется, образно выражаясь, оторваться на полную катушку: они станут сырьем для формирования галактик, звезд, планет — и человечества.

Если бы не эта одна-единственная дополнительная частица вещества на каждый миллиард частиц антивещества, вся масса Вселенной за исключением темной материи, чья форма до сих пор неизвестна, аннигилировала бы по истечении первой же секунды своего существования:

остался бы космос, в котором не было бы *ничего*, кроме фотонов. По сути, это самый близкий к историческому «Да будет свет!» сценарий, какой только можно себе вообразить.

С начала всех начал прошла уже целая секунда.

Для Вселенной температура в невообразимый 1 миллиард градусов — все еще «достаточно не холодно», чтобы производить электроны, которые наряду со своими напарниками-позитронами продолжают появляться и исчезать. Однако их дни в этой постоянно растущей и остывающей Вселенной уже сочтены. Что раньше было характерно для адронов, теперь сбывается и для электронов и позитронов: сталкиваясь, они аннигилируют, и в итоге остается один электрон из миллиарда — последний уцелевший герой после взаимного пакта о самоубийстве между частицами вещества и антивещества. Остальным же электронам и позитронам было суждено погибнуть, чтобы заполнить Вселенную еще большим количеством фотонов.

Подошла к концу эпоха электронно-позитронных аннигиляций, и космос «замирает» в состоянии, в котором на каждый электрон приходился один протон. Охлаждение продолжается, температура уже упала ниже 100 миллионов градусов, протоны сливаются с другими протонами и нейтронами, формируя собой атомные ядра и приводя к рождению Вселенной, в которой 90 % таких ядер — это водород, еще почти 10 % — гелий и крошечную долю также составляют дейтерий, тритий и литий.

С начала всех начал прошло две минуты.

С нашим весьма аппетитным бульоном из атомных ядер водорода и гелия, электронов и позитронов в следующие 380 тысяч лет ничего особого не происходит. Все эти сотни тысячелетий температура Вселенной все еще остается достаточно высокой, чтобы позволить электронам свободно перемещаться между фотонами, толкаясь и подпихивая их.

В главе 3 мы подробнее расскажем, как это свободное перемещение резко закончилось, стоило температуре Вселенной упасть ниже

3000 градусов по шкале Кельвина (это примерно в два раза холоднее поверхности Солнца). Ну а пока электроны понемногу начинают вращаться вокруг отдельных атомных ядер, один за другим создавая атомы. Этот процесс соединения приводит к формированию Вселенной, в которой новенькие атомы купаются в едином море из фотонов видимого света. На этом и заканчивается история о том, как в первичной Вселенной были сформированы частицы и атомы.

Вселенная продолжает расширяться, а значит, ее фотоны все еще теряют энергию. Сегодня, куда бы астрофизики ни кинули взгляд, они обнаруживают космические следы микроволновых фотонов при температуре 2,73 градуса, что представляет собой тысячекратную потерю фотонами энергии с тех пор, как в мире сформировался самый первый атом. Траектории движения фотонов в небе — то конкретное количество энергии, поступающей из самых разных направлений, — содержат в себе следы распространения вещества во Вселенной тех самых времен, когда атомы еще не начали формироваться. Из этих траекторий астрофизики способны делать знаменательные выводы, включая предполагаемые возраст и форму Вселенной. Несмотря на то что сегодня атомы являются неотъемлемой составляющей существования Вселенной, уравнение Эйнштейна отнюдь не следует сбрасывать со счетов: оно актуально для ускорителей частиц, в которых пары из вещества и антивещества создаются из энергетических полей для ядра Солнца, где 4,4 миллиона тонн вещества каждую секунду превращаются в энергию, а также для ядер всех остальных звезд.

Формула $E = mc^2$ умудряется напомнить о себе даже вблизи черных дыр, буквально сразу же за пределами досягаемости их условного радиуса: здесь пары частиц и их античастиц рождаются за счет феноменальной гравитационной энергии черной дыры. Британский космолог Стивен Хокинг впервые описал подобные выходы в 1975 году, показав, что вся масса черной дыры целиком может медленно испаряться благодаря данному механизму. Другими словами, черные дыры оказались

не совсем черными. Это явление называют излучением Хокинга, и оно служит напоминанием о том, сколь плодотворно самое знаменитое уравнение Эйнштейна.

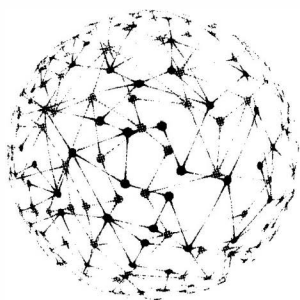
Но что же произошло до всей этой вселенской суматохи? Что произошло до того, как все началось?

Астрофизики не имеют ни малейшего понятия. Точнее говоря, наши самые творческие идеи ничем или почти ничем не обоснованы в рамках экспериментальной науки. При этом верующие люди любят утверждать, нередко с легким оттенком самодовольства, что все же что-то конкретное должно было все это «начать», некая сила, превосходящая все остальные силы, исток у истоков мира. Некая первопричина. В голове такого человека это самое «что-то», конечно же, Бог, природа которого может различаться в глазах разных верующих, но который всегда оказывается в ответе за то, что «все началось».

Но что, если Вселенная была всегда? В таком состоянии или при таких условиях, которые нам еще предстоит понять и описать, например в виде Мультивселенной, где все, что мы называем своей Вселенной, — лишь крошечный пузырек в пене океанического прибоя? А может, Вселенная «начала существовать», словно частицы, просто появившись совершенно из ниоткуда и вообще без причины?

Подобные отповеди обычно никого не убеждают. Тем не менее они напоминают нам о том, что осведомленное невежество — это естественное состояние ума ученых-исследователей, которые стоят во главе движения за улучшение качества и количества знаний, доступных человеку. Люди, которые считают себя всезнающими, никогда не пытались обнаружить, да и никогда не забредали случайно за границу знаний о космосе между известным нам и неизвестным. «Вселенная была всегда» — такой ответ не вызовет уважения в ответ на вопрос о том, «что же было до начала всех начал». При этом для верующих людей ответ: «Господь был всегда» — является очевидным и очень приятным ответом на вопрос: «Что было до того, как появился Господь?»

Кем бы вы ни были, приняв участие в путешествии навстречу открытиям о том, где и как все когда-то начиналось, вы почувствуете мощный эмоциональный подъем, как если бы знание о происхождении человечества каким-то образом делало вас более приспособленным к тому, чему еще предстоит случиться в будущем. Жизнь и Вселенная преподают нам один и тот же урок: знать, откуда ты пришел, не менее важно, чем знать, куда ты направляешься.



Глава 2

О ВАЖНОСТИ АНТИВЕЩЕСТВА

Физике элементарных частиц принадлежит пальма первенства за самый необычный и одновременно с этим игривый профессиональный жаргон среди всех физических дисциплин. Где еще вы найдете отрицательный мюон и мюонное нейтрино, обменивающиеся нейтральным векторным бозоном? Или станете свидетелем глюонного обмена, благодаря которому соединяются странный и очарованный кварки? Где бы еще вам удалось встретиться с гравитино, фотино и скварками? А ведь, помимо этих, казалось бы, бесчисленных частиц со странными названиями, физикам приходится также иметь дело с параллельной Вселенной из их *античастиц*, которые образуют собой антивещество. Несмотря на то что вы встречаетесь с антивеществом преимущественно в научной фантастике, оно также существует и на самом деле. Вы, наверное, уже догадываетесь, что оно склонно аннигилировать при контакте с обычным веществом?

Между частицами и античастицами в нашей Вселенной уже давно развивается нежный роман. Они могут вместе родиться из чистой энергии и аннигилировать, обращая свою обретенную при рождении массу обратно в энергию. В 1932 году американский физик Карл Дэвид Андерсон открыл позитрон — положительно заряженную

частицу-напарника отрицательно заряженного электрона. С той поры физики, занимающиеся элементарными частицами, регулярно изготавливают самые разные античастицы в ускорителях частиц по всему миру, но лишь совсем недавно им удалось собрать античастицы в полноценные атомы. С 1996 года международная группа ученых под руководством Вальтера Улерта при Институте ядерной физики исследовательского центра в немецком городе Юлихе создает атомы антиводорода, в которых антиэлектрон благосклонно вращается вокруг антипротона. Чтобы сделать несколько первых подобных антиатомов, физики воспользовались огромным ускорителем частиц, принадлежащим Европейской организации ядерных исследований (гораздо более широкой известной как ЦЕРН*), расположенной в Женеве, Швейцария. Благодаря ему свершилось множество важных открытий и событий в области мировой физики элементарных частиц.

Физики применяют довольно простую методику для создания антиатомов: сначала они изготавливают антиэлектроны и антипротоны, потом подталкивают их друг к другу при подходящей для этого температуре, а потом ждут, пока они не соединятся в атомы (то есть антиатомы). Во время первого раунда экспериментов команда Улерта смогла создать девять атомов антиводорода. Но в мире, в котором преобладает вещество, атому антивещества живется довольно туго. Эти атомы антиводорода просуществовали менее 40 наносекунд (40 миллиардных долей секунды), прежде чем аннигилировали один за другим вместе с атомами обычного вещества.

Открытие антиэлектрона стало одним из величайших триумфов теоретической физики, ведь его существование было предсказано родившимся в Великобритании физиком Полем Андриеном Морисом Дираком буквально за несколько лет до этого.

Чтобы описать вещество на уровне атомных и субатомных частиц, в 1920-е годы физики разработали новую отрасль науки, которая за-

* CERN — аббревиатура Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, французского названия Европейской организации ядерных исследований.

нималась бы разъяснением результатов их экспериментов с этими частицами. Используя новый установленный свод правил, сегодня известный как квантовая теория, Дирак вывел из второго решения своего уравнения постулат о том, что некий электрон-призрак с «другой стороны» Вселенной может иногда залетать в наш мир в качестве обычного электрона, оставляя за собой пробел — недоимку — в море отрицательной энергии.

Дирак надеялся, что это поможет ему лучше понять и описать природу протонов, но другие физики предположили, что подобный энергетический пробел, или «дырка», заявит о себе как антиэлектрон с положительным зарядом. В итоге его назвали позитроном, что отражает приписанный ему положительный электрический заряд. Обнаружение реально существующих позитронов подтвердило базовые предположения Дирака и окончательно возвело антивещество в ранг явлений, достойных не меньшего внимания, чем обычное вещество.

Уравнения, у которых существует два решения, довольно распространены. Один из самых простых примеров здесь, безусловно, — это ответ на вопрос: «Какое число нужно умножить само на себя, чтобы получить девять?» 3 или -3 ? Конечно, оба ответа верны, потому что $3 \times 3 = 9$, но и $(-3) \times (-3) = 9$. Физики не могут гарантировать, что все решения конкретного уравнения будут соответствовать событиям в реальном мире, но если у нас есть состоятельная математическая модель физического явления, то манипуляции с ней могут быть не менее полезны (и при этом в разы проще), чем манипуляции с целой Вселенной как таковой. Как и в случае с Дираком и антивеществом, подобные шаги часто приводят к предсказаниям, которые со временем удастся проверить. Если предсказания оказываются неверными, теорию отвергают. Но каким бы ни был физический — материальный — результат, математическая модель позаботится о том, чтобы выводы, которые из нее можно сделать, одновременно были логическими и не содержали внутренних противоречий.

Для субатомных частиц характерно множество измеряемых свойств, среди которых масса и электрический заряд значатся как одни из самых

важных. За исключением массы частицы, которая всегда одинакова для нее и ее античастицы, прочие свойства каждого типа античастицы всегда оказываются диаметрально противоположными тем, что мы наблюдаем у вещества. Так, например, масса позитрона всегда равна массе электрона, но у позитрона одна единица положительного заряда, в то время как электрон обладает ровно одной единицей отрицательного заряда. Сходным образом антипротон — это заряженная «наоборот» античастица протона.

У нейтрона с его нулевым зарядом тоже есть античастица — антинейтрон. У антинейтрона противоположный нулевой заряд по сравнению с обычным нейтроном. Это арифметическое волшебство возможно благодаря тому, что каждый нейтрон состоит из трех кварков, в свою очередь обладающих дробными зарядами. У трех кварков, которые образуют нейтрон, следующие заряды: $-1/3$, $-1/3$ и $+2/3$. В таком случае антинейтрон состоит из антикварков с зарядами $+1/3$, $+1/3$ и $-2/3$. Совокупный заряд каждой тройки равен нулю, но этот нуль образован парами противоположно заряженных составных субатомных частиц — кварков и антикварков.

На самом деле антивещество можно получить буквально из ничего. Если у фотонов гамма-излучения будет достаточно энергии, они смогут превратиться в пары «электрон — позитрон», конвертируя всю свою немалую энергию в небольшое количество вещества. Этот процесс полностью соответствует знаменитому уравнению Эйнштейна $E = mc^2$.

Говоря языком первоначальных заключений Дирака, фотон гамма-излучения выталкивает электрон из среды отрицательной энергии, создавая обычный электрон и «дырку» в месте его отсутствия. Возможен и обратный процесс: если столкнутся частица и античастица, они аннигилируют, заполняя собой «дырку» и выделяя гамма-излучение. Надо отметить, что оно относится к тому типу излучения, которого следует сторониться.

Если вам удастся создать каплю из античастиц в домашних условиях, вы окажетесь в безвыходном положении. Встанет вопрос, как их хранить, ведь ваши античастицы немедленно аннигилируют при кон-

такте с обычным веществом, то есть с любым пакетом, банкой или коробкой. Подходящая система хранения для антивещества — мощная магнитная ловушка, которая удерживала бы его античастицы в одном месте, не давая им коснуться стен, дна или крышки «контейнера». Если вы создадите такое магнитное поле в вакууме, вы сможете вздохнуть с облегчением: теперь ваши античастицы в безопасности и аннигиляция им не угрожает. Такой магнитный аналог пробирки подойдет и для обращения с другими материалами, которые плохо сочетаются с контейнерами любого типа, например для светящихся газов температурой в сотни миллионов градусов, которые используют в экспериментах по ядерному синтезу (разумеется, под присмотром ученых). Однако еще более глобальная проблема хранения возникает, когда у вас на руках появляются целые антиатомы — ведь антиатомы, как и атомы, обычно не отскакивают от магнитных стенок. Лучше всего будет хранить позитроны и антипротоны в отдельных магнитных ловушках вплоть до ключевого момента, когда вы соберетесь их соединить.

На создание антивещества уходит как минимум столько же энергии, сколько вы сможете получить, когда оно аннигилирует с веществом, чтобы вновь превратиться в энергию. То есть если перед запуском космического корабля у вас нет с собой полного бака антивещества, то работающий по принципу «автогенерации антивещества» двигатель будет просто постепенно отбирать у вашего корабля обычную энергию. Возможно, в первоначальной версии кино- и телесериала «Звездный путь»^{*} данный факт как-то и был принят к сведению сценаристами, однако капитан Кирк регулярно просил «прибавить ходу» за счет двигателей, работающих на веществе и антивеществе, на что главный инженер Скотти неизменно отвечал ему со своим чудесным шотландским акцентом: «Да больше некуда!»

* «Звездный путь» (англ. Star Trek) — популярный американский научно-фантастический сериал об утопическом космическом будущем человечества, первая серия которого вышла в 1966 году. На сегодня франшиза насчитывает шесть телесериалов, включая мультипликационный, 12 полнометражных фильмов, книги, рассказы, компьютерные игры и обладает огромной базой поклонников по всему миру.

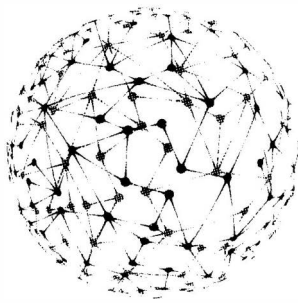
Хотя физики считают, что атомы водорода и антиводорода должны вести себя одинаково, им пока не удалось подтвердить или опровергнуть это утверждение в экспериментальных условиях. Это связано в первую очередь с проблемой сохранения атомов антиводорода собственно в виде атомов — ведь они почти сразу же аннигилируют при контакте с протонами и электронами. Ученые хотели бы удостовериться, что поведение позитрона, связанного с антипротоном в атоме антиводорода, досконально следует всем законам квантовой теории и что сила тяготения антиатома работает точно так же, как и у обычных атомов. Может ли антиатом порождать антигравитацию — отталкивающую силу — вместо обычной гравитации — силы притяжения? Вся теория указывает на то, что этот сценарий невозможен, но вдруг это не так? Если мы найдем антигравитацию в антиатомах, это станет источником новых удивительных открытий и знаний об устройстве окружающего мира. В масштабе отдельных атомов величина гравитации между двумя отдельными частицами ничтожно мала. Не гравитация, но электромагнитное и ядерное взаимодействия определяют поведение этих крохотных частиц, каждое из них в разы мощнее гравитации. Чтобы проверить возможность существования антигравитации, понадобится достаточное количество антиатомов для того, чтобы собрать из них объекты обычного размера — такие, чтобы их свойства можно было доступно и достоверно оценить и измерить, а затем сравнить со свойствами привычного нам вещества. Если сделать набор бильярдных шаров (стол и кии) из антивещества, будет ли игра в антибильярд неотличима от игры в бильярд? Будет ли антишар с нарисованной на нем антивосьмеркой падать в угловую лузу точно так же, как и обычный шар с восьмеркой? Вращаются ли антипланеты вокруг своих антизвезд так же, как и обычные планеты вокруг обычных звезд?..

Предположение, что суммарные свойства антивещества окажутся равнозначными свойствам обычного вещества, демонстрируя привычную силу тяготения, привычные столкновения, свет и т. д., — разумно с философской точки зрения и не идет вразрез со всеми прогнозами и предписаниями современной физики. К сожалению, это

означает, что, если бы в нашу сторону двигалась некая антигалактика, столкновение которой с Млечным Путем было бы неизбежным, мы не имели бы никакой возможности различить ее заранее, а потом уже было бы слишком поздно что-то предпринимать. Правда, столь плачевная судьба не может быть регулярным явлением в сегодняшней Вселенной: если бы, например, одна антизвезда аннигилировала с одной обычной звездой, превращение их вещества и антивещества в энергию гамма-излучения было бы мгновенным, яростным и тотальным. Если бы две звезды массой примерно с наше Солнце (в каждой из них тогда было бы 10^{57} частиц) столкнулись в нашей галактике, их аннигиляция создала бы такой яркий источник света, что он временно превысил бы по силе всю энергию всех звезд сотни миллионов галактик и сжарил бы нас в мгновение ока. У нас нет никаких убедительных доказательств того, что нечто подобное хоть раз произошло где-либо в нашей Вселенной. По этой причине, насколько мы можем судить, во Вселенной все же преобладает обычное вещество, более того, так оно и было с первых же минут ее существования после Большого взрыва. Так что не беспокойтесь: когда вы в следующий раз отправитесь в межгалактическое путешествие, мгновенную и немучительную смерть от тотальной аннигиляции из-за столкновения большой массы вещества и антивещества можно смело вычеркнуть из списка первоосновных вопросов безопасности.

Однако теперь получается, что Вселенная пребывает в пугающем неравновесии. Мы предполагаем, что частицы и античастицы должны создаваться в равном количестве, но во все стороны от нас простирается космос, где вещества существенно больше и ему нисколько не мешает недостаток антивещества. Может, где-то есть тайные космические пазухи, в которых прячется все антивещество, которого мы недосчитались? Может, какие-то законы физики были нарушены в первые мгновения существования Вселенной (или тогда всем руководил какой-то неизвестный нам сегодня закон), из-за чего было навсегда нарушено равновесие между веществом и антивеществом? Мы можем никогда не узнать ответов на эти вопросы, но пока все же хотим дать вам один

хороший совет: если над лужайкой у вашего дома в воздухе повиснет инопланетянин и протянет вам щупальце в знак приветствия, не торопитесь протягивать руку в ответ: сперва киньте ему свой любимый бильярдный шар-восьмерку. Если щупальце и шар взорвутся, инопланетянин, скорее всего, состоит из антивещества. (Не будем останавливаться здесь на том, как он сам и его приятели отреагируют на взрыв, или на том, что будет с вами в результате такого взрыва.) Если же ничего плохого не случится, берите своего нового друга за космическую лапу и ведите его к лидеру всего человечества.



Глава 3

ДА БУДЕТ СВЕТ!

Когда нашей Вселенной была всего доля секунды от рода, а температура ее составляла безжалостные миллиарды градусов тепла и сияние от нее было просто нестерпимым, занималась она в основном расширением. С каждым последующим мгновением Вселенная становилась все шире, охватывая все больше космического пространства (что не очень просто вообразить, но факты говорят сами за себя). Чем дальше расширялась Вселенная, тем прохладнее и темнее она становилась. На протяжении сотни тысячелетий вещество и энергия существовали бок о бок в чем-то вроде густого бульона, в котором электроны стремительно и без усталости разносили по уголкам Вселенной фотоны.

Если бы тогда вам захотелось заглянуть «в глубь» Вселенной, вы бы ничего не увидели. Те фотоны, что пытались бы добраться до сетчатки вашего глаза, за несколько наносекунд или даже пикосекунд до достижения цели отскакивали бы от электронов, мельтешащих перед вашим лицом, в обратном направлении. Куда бы вы ни посмотрели, вы увидели бы только мерцающий туман, и все окружающие вас предметы — сияющие, пронизанные светом, красновато-белые — были бы почти такими же яркими, как поверхность Солнца.

Расширение Вселенной продолжалось, и энергия фотонов постепенно падала. В конце концов, когда Вселенной исполнилось около 380 тысяч лет, ее температура упала ниже 3000 градусов по шкале Кельвина. Тогда протоны и ядра гелия смогли окончательно притянуть к себе электроны, создав, таким образом, первые атомы в нашей Вселенной. В предыдущие эпохи ее существования каждому фотону хватало энергии на то, чтобы разрушать формирующиеся атомы, но расширение Вселенной положило этому конец. Свободных электронов тоже становилось все меньше, и теперь фотоны могли носиться по всей Вселенной, ни с чем не сталкиваясь. Тогда-то Вселенная и стала прозрачной: туман рассеялся, и гипотетическому наблюдателю открылось фоновое космическое излучение.

Это излучение можно наблюдать и сегодня — мы называем его *реликтовым излучением*. По сути, оно представляет собой остатки света той сверкающей раскаленной Вселенной первых лет ее существования. Свойства этой вездесущей массы фотонов во многом соответствуют как волнам, так и частицам. Длина волны каждого фотона равняется расстоянию между двумя соседними «гребнями» его волнообразной траектории — его можно было бы измерить обычной линейкой, если бы довелось заполучить в руки фотон. В вакууме все фотоны движутся с одинаковой скоростью — около 299 800 км/с* (собственно, это и есть скорость света), так что фотоны с меньшей длиной волны характеризуются бóльшим количеством волнообразных движений, совершаемых за одну секунду. Такие фотоны успевают совершить больше волнообразных движений за заданный промежуток времени, а значит, отличаются большей частотой. Частота каждого фотона — прямой показатель его «энергичности»: чем она выше, тем больше в нем содержится энергии.

Охлаждение продолжалось, и фотоны утрачивали все больше энергии в пользу все расширяющейся Вселенной. Фотоны, рожденные в ча-

* Наиболее точно измеренное значение скорости света в вакууме составляет $299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с.

стях спектра, приходящихся на рентгеновское и гамма-излучение, превратились в ультрафиолетовый свет и в инфракрасные фотоны. Длина их волн увеличивалась, и они становились все прохладнее и энергичнее, но фотонами от этого быть не переставали. Сегодня, через 13,7 миллиарда лет после рождения Вселенной, фотоны реликтового излучения сместились вниз в рамках спектра, превратившись в микроволновое, или сверхвысокочастотное (СВЧ), излучение.

Вот почему астрофизики называют его космическим микроволновым фоном, хотя термин «реликтовое излучение» все же пользуется большей популярностью. Пройдет еще сотня миллиардов лет, Вселенная будет еще больше и прохладнее, и астрофизики будущего назовут наше реликтовое излучение космическим радиоволновым фоном.

Чем шире Вселенная, тем ниже ее температура. Все это соответствует доступной нам физике. Если отдельные части Вселенной все больше удаляются друг от друга, значит, длина волн фотонов реликтового излучения должна увеличиваться: космос растягивает эти волны вдоль эластичной канвы времени и пространства. Из-за того что энергия каждого фотона обратно пропорциональна длине его волны, все свободно перемещающиеся фотоны теряют до половины своей изначальной энергии с каждым двукратным увеличением Вселенной в размере.

Все объекты, температура которых превышает абсолютный нуль, излучают фотоны, приходящиеся на все части спектра. Данное излучение всегда где-то и в какой-то момент достигает своего максимума. Так, максимальная отдача энергии, или выработка, обычной домашней электрической лампочки лежит в инфракрасной части спектра. Это можно заметить по ощущению тепла на коже при приближении к ней источника такого света. Конечно же, лампочки выделяют немалое количество и видимого света (иначе мы бы их вряд ли покупали). Получается, излучение лампы можно не только видеть, но и ощущать — осязать.

В случае с фоновым излучением наибольшая отдача энергии происходит при длине волны около 1 мм — это середина микроволновой части спектра. Источник помех, которые можно услышать во время разговора по радию, — это внешнее микроволновое излучение, небольшая доля которого идет непосредственно от реликтового излучения. Остальные «помехи» приходят с Солнца, от мобильных телефонов, радаров полицейских нарядов и др. Сила реликтового излучения достигает своего максимума в микроволновом спектре, но оно также частично состоит из радиоволн (именно это и позволяет им «вмешиваться» в радиосигналы с Земли) и ничтожного количества фотонов, обладающих большей энергией, чем СВЧ-волны.

Американский физик украинского происхождения Георгий Гамов и его коллеги предсказали существование реликтового излучения в 1940-х годах, а в 1948 году представили свои выкладки в полноценной статье. Известные на тот момент физические законы использовались в ней, чтобы определить те странные условия, в которых существовала ранняя Вселенная. Их идеи были основаны на вышедшей в 1927 году работе бельгийского астронома и иезуитского священника Жоржа Эдуарда Леметра, который сегодня считается отцом теории Большого взрыва. Однако примерную температуру космического фона — реликтового излучения — первыми предположили два американских физика, ранее работавшие с Гамовым, Ральф Альфер и Роберт Герман.

Альферу, Гамову и Герману пришла в голову относительно простая мысль — мы с вами уже ее озвучивали: вся канва пространства и времени вчера была меньше, чем сегодня, а раз она была меньше, значит, исходя из фундаментальных основ физики, она была горячее. Физики повернули стрелки часов назад и попытались вообразить эпоху, когда Вселенная была настолько горячей, что все ее атомные ядра были сами по себе: от столкновений с фотонами электроны разлетались во все стороны, не имея возможности прикрепиться к чему бы то ни было. В таких условиях, предположили Альфер и Герман, фотоны не могли

бы беспрепятственно путешествовать по Вселенной, как сегодня. Их сегодняшнее свободное перемещение возможно только потому, что в свое время Вселенная достаточно охладилась, чтобы позволить электронам прибиться к атомным ядрам и занять свои позиции на их орбитах. Так были сформированы полноценные атомы, и свет смог перемещаться, не встречая препятствий на своем пути.

Гамов высказал уверенное предположение, что ранняя Вселенная была существенно горячее сегодняшней, но именно Альфер и Герман первыми подсчитали текущую ее температуру: 5 градусов по шкале Кельвина. Да, их подсчет оказался неверным — сегодня мы знаем, что фактическая температура реликтового излучения составляет 2,73 градуса по шкале Кельвина. Но это не умаляет того факта, что эти трое ученых пришли к верному выводу об устройстве мира в столь древнюю космическую эпоху — и это достижение не менее важно, чем любое другое в истории науки. Взять за основу базовые закономерности физики, сидя в уютной лаборатории, и выявить с их помощью крупнейший комплекс данных, когда-либо измеренных, — получить кривую температурной истории Вселенной, — если это не сногшибательно, то тогда вообще неясно, что можно считать таковым. Профессор Джон Ричард Готт III, астрофизик Принстонского университета, дал следующую оценку этому успеху в своей книге «Путешествия во времени в эйнштейновской Вселенной»^{*}:

*«Предсказать существование излучения и затем предположить значение его температуры, ошибившись менее чем в два раза, — это замечательное достижение: это как если бы вы предсказали, что летающая тарелка диаметром 50 футов^{**} приземлится на газон у Белого дома, и затем стали свидетелем того, как именно туда прилетает и садится 27-футовая^{***} тарелка».*

^{*} Time Travel in Einstein's Universe, Джон Ричард Готт III, год выхода — 2001.

^{**} 15,24 м.

^{***} 8,23 м.

Когда Гамов, Альфер и Герман озвучили свои предположения, физики все еще не имели на руках точной истории зарождения Вселенной. В 1948 году, когда увидела свет работа Альфера и Германа, в Англии также вышли две научных статьи о теории «стационарной Вселенной». Одна из них была написана математиком Германом Бонди и астрофизиком Томасом Голдом, а другая — космологом Фредом Хойлом. Согласно теории стационарной Вселенной, последняя, хоть и расширяется, всегда выглядела и выглядит одинаково. Надо признать, эта гипотеза весьма привлекательна в своей простоте. Но так как Вселенная все же расширяется, а стационарная Вселенная не могла бы вчера оказаться более горячей или более плотной, чем сегодня, сценарий Бонди, Голда и Хойла предполагает, что она постоянно «пополняется» новым веществом как раз с нужной частотой для того, чтобы плотность бесконечно расширяющегося космоса не менялась. В противовес этому теория Большого взрыва (такой «кличкой» ее презрительно наградила Хойл, не зная, что она приживется) подразумевает, что все вещество, имеющееся сегодня во Вселенной, появилось разом. Некоторые находят в этой идее определенное утешение. Обратите внимание: теория стационарной Вселенной просто отодвигает в неопределенное прошлое сам вопрос о ее возникновении как таковом — уж очень удобная позиция для тех, кто предпочел бы вообще не касаться этой колючей темы.

Высказанное предположение о реликтовом излучении стало неким предупредительным выстрелом в стан поклонников теории стационарной Вселенной. Его существование явно доказало бы, что когда-то Вселенная была совсем другой — гораздо меньше и горячее, чем сегодня. Соответственно, первые прямые улики, говорящие о реликтовом излучении, вогнали первые несколько гвоздей в крышку гроба стационарной теории (хотя Фред Хойл так никогда до конца и не принял факта существования реликтового излучения, подрывающего его элегантную теорию, и до самой смерти пытался найти ему альтернативное объяснение). В 1964 году реликтовое излучение было по счастливому

стечению обстоятельств обнаружено радиофизиками Арно Пензиасом и Робертом Уилсоном в лабораториях компании «Белл Телефон»^{*} в Мюррей-Хилл, штат Нью-Джерси. Чуть более десятилетия спустя Пензиас и Уилсон получают Нобелевскую премию за свою невероятную удачу и кропотливую работу.

Что же привело Пензиаса и Уилсона в нобелевские лауреаты? В начале 1960-х все физики были знакомы с микроволновым излучением, но почти никому не удавалось обнаружить наиболее слабые сигналы в микроволновой части спектра. В те дни большинство беспроводных способов коммуникации (рации, детекторы и др.) работало на радиоволнах, а их длина превышает длину СВЧ-волн. Ученым требовалось устройство, способное обнаружить волну более короткой длины, то есть была нужна более чувствительная антенна, которая могла такой сигнал уловить. В лабораториях «Белл Телефон» имелась одна огромная антенна в форме рога (или воронки), которая могла улавливать микроволновые сигналы не хуже, чем любой аналогичный аппарат на Земле.

Если вы соберетесь отправить или получить какой бы то ни было сигнал, вам не захочется, чтобы его нарушали другие сигналы. Пензиас и Уилсон пытались создать для «Белл Телефон» новый коммуникационный канал, поэтому они хотели точно определить, какой объем фонового шума будет портить им сигнал — неважно, откуда бы он исходил: от Солнца, из центра галактики, от наземных источников. И они приступили к весьма стандартному, очень важному и совершенно невинному процессу измерения, по итогам которого должны были понять, насколько это вообще легко — улавливать микроволновое излучение. Да, Пензиас и Уилсон обладали определенными знаниями из

^{*} Компания Bell Telephone Company (позднее переименованная в Bell Labs) была основана в Бостоне, штат Массачусетс, 9 июля 1877 года Гардинером Грином Хаббардом — тестем Александра Белла, одного из основоположников телефонии. Главным конкурентным преимуществом Bell Telephone Company был патент Белла на изобретение телефона.

области астрономии, но они не были космологами: эта пара физиков-техников просто хотела исследовать СВЧ-волны, понятия не имея о предсказаниях Гамова, Альфера и Германа. И уж чего они точно не собирались искать и обнаруживать, так это космическое микроволновое (оно же реликтовое) излучение.

Они провели запланированные исследования и скорректировали полученные данные, учтя все известные им источники помех. Однако в сигнале присутствовал фоновый шум, избавиться от которого не получалось, как бы они ни старались. Казалось, этот шум шел одновременно отовсюду, и его уровень оставался неизменным. Тогда они заглянули в свой огромный рог. Там гнездились голуби, из-за чего весь рупор и его ближайший радиус были покрыты «белым диэлектрическим веществом» (а попросту, голубиным пометом). Видимо, Пензиас и Уилсон уже были на грани отчаяния, ибо они задались вопросом: может ли помет быть причиной непропадающего фонового шума? Они все тщательно очистили, и, надо признать, шум слегка уменьшился, но избавиться от него полностью так и не удалось. В 1965 году они опубликовали в «Астрофизическом журнале»^{*} научную статью, в которой назвали эту неразрешимую загадку «повышенной температурой антенны»; назвать ее «астрономическим открытием века» им просто не пришло в голову.

Пока Пензиас и Уилсон отскребали с рупора антенны птичий помет, команда физиков Принстонского университета во главе с Робертом Генри Дикке строила детектор, предназначенный специально для того, чтобы обнаружить то самое реликтовое излучение, о котором говорили Гамов, Альфер и Герман. Правда, профессора не располагали такими ресурсами, как сотрудники «Белл Телефон», поэтому работа у них продвигалась медленнее. Стоило Дикке и его коллегам услышать о полученных Пензиасом и Уилсоном результатах, как стало ясно: их обогнали. Принстонская команда прекрасно знала, что это за «повышен-

* The Astrophysical Journal — ежемесячный научный журнал Американского астрономического сообщества, который выходит с 1895 года.

ная температура антенны». Все вписывалось в теорию: температура, тот факт, что сигнал приходил равномерно и со всех сторон и не менялся в зависимости от вращения Земли (времени суток) или ее расположения на орбите Солнца (времени года).

Принять подобную трактовку есть несколько причин. Фотонам нужно время на то, чтобы добраться до нас с вами из далеких уголков космоса, поэтому получается, что, глядя в космос, мы на самом деле смотрим в далекое прошлое. Это значит, что, если бы некие разумные обитатели одной далекой-далекой галактики измерили бы для своих нужд температуру реликтового излучения задолго до того, как это удалось сделать нам, они получили бы значение выше 2,73 градуса по шкале Кельвина, потому что жили бы намного раньше, когда Вселенная была моложе, компактнее и горячее, чем сегодня.

Проверить это смелое утверждение легко! Оказывается, соединение углерода и азота под названием циан (с ним особенно хорошо знакомы смертники американской судебной системы — это активный ингредиент ядовитого газа) приходит в возбуждение под воздействием СВЧ-излучения. Температура микроволнового излучения выше, чем реликтового, поэтому микроволновое излучение приводит молекулу циана в большее возбуждение. Таким образом, соединения циана можно использовать в качестве космического термометра. Обозреваемые нами с большого расстояния (а значит, передающие привет из более молодых галактик) молекулы циана купаются в более теплых реликтовых лучах, чем посчастливилось циану в галактике Млечный Путь. Другими словами, получается, что те, другие галактики с точки зрения циана живут более насыщенной жизнью. И ведь так и есть! Обозримый спектр циана в далеких галактиках демонстрирует микроволновое излучение именно той температуры, какую ожидалось бы увидеть и в нашей Вселенной в более ранний период ее существования.

Поверьте: выдумать такое просто невозможно.

Реликтовое излучение — это не просто прямое свидетельство более молодой и горячей Вселенной, оно оказывает астрофизикам (а значит,

и теории Большого взрыва) гораздо более важную услугу. Оказывается, те фотоны, что входят в состав реликтового излучения, достигают нас с вами с огромным багажом информации о состоянии космоса как до, так и после обретения им прозрачности. Мы уже отмечали, что, пока с момента Большого взрыва не прошло примерно 380 тысяч лет, Вселенная была непрозрачной, и увидеть, как вещество обретает форму, было невозможно — даже если усесться в первом ряду этого космического кинотеатра. Прежде чем кто-нибудь смог бы где-нибудь увидеть что-нибудь стоящее, фотонам предстояло обрести возможность перемещаться беспрепятственно, пересекая Вселенную в любом направлении. Когда настало подходящее время, каждый фотон начал свое путешествие сквозь космос и не останавливался, пока не столкнулся с «первым и последним» в его жизни электроном. Все больше и больше фотонов прорывалось к дальним уголкам Вселенной, не встречая на своем пути ни одного электрона (потому что последние постепенно прикреплялись к атомным ядрам). Там им предстояло создать растущий щит из фотонов, астрофизики называют его поверхностью последнего рассеяния. Этот щит, на формирование которого ушло примерно 100 тысяч лет, отмечает собой эпоху, в которую родились практически все атомы существующей сегодня Вселенной.

К тому времени вещество в крупных регионах Вселенной уже начинало понемногу объединяться. В местах его скопления возрастала и гравитация, вследствие чего вещества становилось еще больше. В таких регионах начали формироваться галактические суперкластеры, в то время как остальные регионы оставались относительно пустыми. Последние фотоны, оттолкнувшись от каких-либо электронов в пределах таких регионов скопления вещества, приобретали новый, чуть более холодный спектр по мере того, как покидали все увеличивающееся гравитационное силовое поле, которое частично забирало себе их энергию.

Реликтовое излучение действительно позволяет обнаружить места, в которых температура чуть выше или чуть ниже среднего значения;

разница, как правило, не составляет больше одной сотысячной градуса. Такие теплые и прохладные участки отмечают собой наиболее рано сформировавшиеся скопления вещества. Мы знаем, как вещество выглядит сегодня, потому что можем наблюдать за галактиками, их скоплениями и сверхскоплениями. Чтобы понять, как образовались эти космические системы, мы прощупываем реликтовое излучение — реликвию далекого прошлого, которая до сих пор наполняет собой Вселенную. Анализ распределения реликтового излучения — это что-то вроде космической френологии: мы считываем бугорки на «черепе» молодой Вселенной и по ним определяем поведение не только Вселенной-младенца, но и Вселенной-взрослого.

Дополняя общую картину другими наблюдениями локальных и удаленных уголков Вселенной, астрономы могут составить представление о самых разных фундаментальных свойствах реликтового излучения. Сравнивая распределение размеров и температур чуть более теплых или холодных его областей, к примеру, мы можем прикинуть силу гравитации в более ранние периоды существования Вселенной, а значит, и то, как быстро вещество скапливалось в тех или иных регионах. Отсюда мы можем вычислить, сколько именно обычного вещества, темной материи и темной энергии включает в себя Вселенная (4, 23 и 73 % соответственно). Тут уже становится совсем легко определить, будет ли Вселенная расширяться до бесконечности и будет ли это расширение ускоряться или замедляться с течением времени.

Обычное вещество — это то, из чего сделаны все мы. Оно является источником гравитации и может поглощать, выделять или другим образом взаимодействовать со светом. Темная материя, как мы увидим в главе 4, представляет собой субстанцию неизвестной нам природы, которая, будучи источником гравитации, не взаимодействует со светом каким-либо известным нам образом. А темная энергия, знакомство с которой ждет нас в главе 5, ускоряет расширение Вселенной, заставляя ее увеличиваться в размерах быстрее, чем в случае если бы темной энергии в ней не было вовсе. Френологические исследования показывают: сегодняшние космологи понимают, как вела себя новорожденная

и юная Вселенная, однако в ней гораздо больше того, о чем они не имеют ни малейшего понятия.

И все же, невзирая на существенные пробелы в понимании устройства Вселенной, сегодня у науки о космосе есть якорь — и более увесистый, чем когда-либо. Ведь реликтовое излучение несет на себе отпечаток того самого портала, через который все мы когда-то прошли, чтобы стать частью этого мира.

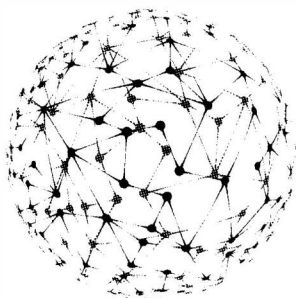
Открытие реликтового излучения привнесло в космологию новый уровень точности: оно подтвердило собой заключение, изначально полученное путем наблюдений за далекими галактиками, о том, что Вселенная расширяется уже миллиарды лет. Четкая и подробная карта реликтового излучения, впервые созданная для маленьких участков неба с помощью инструментов и телескопов, увлекаемых запущенными с Южного полюса аэростатами вверх, а затем и для целого небосвода с помощью зонда микроволновой анизотропии Уилкинсона (или спутника WMAP*), закрепила за космологией отдельное место за столом экспериментальной науки. До того как мы с вами подойдем к концу нашего космологического повествования, мы еще не раз вернемся к спутнику WMAP, в 2003 году представившему первые результаты своих исследований.

Космологи — ребята с большим самомнением, иначе им вряд ли хватило бы наглости вычислять, с чего когда-то началась сама Вселенная. Правда, для новой эры наблюдательной космологии, возможно, будет характерна более скромная и менее раскованная позиция. Каждое новое наблюдение, каждая новая крупица данных могут пойти на пользу или оказаться во вред имеющимся теориям. С другой стороны, наблюдения обеспечивают базовый фундамент космологии, который учеными

* Полное английское название — Wilkinson Microwave Anisotropy Probe. Зонд микроволновой анизотропии Уилкинсона был назван в честь крупнейшего астрофизика Дэвида Уилкинсона и запущен в 2001 году. Благодаря ему ученые смогли получить точную и детальную картину Вселенной, возраст которой не превышал 380 тысяч лет.

во многих других научных областях достается в разы проще, потому что им достаточно тех обширных результатов наблюдений, которые можно получить в лабораторных условиях. В то же время новые данные почти наверняка смогут развенчать некоторые небылицы, родившиеся когда-то за неимением возможности получить результаты наблюдений, позволивших бы их подтвердить или опровергнуть.

Нет такой науки, которая развивалась бы, не оперируя точными данными. И мы приветствуем космологию в рядах точных наук!



Глава 4

ДА БУДЕТ ТЬМА!

Наиболее распространенная из известных сил природы — гравитация — одновременно наиболее и наименее изученное нами явление. Нужно было родиться Исааком Ньютоном, самым выдающимся и влиятельным мыслителем тысячелетия, чтобы осознать, что это таинственное «действие на расстоянии» силы притяжения — прямое следствие естественных, заложенных природой свойств каждой крупинцы вещества и что силу притяжения между двумя объектами можно описать с помощью довольно простого алгебраического уравнения. Нужно было родиться Альбертом Эйнштейном, самым выдающимся и влиятельным мыслителем XX века, чтобы показать, что это «действие на расстоянии» можно определить еще более точно как искажение канвы пространства и времени, возможное при любом сочетании вещества и энергии. Эйнштейн продемонстрировал, что теория Ньютона требует ряда корректировок, чтобы максимально точно описывать гравитацию, например, когда речь идет об определении степени преломления лучей света, огибающих крупное препятствие. Хотя уравнения Альберта Эйнштейна более замысловаты, чем ньютоновские, в этом мире они действительно весьма удачно пристраивают знакомое и столь любимое нами вещество. То самое вещество, которое можно увидеть, потрогать, ощутить и иногда попробовать на вкус.

Когда родится преемник первых двух гениальных мыслителей, неизвестно, мы уже полвека с лишним ждем, чтобы кто-нибудь наконец рассказал нам, как же так выходит, что главным источником измеренной нами во Вселенной гравитации является субстанция, которой никто не видел, не щупал, не осязал и не пробовал на вкус. Может, излишек гравитации вообще никак не связан с каким-либо типом вещества, может, ее источником является что-то принципиально иное. Как бы то ни было, мы не имеем об «этом» ни малейшего понятия. Сегодня мы ничуть не ближе к разгадке, чем в 1933 году, когда проблема так называемой недостающей массы (или скрытой массы) была впервые озвучена астрономами, измерявшими скорость движения галактик, чья гравитация оказывала воздействие на ближайšie соседние галактики. Эта тема была подвергнута более глубокому анализу в 1937 году астрофизиком болгаро-швейцарско-американского происхождения Фрицем Цвикки. Он преподавал в Калифорнийском технологическом институте в США более 40 лет и был известен не только своими обширными познаниями о космосе, но и цветистой манерой выражать свои мысли и удивительной способностью настраивать против себя своих коллег.

Цвикки изучал перемещение галактик, принадлежащих к громадному галактическому кластеру, расположенному далеко за пределами местных звезд Млечного Пути и называемому Волосами Вероники (в честь древнеегипетской царицы). Этот кластер, он же скопление Кома, как называют его специалисты, представляет собой изолированный и «густонаселенный» ансамбль галактик примерно в 300 миллионах световых лет от Земли. Тысячи и тысячи галактик вращаются вокруг центра скопления, двигаясь в самых разных направлениях, словно пчелы вокруг улья. Используя движения нескольких десятков галактик в качестве маркеров гравитационного поля, охватывающего весь кластер целиком, Цвикки обнаружил, что они обладают потрясающе высокой средней скоростью. Так как большая сила притяжения соответствует большой скорости объектов под ее влиянием, Цвикки оставалось предположить, что масса скопления Комы гигантская. Если сложить

предполагаемые массы всех галактик, Кома окажется одним из крупнейших и самых массивных кластеров во Вселенной. При этом в кластере нет достаточного количества видимого вещества, чтобы объяснить наблюдаемую нами скорость движения входящих в него галактик. Вещества просто слишком мало.

Если вооружиться законом земного притяжения Ньютона и взять за основу предположение, что кластер не пребывает в состоянии расширения или коллапса, можно будет вычислить характерную среднюю скорость составляющих его галактик. Нужно только знать размер кластера и примерную величину его массы: масса, действующая на расстояниях, заданных размером кластера, определяет то, как быстро должны двигаться галактики, чтобы избежать «падения» в самый центр кластера или, наоборот, никогда не покинуть кластер в принципе.

Как показал Ньютон, подобный расчет способен помочь определить и скорость, с которой каждая из планет, удаленных от Солнца на конкретное расстояние, должна двигаться вокруг него. Никакого волшебства: полученные таким образом значения скорости полностью удовлетворяют тем гравитационным обстоятельствам, в которых существует каждая из планет. Если бы масса Солнца неожиданно увеличилась, Земле и другим планетам в Солнечной системе пришлось бы ускориться для того, чтобы удержаться на своих орбитах. Однако, если они разовьют слишком высокую скорость, силы притяжения Солнца будет недостаточно для того, чтобы сохранить эти небесные тела на их орбитах. Если бы мы увеличили орбитальную скорость* Земли, умножив ее на значение квадратного корня из двух или более, наша планета достигла бы так называемой второй космической скорости (скорости преодоления силы земного притяжения, а также скорости покидания) и покинула бы Солнечную систему. Эту же логику мышления можно применить и к более крупным объектам, таким как наша собственная галактика Млечный Путь, где звезды вращаются по орбитам в соответствии с гравитацией остальных окружающих их звезд, или таким,

* Скорость вращения Земли вокруг Солнца.

как галактические кластеры, в которых каждая отдельная галактика тоже ощущает на себе гравитацию своих соседок. Как написал когда-то Эйнштейн в честь Исаака Ньютона (на немецком звучит в разы лучше, чем на английском, хотя переводил эти строки сам Дональд Гольдсмит):

*Look unto the stars to teach us
How the master's thoughts can reach us
Each one follows Newton's math
Silently along its path*.*

Изучая скопление Кома, как и Цвикки в 1930-е годы, мы видим, что все входящие в его состав галактики движутся со скоростью, превышающей скорость, необходимую для покидания этого кластера. Это при условии, что мы определяем данную скорость на основании общей арифметической суммы масс всех галактик, которую, в свою очередь, мы можем определить, исходя из их яркости. Получается, что кластер должен был бы разлететься во все стороны, оставив едва различимые следы своего существования за какие-то несколько сотен миллионов, в крайнем случае за миллиард лет. Однако возраст этого кластера насчитывает более 10 миллиардов лет — он почти такой же древний, как и сама Вселенная. Так родилась та самая астрономическая загадка, которую мы не в силах разгадать и по сей день.

На протяжении десятилетий после оглашения результатов исследований Цвикки все новые и новые кластеры галактик обнаруживали те же загадочные свойства. Значит, скопление Кома не обвинишь в том, что оно — белая ворона космических масштабов. Кого же нам винить? Ньютона? Но его теории исправно проходили одну практическую проверку за другой в течение последних 250 лет. Эйнштейна? Нет. Удивительная гравитация галактических кластеров не настолько высока,

* На звезды глядя, проще нам понять
Мысли учителя — и разумом впитать.
Ведь каждая из них — дитя Ньютона —
Верна его математическим законам. (Пер. М. Герман.)

чтобы со всей силы опустить на нее молот общей теории относительности Эйнштейна, которой и было-то всего 20 лет отроду, когда Цвикки проводил свои исследования. Возможно, «недостающая масса», помогающая удерживать скопление Кома вместе, действительно существует, но в какой-то неизвестной и невидимой нам форме. В течение некоторого времени астрономы предпочитали термин «недостающий свет», так как именно его нам не хватает для того, чтобы увидеть эту предположительно существующую массу, скрытую в каких-то космических сумерках и выдающую себя лишь по измеряемой гравитации. Сегодня же астрономы окончательно определились с выбором термина: они называют такую массу «темной материей», хотя название «темная гравитация» было бы еще более точным.

Вопрос темной материи был поднят и во второй раз. В 1976 году американский астрофизик Вашингтонского института Карнеги Вера Рубин обнаружила аналогичную аномалию «недостающей массы» внутри отдельных спиральных галактик. Изучая скорость, с которой звезды вращаются вокруг центра своих галактик, Рубин сначала увидела ровно то, что и ожидала: в рамках видимого диска каждой галактики скорость вращения звезд тем выше, чем они дальше от центра этой галактики. Между центром и наиболее удаленной от него звездой помещается больше вещества (другие звезды и газ), из-за чего такой далекой звезде нужно вращаться с большей скоростью, чтобы удержаться на своей орбите. Однако за пределами сияющего галактического диска мы все еще можем обнаружить отдельные газовые облака и несколько ярких звезд. Рубин использовала данные объекты в качестве маркеров гравитационного поля «за пределами» галактики, где видимое нами вещество больше не участвует в поддержании внутренней гравитации. Она обнаружила, что орбитальные скорости таких отдельных объектов, которые должны были снижаться с увеличением расстояния до самой галактики — там, в космическом захолустье, — тем не менее, оставались высокими.

Эти в основном «пустые» объемы пространства — этикие провинциальные регионы каждой галактики — содержат слишком мало

видимого вещества для того, чтобы обосновать высокие орбитальные скорости объектов-маркеров. Рубин рационально (и верно) предположила, что темная материя в той или иной форме должна располагаться именно в этих удаленных регионах, далеко за пределом видимости каждой спиральной галактики. И в самом деле, темная материя формирует собой что-то вроде нимба вокруг галактической массы.

Такой же темный нимб (астрофизики называют его гало) есть и в нашей родной галактике Млечный Путь. От одной галактики к другой, от кластера к кластеру несоответствие между массой видимых объектов и общей массой системы составляет от двух- или трехкратной величины видимой массы и вплоть до разницы в сотни раз. Среднее значение данного фактора-множителя по всей Вселенной составляет около шести. То есть масса невидимой темной материи составляет примерно в шесть раз больше, чем масса всего видимого вещества.

За последние 25 лет исследования показали, что бóльшая часть темной материи не может просто состоять из обычного вещества, которое по некой причине не излучает свет. Данное заключение базируется на двух основных аргументах. Во-первых, мы, как профессиональные сыщики, можем исключить почти со стопроцентной уверенностью почти всех гипотетических подозреваемых. Может ли темная материя прятаться в черных дырах? Нет, иначе мы бы уже давно обнаружили это несметное количество черных дыр в нашей галактике по тому гравитационному влиянию, которое они оказывали бы на близлежащие звезды. Может, дело в темных облаках? Нет, они бы поглощали или любым другим образом взаимодействовали со светом, излучаемым расположенными за ними звездами, а настоящая темная материя так себя не ведет. Может, виной всему межзвездные (и даже межгалактические) планеты, астероиды и кометы, которые не производят своего собственного света? С трудом верится, что Вселенная могла бы наковать в шесть раз больше планет с точки зрения массы, чем звезд. Ведь тогда у нас было бы по шесть тысяч Юпитеров на каждую звезду в галактике или (что еще невероятнее) по два миллиона планет Земля на каждую звезду.

В нашей собственной Солнечной системе, например, все, что не есть Солнце, составляет смехотворные 0,2 % от его массы.

Итак, лучшее, что мы можем предположить, — это то, что темная материя никак не обычное вещество, которое просто почему-то «темное». Выходит, это нечто совершенно иное. Темная материя создает гравитацию согласно тем же правилам, что и обычное вещество, но, помимо этого, больше ничего особо и не делает, ограничивая наши возможности по ее обнаружению. В итоге мы зависли в своем анализе из-за того, что не знаем точно, что же представляет собой темная материя. Трудности в обнаружении темной материи тесно связаны с трудностями определения, что же это такое. Отсюда возникает вопрос: если все вещество обладает массой, а вся масса обладает силой тяготения — значит ли это, что вся сила тяготения обладает веществом? Ответа мы пока не знаем. Сам термин «темная материя» заключает в себе предположение о том, что существует альтернативный тип вещества, которое создает гравитационный эффект, но оно до сих пор нам непонятно. Есть вероятность, что мы не понимаем именно суть самой гравитации, а не суть вещества.

Чтобы исследовать темную материю, не касаясь ее сути, астрофизики стремятся найти в космосе ее скопления. Например, если бы темная материя существовала только на внешнем периметре или в дальних уголках галактических кластеров, тогда скорость галактик не шла бы вразрез с присутствием темной материи, ведь скорость галактик и их траектории зависят только от источников гравитации, расположенных внутри их орбит. Если бы темная материя занимала собой только центральные регионы кластеров, тогда значения скорости галактик, измеренные от центра кластера в направлении его краев, были бы привязаны только к обычному веществу. Однако динамика движения в галактических кластерах демонстрирует нам, что темная материя наполняет собой весь объем вращающихся вокруг центра кластера галактик. По сути, месторасположение обычного вещества и темной материи приблизительно совпадают. Несколько лет назад команда исследователей во главе с американским астрофизиком Дж. Энтони Тай-

соном, работавшим тогда в компании Bell Labs и сегодня являющимся сотрудником Калифорнийского университета в Дэвисе (один из нас зовет его «кузеном Тони», хотя он никак не приходится нам родственником), получил первую подробную карту распределения гравитации, источником которой является темная материя, внутри одного огромного галактического кластера и за его пределами. При изучении больших галактик мы также обнаруживаем внутри соответствующего кластера более высокую концентрацию темной материи. Справедливо и обратное: регионы, в которых видимых галактик нет, демонстрируют и недостаток темной материи.

Несоответствие между массой темной материи и обычного вещества сильно разнится от одной астрофизической среды к другой, но в целом становится тем выше, чем крупнее объект — галактика или целый кластер. У маленьких объектов — лун и планет — такого несоответствия не наблюдается. Например, сила тяготения Земли полностью объясняется и описывается тем, что находится у нас под ногами. Так что, если вы на Земле слишком много весите, не надо обвинять в этом темную материю. Темная материя также никоим образом не влияет на орбиту, описываемую Луной вокруг Земли, не влияет она и на движение планет вокруг Солнца. Но без нее не обойтись, когда мы анализируем движение звезд вокруг центра галактики.

Возможно ли, что в галактических масштабах действует принципиально иная физика тяготения? Вряд ли. Гораздо более вероятной кажется идея, что темная материя состоит из вещества, природу которого нам еще только предстоит разгадать; из вещества, которое скапливается в одном месте гораздо менее охотно, чем это делает обычное вещество. В противном случае мы обнаружили бы себя в ситуации, когда на каждые шесть частей темной материи приходилась бы одна часть обычного вещества. Насколько мы можем судить сегодня, это совсем не так.

Рискуя вызвать всеобщую депрессию, астрофизики иногда предполагают, что все то вещество, которое мы знаем и любим уже столько лет, — все эти звезды, планеты и «жизнь», — представляет собой

лишь одинокие поплавки в огромном космическом океане чего-то, что выглядит как «ничто».

Что если эта мысль лишена смысла? Когда долгое время ничего не получается, некоторые ученые начинают (и их нельзя винить в этом) ставить под сомнение даже фундаментальные законы физики, лежащие в основе всех наших предположений об устройстве Вселенной.

В начале 1980-х годов израильский физик Мордехай Милгром из Научно-исследовательского института им. Вайцмана в израильском городе Реховоте предложил корректировку ньютоновской теории гравитации: его теория известна как модифицированная ньютоновская динамика, сокращенно — МОНД*. Принимая сам факт, что стандартная ньютоновская динамика успешно выполняется в «более мелких» масштабах, то есть не галактических, Милгром предположил, что Ньютону необходима помощь в описании эффектов гравитации на расстояниях, существенно более значительных — в масштабах галактик и галактических кластеров, внутри которых отдельные звезды и звездные скопления находятся так далеко друг от друга, что почти не оказывают друг на друга гравитационного воздействия. Милгром добавил к формуле Ньютона дополнительный параметр, предназначенный именно для того, чтобы приводить в равновесие всю гравитационную систему в астрономически огромных масштабах. Хотя МОНД была создана в качестве вычислительного инструмента, Милгром не исключал возможности, что она станет теоретическим объяснением нового природного явления.

Успех МОНД был весьма ограничен. Эта теория учитывает движение изолированных объектов на дальних перифериях многих спиральных галактик, но вызывает больше вопросов, чем дает ответов. МОНД не способна достоверно предсказать динамику более сложных конфигураций, таких как движение галактик в бинарных и множественных системах. Более того, подробная карта реликтового излучения, полученная благодаря зонду WMAP в 2003 году, позволила ученым отдель-

* Англ. MOND (MOdified Newtonian Dynamics).

но измерить влияние темной материи на раннюю Вселенную. Полученные результаты соответствуют модели эйнштейновской стабильной Вселенной, опирающейся на традиционные теории о гравитации, поэтому количество почитателей МОНД существенно упало.

В первые полмиллиона лет после Большого взрыва — а это одно краткое мгновение для 14-миллиардной истории космоса — вещество уже понемногу собиралось в сгустки, которым позднее предстояло сформировать собой кластеры и суперкластеры галактик. Но все это время Вселенная продолжала расширяться, и в следующие полмиллиона лет ей суждено было двукратно увеличиться в размерах. Итак, у нас есть Вселенная, пребывающая во власти двух противоположающихся воздействий: гравитация тянет отдельные части вещества друг к другу, а расширение стремится растащить их друг от друга подальше. Посчитав, вы быстро поймете, что гравитационной силы обычного вещества не хватило бы на то, чтобы победить в этой схватке. Здесь требовалась помощь темной материи, без которой мы бы с вами жили — точнее, не жили — во Вселенной без какой-либо структуры: ни кластеров, ни галактик, ни планет, ни людей. Так сколько же дополнительной гравитации пришлось «дополучить» у темной материи? Ответ вы уже знаете: в среднем в шесть раз больше, чем могло предоставить обычное вещество само по себе. Данный анализ не оставляет места для скромных корректировок законов Ньютона от МОНД. Анализ не дает нам понять, что представляет собой темная материя, но утверждает, что ее влияние реально и, как бы вам не хотелось считать иначе, обычному веществу в одиночку столько гравитации не создать.

Темная материя играет еще одну ключевую роль во Вселенной. Чтобы оценить по достоинству все ее заслуги, давайте вернемся назад в прошлое, когда с момента Большого взрыва прошла всего пара минут и Вселенная была столь обжигающе горячей и плотной, что ядра водорода (протоны) могли в процессе синтеза сплавляться друг с другом. В этом плавильном котле новорожденного космоса водород превратился в гелий, попутно создав также некоторое количество лития и еще

меньше дейтерия, который представляет собой более тяжелую версию ядра водорода с нейтроном в довесок к протону. Этот состав атомных ядер — еще один космический отпечаток Большого взрыва, некая ценная реликвия, которая позволяет нам восстановить события, происходившие во Вселенной нескольких минут от роду. В создании этого отпечатка первоосновную роль сыграло сильное ядерное взаимодействие — та сила, что объединяет протоны и нейтроны внутри ядра, но никак не гравитация: она слишком слаба для этого. Ее влияние становится актуальным лишь тогда, когда частицы скапливаются вместе в огромных количествах.

К тому времени как температура Вселенной упала ниже определенного значения, термоядерный синтез произвел по одному гелиевому ядру на каждые десять водородных. Вселенная также успела превратить примерно одну тысячную долю всего своего вещества в ядра лития и около двух сотых долей вещества — в дейтерий. Представим, что темная материя не состоит из какой-то невзаимодействующей с окружением субстанции, но сделана из обычного, правда, темного вещества (а значит, вещества, допускающего обычный синтез). Учитывая, что в ранней Вселенной было в шесть раз больше темной материи, чем обычного вещества, на каждую единицу объема, ее наличие должно было бы существенно увеличить скорость синтеза водорода. В результате мы получили бы заметный переизбыток гелия — в сравнении с наблюдаемым нами количеством, — и родилась бы Вселенная, совсем непохожая на наш с вами космический дом.

Ядра гелия довольно просто получить в лабораторных условиях, а вот соединить их с ядрами других элементов очень трудно. Так как звезды продолжали производить гелий, синтезируя водород, кипящий в их недрах, и одновременно с этим понемногу разрушали литий в процессе еще более замысловатого термоядерного синтеза, мы вправе ожидать, что те области Вселенной, где мы находим меньше всего гелия, должны на самом деле содержать его ничуть не меньше, чем образовалось во Вселенной в первые несколько минут. Конечно, те галактики, чьи звезды пока еще переварили лишь минимум своего вещества, дей-

ствительно на одну десятую состоят из атомов гелия — собственно, именно такие пропорции мы и получаем из привычной нам картинки Большого взрыва (при условии, что темная материя, уже тогда существовавшая во Вселенной, не принимала никакого участия в термоядерном синтезе, из которого возникли атомные ядра).

Однако астрофизики начинают испытывать неловкость, когда им приходится основывать свои расчеты на концепциях, которых они не понимают, — хотя это и не первый раз, когда им приходилось так поступать. Например, астрофизики измерили энергию Солнца задолго до того, как стало известно, что за это отвечает термоядерный синтез. Тогда, в XIX веке, до рождения квантовой механики и обнаружения целого ряда полезных и важных закономерностей в поведении вещества в самом малом масштабе, концепции термоядерного синтеза не существовало в принципе.

Неутомимые скептики могут, конечно, сравнить сегодняшнюю теорию о темной материи с гипотетическим и теперь уже вышедшим из моды «эфиром», который несколько веков назад считался невесомым прозрачным посредником, позволявшим свету перемещаться в пространстве. Долгие годы, вплоть до знаменитого эксперимента 1887 года, который провели в Кливленде Альберт Михельсон и Эдвард Морли, физики считали, что эфир существует, хотя у них не было ни малейшего вещественного доказательства в поддержку этой гипотезы. Волна по природе своей — свет якобы не мог обойтись без посредника, что помогал бы ему перемещаться — примерно так звуковые волны передвигаются по воздуху. Оказалось, что свет способен путешествовать и сквозь вакуум, прекрасно обходясь без дополнительных средств передвижения: в отличие от звуковых волн, состоящих из колебаний воздуха, световые волны распространяются сами.

Однако возможное невежество в вопросах темной материи фундаментально отличается от незрелых теорий об эфире. Если эфир в свое время всего лишь заполнял пробелы в неполном понимании сути вещей, то идея существования темной материи взята не из воздуха — она основана на очевидных для нас эффектах ее гравитации на видимое

вещество. Темная материя не высосана из пальца, ее наличие доказано фактами, полученными с помощью наблюдений. Темная материя не менее реальна, чем сотня с лишним планет, обнаруженных на орбитах других звезд, помимо Солнца, — и почти все они были открыты исключительно за счет своего гравитационного воздействия на «свои» звезды. В худшем случае физики (или другие не менее умные люди) обнаружат, что темная материя не состоит из материи вовсе, а представляет собой что-то совсем иное, просто игнорировать ее категорически нельзя. Может ли темная материя оказаться проявлением каких-то сил или взаимодействий из другого измерения? Может ли быть так, что наша Вселенная пересекается с параллельной? В обоих случаях успешное и неотъемлемое участие гравитационного воздействия темной материи в уравнениях, которые помогают нам понять процесс формирования и развития Вселенной, останется неизменным.

Другие столь же неутомимые скептики могут заявить, что «лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». Что ж, этот подход прекрасно работает во многих сферах нашей жизни — начиная с инженерного дела и рыбалки и заканчивая, пожалуй, романтическими знакомствами. Судя по всему, жителей штата Миссури такой подход тоже вполне устраивает. Однако наука занимается не только разглядыванием. Наука измеряет — и *не просто* чьими-то глазами, которые воспринимают окружение в неразрывной связи со всем, что уже хранится в мозгу: заранее сформированными идеями, приобретенным убеждениями, воображением, не скорректированным отсылкой к дополнительным данным, и необъективностью.

Не давая обнаружить себя непосредственно на Земле на протяжении трех четвертей века, темная материя превратилась во что-то вроде теста Роршаха для исследователей нашего мироздания. Некоторые физики, изучающие частицы, утверждают, что темная материя должна состоять из какого-то призрачного класса еще не открытых нами частиц, которые взаимодействуют с веществом посредством гравитации, но во всех остальных «областях» взаимодействуют с веществом или светом очень слабо или никак. Да, это звучит неожиданно, но прецедент

у такого предположения есть. Те же нейтрино: они существуют, хотя их взаимодействие с обычным светом и веществом минимально. Нейтрино, что летят к нам с Солнца — по два нейтрино на каждое ядро гелия прямо из сердца звезды, — движутся в космическом вакууме практически со скоростью света, но затем проходят сквозь Землю и мимо нее так, словно мы пустое место. Немного занимательной математики: денно и ночью 100 миллиардов нейтрино с Солнца каждую секунду проникают в каждый квадратный дюйм* вашего тела и покидают его без вашего на то ведома или разрешения.

Нейтрино можно остановить. Довольно редко они «замечают» вещество за счет слабого ядерного взаимодействия. Если частицу можно остановить, значит, ее можно обнаружить. Сравните «скользкое» поведение нейтрино с неуловимостью Человека-невидимки (в тот момент, когда он, собственно, невидим): этот образный пример для темной материи. Человек-невидимка мог проходить сквозь стены и двери, словно их там и не было, но почему же он тогда не проваливался сквозь пол вниз до самого подвала дома?

Если мы построим достаточно чувствительные детекторы, может быть, частицы темной материи и будут пойманы врасплох за каким-то известным нам типом взаимодействия с окружением. Возможно и то, что они обнаружат свое присутствие с помощью какого-либо нового вида взаимодействия (ни сильного ядерного, ни слабого ядерного, ни электромагнитного). Эти три силы (плюс гравитация) управляют всеми возможными типами взаимодействия между всеми известными нам видами частиц. Так что вариантов немного: либо частицам темной материи придется дожидаться того, что мы их обнаружим и откроем для себя новый тип взаимодействия (или даже целый класс типов), благодаря которому частицы темной материи вступают в контакт друг с другом, либо выясним, что частицы темной материи все же взаимодействуют с окружением посредством знакомых нам сил, но делают это невероятно слабо.

* 1 кв. дюйм = 6,4516 кв. см.

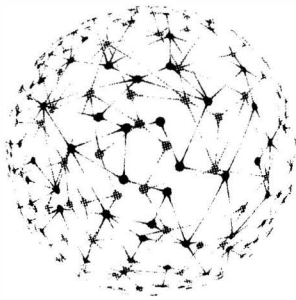
Если предложить теоретикам — приверженцам МОНД тест Роршаха, они не увидят в нем ничего экзотического. Они скажут, что новая трактовка нужна самой гравитации, а не частицам как таковым. Вот они и обрадовались в свое время появлению модифицированной ньютоновской динамики в смелой попытке что-то кому-то доказать. Кажется, эта попытка провалилась, но тем не менее она является предшественницей многих последующих попыток изменить наше видение гравитации, а не понимание элементарных частиц.

Есть физики, которые придерживаются так называемой теории великого объединения. Согласно одной из ее версий, наша Вселенная расположена в непосредственной близости с параллельной Вселенной, общаться с которой у нас получается только за счет силы тяготения. В жизни вы никогда не наткнетесь ни на что из той параллельной Вселенной, но вы можете почувствовать, как она немного тянет вас куда-то, когда входит в пространственное измерение нашей Вселенной. Представьте себе, что до еще одной Вселенной-призрака буквально рукой подать, но вы не видите ее, только знаете о существовании благодаря гравитационному воздействию. Звучит экзотично и малоубедительно, но, возможно, ничуть не в большей степени, чем первые заявления о том, что именно Земля вращается вокруг Солнца или что мы во Вселенной не одиноки.

Воздействие темной материи игнорировать невозможно. Просто мы не знаем, что она собой представляет. Она вроде бы не демонстрирует сильного ядерного взаимодействия, а значит, не может создавать атомные ядра. Не похоже, чтобы она увлекалась слабым ядерным взаимодействием — хотя даже непостоянные нейтрино на это способны. Электромагнитного взаимодействия мы тоже не наблюдаем, а это значит, что темная материя не производит молекул, не поглощает, не излучает, не отражает и не рассеивает свет. А вот гравитационным эффектом она обладает, и обычное вещество на него отзывается. И все. За все годы исследований астрофизикам так и не удалось обнаружить какой-либо еще тип взаимодействия темной материи с окружающим миром.

Подробные карты реликтового излучения показывают, что темная материя существовала и в первые 380 тысяч лет жизни Вселенной. Без темной материи мы и сегодня никуда — она нужна в каждой галактике, включая нашу, чтобы объяснить движение ее объектов. Но, насколько мы можем судить, славный марш астрофизики пока еще не сбит с курса и не заведен в тупик нашим невежеством. Темная материя просто шагает в ногу с нами, как странный навязчивый приятель, и мы вспоминаем о ней каждый раз, когда во Вселенной необходимо ее участие.

Мы надеемся, что в не столь далеком будущем веселье продолжится и мы научимся использовать темную материю в своих целях. Это произойдет, как только мы определимся с тем, что же она собой представляет. Только вообразите: невидимые игрушки; машины, которые проезжают сквозь друг друга, не попадая в аварии; или самолеты-невидимки «Стелс» нового поколения. История неясных и даже на первый взгляд бессмысленных открытий в науке пестрит именами личностей, которые оказывались тут как тут после громких открытий и умудрялись сразу понять, как наилучшим образом конвертировать эти новые знания в свою собственную экономическую выгоду или же поставить на служение всей планете.



Глава 5

ДА БУДЕТ БОЛЬШЕ ТЬМЫ!

Мы с вами уже знаем, что у Вселенной есть две стороны: светлая и темная. На светлой стороне — все привычные и знакомые нам небесные тела: звезды, которые скапливаются миллиардами и образуют собой галактики, планеты и разнообразный космический мусор, который, хоть и не всегда излучает видимый свет, все же является источником других форм электромагнитного излучения, например инфракрасных или радиоволн.

Еще мы знаем, что на темной стороне Вселенной царит загадочная темная материя, обнаружить которую можно только за счет ее гравитационного воздействия на видимое вещество, но ни ее форма, ни состав нам совершенно неизвестны. Ограниченное количество этой темной материи может представлять собой обычное вещество, невидимое для нас потому, что у него отсутствует сколько-нибудь обнаружимое излучение. Но, как уже стало ясно из предыдущей главы, преобладающая масса темной материи должна состоять из чего-то необычного — такого, чью природу мы никак не постигнем, за исключением установленного гравитационного воздействия этого «чего-то» на видимое вещество.

Помимо всего, что связано с темной материей, на темной стороне Вселенной есть еще кое-что, интересное принципиально по другой

причине. Данный интерес затрагивает не вещество как таковое, а само пространство Вселенной. Этой концепцией, а также теми замечательными выводами, к которым она подвела научный мир, мы обязаны отцу современной космологии (снимаем шляпы) Альберту Эйнштейну.

Девяносто лет назад усовершенствованные пулеметы Первой мировой войны косили солдат тысячами, а в это время в нескольких сотнях миль к западу Альберт Эйнштейн сидел в своем берлинском офисе и размышлял об устройстве Вселенной. В самом начале войны Эйнштейн и его коллега распространили антивоенную петицию в своих кругах общения, им удалось собрать в общей сложности четыре подписи — помимо них самих, под петицией свои имена поставили лишь еще два человека. Этот поступок выделил самого Альберта Эйнштейна на фоне других ученых и, среди прочего, погубил карьеру его коллеги: тогда многие предпочитали подписывать совсем другие бумаги, обязуясь во всем поддерживать Германию. Но увлекающаяся и страстная натура Эйнштейна и его научная слава позволили ему сохранить уважение и даже некоторое преклонение своих сверстников. Он продолжил работать над поиском таких уравнений, которые помогли бы ему точно описать нашу Вселенную.

Не успела окончиться война, а Эйнштейн уже добился успеха, вполне возможно, самого значительного в своей карьере. В ноябре 1915 года он сформулировал общую теорию относительности, которая описывает взаимодействие пространства и вещества: вещество задает кривизну пространства, а пространство задает направление движению вещества. Чтобы дать объяснение загадочному «действию на расстоянии» Исаака Ньютона, Эйнштейн решил рассматривать гравитацию как локальное искажение в канве пространства. Например, Солнце создает что-то вроде ямки — углубления, и чем ближе к Солнцу, тем заметнее деформируется вокруг него пространство. Планеты «закатываются» в это углубление, но за счет своих инерционных свойств не могут закатиться в него насовсем. Вместо этого они движутся вокруг Солнца по своим орбитам на более или менее постоянном расстоянии от образовавшегося вокруг него углубления в пространстве. Через несколько

недель после того, как Эйнштейн опубликовал свою теорию, физик Карл Шварцшильд, стремясь отвлечься от ужасов службы в рядах немецкой армии (из-за которой его в ближайшем будущем ждала неизлечимая болезнь), воспользовался теорией Эйнштейна для того, чтобы показать следующее: объект, обладающий достаточно большой силой тяжести, создает в пространстве «сингулярность». В этой точке пространство полностью обертывается вокруг объекта, не позволяя ничему, включая свет, покидать его ближайшие окрестности. Сегодня мы называем такие объекты черными дырами.

Общая теория относительности Эйнштейна привела его к той самой ключевой формуле, которую он искал, той, что помогает связать содержимое пространства с его поведением. Изучая эту формулу наедине с самим собой в кабинете и мысленно создавая одну модель Вселенной за другой, Эйнштейн оказался на пороге открытия расширяющейся Вселенной — на десяток с лишним лет раньше, чем ее обнаружил в своих исследованиях Эдвард Хаббл.

Базовое уравнение Эйнштейна подразумевает, что во Вселенной, в которой вещество распределено более или менее равномерно, пространство не может быть «статическим». Космос не может просто «лежать себе», как нам подсказывает наша интуиция да и все имеющиеся на тот момент результаты астрономических наблюдений. Нет, все пространство вокруг нас должно постоянно пребывать в состоянии либо расширения, либо сокращения: пространство должно вести себя как надувающийся или сдувающийся воздушный шарик, но не как шарик, надутый раз и навсегда до определенного размера.

Это беспокоило Эйнштейна. В кои-то веки этот смелый теоретик, не испытывавший доверия к авторитетам и никогда не боявшийся бросить вызов идеям традиционной физики, почувствовал, что зашел слишком далеко. Ни одно астрономическое наблюдение не предполагало расширяющейся модели Вселенной, потому что на тот момент астрономы располагали лишь информацией о движении ближайших к нам звезд и еще не могли определить расстояния до тех объектов, которые

сегодня мы называем галактиками. Вместо того чтобы объявить всему миру, что Вселенная должна либо расширяться, либо сокращаться в объеме, Эйнштейн вновь засел за свое уравнение в поисках способа придать космосу статичность.

Вскоре он его нашел. Базовое уравнение Эйнштейна допускало присутствие члена с постоянным, но неизвестным значением, который отражал количество энергии, содержащейся в каждом кубическом сантиметре пустого пространства. Так как ничто не указывало на то, что этой постоянной величине следовало приписать то или иное значение, Эйнштейн изначально приравнял ее к нулю. Теперь же Эйнштейн опубликовал научную статью, в которой показывал: если бы у этой постоянной величины, которую ученые позднее назовут космологической постоянной, было определенное значение, тогда статическое пространство — в нашем случае не какое-нибудь, а космическое — возможно. Таким образом, противоречие теории Эйнштейна имеющимся на тот момент представлениям о Вселенной было исчерпано и уравнение можно было считать верным.

Однако предложенное Эйнштейном решение столкнулось с серьезными трудностями. В 1922 году российский математик Александр Фридман доказал, что статическая Вселенная Эйнштейна нестабильна, словно карандаш, стоящий на грифельном острие. Малейшее изменение — и пространство тут же начнет расширяться или сокращаться. Сначала Эйнштейн отверг написанное Фридманом, но позднее признал ошибочность своей оценки и опубликовал новую статью, отзывая критику и объявляя теорию Фридмана верной. В конце 1920-х годов Эйнштейн пришел в полный восторг, узнав об открытии Хабблом расширяющейся Вселенной. Как вспоминает Георгий Гамов, Эйнштейн назвал тогда космологическую постоянную своей грубейшей ошибкой. За исключением нескольких космологов, которые продолжали придерживаться ненулевого значения космологической постоянной (при этом отличного от того, что когда-то предлагал сам Эйнштейн) в попытках объяснить свои некоторые загадочные наблюдения. Большинство из

них затем оказались неверными, ученые всего мира вздохнули с облегчением: оказывается, космическое пространство прекрасно обходится без этой самой постоянной.

Точнее, это они так думали. Главная и самая увлекательная космологическая история конца XX века — тот сюрприз, что схватил всех космологов мира за одно ухо, как непослушных мальчишек, и пропел им новую мелодию в другое, — заключается в удивительной находке. В 1998 году было объявлено, что для Вселенной действительно характерна ненулевая космологическая постоянная. В пустом пространстве действительно есть энергия, называемая темной энергией, и ее крайне необычные свойства и есть то самое, от чего зависит будущее всей Вселенной.

Чтобы принять на веру такие серьезные утверждения, мы должны проследить за ключевыми этапами мышления космологов, которые пришлось на следующие 70 лет после открытия Хабблом расширяющейся Вселенной. Фундаментальное уравнение Эйнштейна допускает возможность того, что пространство обладает кривизной, которой математически можно придать положительное, нулевое или отрицательное значение. Нулевая кривизна характерна для «плоского пространства», того самого, которое нашему разуму кажется единственно возможным положением вещей. Это пространство бесконечно простирается во все стороны, словно поверхность школьной доски, у которой нет ни конца, ни края. Пространство с положительной кривизной — это аналог поверхности шара: двухмерное пространство, искривление которого можно обнаружить только при использовании третьего измерения. Обратите внимание: центр такого шара — точка, не меняющая своего расположения независимо от расширения или сокращения двухмерной поверхности, — находится в третьем измерении. Ее не найти на самой поверхности, которая в данном раскладе представляет собой все мировое пространство.

Все поверхности с положительной кривизной обладают не только некой конкретной ограниченной площадью, но и ограниченным объемом. Для положительно искривленного космоса характерна следу-

ющая особенность: если вы покинете Землю и отправитесь в путешествие, на которое отведено очень и очень много времени, вы рано или поздно вернетесь в пункт отправления, как Магеллан, путешествующий вокруг света. В отличие от сферических поверхностей с положительной кривизной, отрицательно искривленные пространства простираются бесконечно, хоть и не являются плоскими. Двухмерная поверхность с отрицательной кривизной напоминает собой бесконечное конное седло: в одном направлении оно загибается «вверх» (сзади наперед), а в другом — «вниз» (справа налево).

Если космологическая постоянная равна нулю, нам хватит всего двух чисел для того, чтобы описать общие свойства Вселенной. Одно такое число — постоянная Хаббла — измеряет скорость, с которой Вселенная расширяется в данный момент; другое отражает кривизну пространства. Во второй половине XX века почти все космологи верили в то, что космологическая постоянная равна нулю, и считали своей приоритетной задачей изучение скорости расширения и кривизны космического пространства.

Оба значения можно найти с помощью точного измерения скоростей, с которыми объекты, расположенные от нас на разных расстояниях, удаляются еще дальше. Связь между расстоянием и этой скоростью — то, как быстро скорость удаления от нас галактик растет с увеличением расстояния до них, — позволяет получить значение постоянной Хаббла, а незначительные отклонения от общей тенденции, которые можно обнаружить только при изучении наиболее удаленных от нас объектов, помогают определить кривизну пространства. Когда астрономы наблюдают за объектами в миллиардах световых лет от Млечного Пути, они смотрят в столь далекое прошлое, что видят Вселенную не такой, какая она сейчас, но такой, какой она была спустя гораздо меньшее время с момента Большого взрыва. Наблюдения за галактиками в пяти и более миллиардах световых лет от Млечного Пути позволяют космологам восстановить картину огромной части истории расширяющейся Вселенной, в том числе стать свидетелями того, как менялась скорость расширения со временем, что и есть ключ

к определению типа и значения кривизны пространства. Этот инструмент действителен хотя бы потому, что степень искривления пространства провоцирует малозаметные изменения в скорости, с которой Вселенная расширялась на протяжении последних нескольких миллиардов лет.

На практике астрофизики пока не могли реализовать эту заманчивую программу: у них не было возможности с достаточной точностью назвать приблизительные расстояния до галактических кластеров в миллиардах световых лет от Земли. Правда, у них оставался один козырь: если бы им удалось измерить среднюю плотность всего вещества во Вселенной — среднее количество граммов вещества на один кубический сантиметр пространства, — они могли бы сравнить полученное число с «критической плотностью», значение которой было предсказано в описывающих расширяющуюся Вселенную уравнениях Эйнштейна. Критическая плотность определяет точную плотность вещества, соответствующую Вселенной с нулевой кривизной пространства. Если фактическая плотность оказывается выше этого значения — перед нами Вселенная с положительной кривизной. В таком случае (и при нулевой космологической постоянной) Вселенная в какой-то момент прекратит расширяться и начнет сокращаться. Если же фактическая плотность равняется критической или оказывается ниже ее значения, тогда Вселенная будет расширяться бесконечно. Полноценное равенство фактического и критического значения плотности возможно в космосе с нулевой кривизной, а во Вселенной с отрицательным искривлением фактическая плотность меньше критической.

К середине 1990-х годов космологи поняли, что, даже если учесть в расчетах всю темную материю, к тому моменту уже обнаруженную по ее гравитационному воздействию на обычное видимое вещество, суммарная плотность вещества в нашей Вселенной едва достигнет и четверти значения критической плотности. Результат не то что бы удивительный — он всего лишь подразумевает, что Вселенная никогда не перестанет расширяться и мы живем в космическом пространстве

с отрицательной кривизной. Но это, безусловно, огорчило тех, кто уже привык считать, что кривизна пространства равна нулю.

Данное убеждение было основано на так называемой инфляционной модели Вселенной, которая получила свое название в эпоху стремительно растущего индекса потребительских цен* (да, неизобретательно). В 1979 году Алан Гут, физик из Стэнфордского центра линейного ускорителя, что в Калифорнии, выдвинул гипотезу о том, что в первые мгновения своего существования Вселенная расширилась с невероятной скоростью — столь высокой, что отдельные частички вещества разлетелись прочь друг от друга со скоростью, существенно превышающей скорость света. Но разве, согласно специальной теории относительности Эйнштейна, скорость света не является максимально возможной для любого вида движения? Не совсем. Эйнштейновское ограничение применимо только к объектам, движущимся в пространстве, но не к расширению пространства как таковому. В эпоху инфляции, которая продолжалась с 10^{-37} до 10^{-34} секунды после Большого взрыва, Вселенная увеличилась примерно в 10^{50} раз.

Что же вызвало столь невообразимое расширение космоса? Гут предположил, что все космическое пространство, вероятно, прошло сквозь некое «фазовое превращение»: что-то вроде того, что происходит с водой, когда она очень быстро превращается в лед. После ряда существенных корректировок и дополнений от коллег Гута из Советского Союза, Объединенного Королевства и Соединенных Штатов идея ученого показалась столь заманчивой, что возглавила список теорий о зарождении Вселенной и оставалась на его первой строке в течение 20 лет.

Так почему же инфляция кажется столь заманчивой? Дело в том, что эпоха инфляции объясняет тот факт, что Вселенная со всеми ее общими свойствами выглядит одинаково, куда бы мы ни глядели: все, что мы видим (и на самом деле гораздо больше), появилось и раздулось из

* Здесь присутствует отсылка к «инфляции» — термину, обозначающему рост цен в экономике.

одной-единственной крошечной точки в пространстве, наделяя своими локальными свойствами целую огромную Вселенную. У теории есть и ряд других преимуществ, отметим только, что любители строить модели Вселенной в уме их признают. Но кое-что все же стоит упомянуть отдельно. Инфляционная модель дает один непосредственный и проверяемый прогноз: пространство нашей Вселенной должно быть плоским, без каких-либо положительных или отрицательных значений кривизны — таким же плоским, каким оно видится нам на уровне интуиции.

Согласно этой теории, плоская форма пространства является следствием того самого гигантского расширения, что произошло в эпоху инфляции. В качестве художественного примера вообразите себя на поверхности воздушного шарика — а теперь пускай он увеличится во столько раз, что вы даже нули в множителе посчитать не сумеете. После такого расширения та часть шара, которую вы способны увидеть, будет казаться плоской, как бабушкин блинчик. Именно таким и должен в итоге оказаться тот космос, который мы в принципе смеем надеяться когда-либо измерить, — если, конечно, инфляционная модель окажется достоверной картинкой реальной Вселенной.

Однако суммарная плотность вещества достигает лишь около одной четверти от значения, необходимого для придания пространству совершенной плоскости. В 1980-х и 1990-х годах многие убежденные теоретики среди космологов верили: так как инфляционная модель должна оказаться верной, новые данные когда-нибудь закроют этот космический пробел в массе, выраженный в несоответствии фактической суммарной плотности вещества, указывавшей на отрицательную кривизну пространства и ее критического значения, необходимого для плоского космоса. Их убежденная вера помогала им двигаться дальше, хотя убежденные наблюдатели среди космологов и насмехались над теоретиками за излишнее доверие к теоретическому анализу.

И тут насмешки прекратились.

В 1998 году две соперничавшие команды астрономов объявили о ряде новых открытий, которые подтверждали существование нену-

левой космологической постоянной. Ее значение отличалось от того, что когда-то предложил Эйнштейн в целях сохранения статичности своей Вселенной. Была дана принципиально иная величина, и она показывала, что Вселенной предстоит расширяться бесконечно и все быстрее и быстрее.

Если бы теоретики просто заявили о том, что придумали еще одну модель Вселенной, мир вряд ли бы обратил на них серьезное внимание и недолго помнил бы об этом в принципе. В данном случае уважаемые эксперты по наблюдению за реальной Вселенной выказали друг к другу недоверие, проверили подозрительную активность своих соперников и обнаружили, что согласны и с данными, и с выводами друг друга. Результаты наблюдений не только подтверждали наличие космологической постоянной, не равной нулю, но и смогли приписать этой постоянной значение, делающее наше пространство плоским.

Простите, что-что? Как вы сказали? Космологическая постоянная, которая выравнивает пространство до плоского состояния? Вы намекаете, что мы все, как Королева из «Алисы в Зазеркалье», верим «в десяток невозможностей до завтрака»^{*}? Однако при более зрелом размышлении вы убедитесь в том, что, если, как оказалось, в пустом пространстве все же имеется энергия (!), значит, эту энергию можно выразить в виде массы согласно знаменитому уравнению Эйнштейна, где $E = mc^2$. При наличии энергии E вы можете вывести соответствующее ей значение массы m , равное E , разделенной на c^2 . Тогда вы получите суммарную плотность, составленную из двух отдельных величин: плотности вещества и плотности энергии.

И вот эту самую новую суммарную плотность и следует сравнивать с критической. Если их значения равны, значит, мы имеем дело с плоским пространством. Это соответствует прогнозам инфляционной модели о плоском пространстве, которой совершенно все равно, откуда берется значение суммарной фактической плотности вещества во

^{*} Льюис Кэрролл, «Алиса в Зазеркалье», глава 5 «Вода и вязанье».

Вселенной: составляйте из чего хотите — вещества, энергии или и того и другого, главное — конечный результат.

Важнейшие свидетельства ненулевой космологической постоянной, а значит, и существования темной энергии были получены в процессе астрономических наблюдений за особым типом сверхновых звезд, которые, взрываясь с невероятной силой, гибнут в сопровождении ярчайшей вспышки света. Такие сверхновые звезды называются сверхновыми типа Ia* и отличаются от других типов, которые появляются после того, как ядра огромных звезд испытывают коллапс в конце своего жизненного цикла, исчерпав все свои возможности по производству энергии за счет термоядерного синтеза. В отличие от них сверхновые типа Ia обязаны своим происхождением так называемым белым карликам, принадлежащим к бинарным звездным системам. Две звезды, которым довелось образоваться рядом друг с другом, следуют своим жизненным циклам, одновременно вращаясь вокруг общего для них центра массы. Если одна из двух таких звезд обладает большей массой, ее жизненный цикл быстрее подойдет к концу, в большинстве случаев такие звезды теряют внешнюю газовую оболочку, обнажая перед космосом свое ядро в виде съезжившегося, вырожденного белого карлика — объекта размером не больше Земли, но по массе сравнимого с Солнцем. Физики называют вещество в белых карликах вырожденным, потому что его плотность настолько высока (она превышает плотность железа или золота более чем в сотню тысяч раз), что законы квантовой механики преобладают над веществом в общем объеме, не давая ему схлопываться под воздействием невообразимо мощной гравитации, направленной на самого себя.

Белый карлик на взаимной орбите со стареющей звездой-компаньоном притягивает к себе газообразный материал, который она более не в силах удержать. Такое вещество, как правило, все еще достаточно богато водородом, и оно скапливается на поверхности белого карлика, становясь все более плотным и горячим. В конце концов, когда темпе-

* От англ. Type Ia или SN Ia (где SN = Supernova).

ратура достигает 10 миллионов градусов, вся звезда целиком вспыхивает в термоядерном взрыве. Словно водородная бомба, но в миллиарды раз мощнее, такой взрыв разрывает всего белого карлика на части... и становится сверхновой звездой типа Ia.

Такие сверхновые типа Ia особенно пригодились астрономам за счет двух своих отдельных свойств. Во-первых, они являются источником самых ярких взрывов сверхновых звезд во Вселенной — их видно миллиарды световых лет спустя. Во-вторых, природа установила ограничение по массе для любого белого карлика: она не может превышать величину массы Солнца, умноженную примерно на 1,4. Вещество может накапливаться на поверхности белого карлика только до тех пор, пока его новая суммарная масса не достигнет значения примерно 1,4 массы Солнца. Как только это случится, термоядерные реакции разрывают белого карлика на части — взрыв всегда происходит с объектами одной и той же массы (ибо превысить ее невозможно) и одного и того же состава, раскиданными по всей Вселенной. Получается, что при рано или поздно наступающем взрыве такие сверхновые белые карлики достигают одного и того же максимального значения энергии взрыва, а их яростное сияние потухает с примерно одинаковой скоростью после достижения своего пика.

Эти свойства позволяют астрономам использовать сверхновые типа Ia в качестве очень ярких и легко различимых «стандартных свечей» — объектов упорядоченного измерения, которые достигают равнозначного максимального выхода энергии, где бы они ни находились. Конечно, расстояние от наблюдателя до такой сверхновой звезды играет роль. Две звезды типа Ia в двух разных далеких галактиках будут излучать свет одинаковой степени яркости только в том случае, если они находятся на одинаковом расстоянии от нас. Соответственно, если одна находится в два раза дальше другой, ее сияние будет в четыре раза менее ярким (так как светимость любого объекта обратно пропорциональна квадрату расстояния от наблюдателя до такого объекта).

Когда астрономы научились распознавать сверхновые звезды типа Ia на основании подробного анализа светового спектра каждого из

таких объектов, у них в руках оказался золотой ключик от двери, за которой прятался ответ на вопрос: как точно измерить расстояние до небесных тел? Измерив (другими способами) расстояние до нескольких ближайших сверхновых типа Ia, ученые смогли вычислить гораздо более существенные расстояния до других сверхновых типа Ia, просто сравнив светимость относительно близких и далеких объектов.

В 1990-е годы две команды специалистов по сверхновым звездам — одна из Гарварда, а другая — из Калифорнийского университета в Беркли — усовершенствовали эту методику, найдя способ компенсировать в своих расчетах небольшие, но реальные различия между сверхновыми типа Ia, которые можно отследить по их спектрам. Чтобы воспользоваться новеньким блестящим ключом от расстояний до самых далеких сверхновых звезд, исследователям был нужен телескоп, способный наблюдать за далекими галактиками и записывать свои наблюдения с ювелирной точностью. Они обратились к телескопу Хаббла, который в 1993 году получил новое основное зеркало (старое было изготовлено с погрешностью). С помощью наземных телескопов эксперты по сверхновым звездам обнаружили десятки объектов типа Ia в галактиках в миллиардах световых лет от Млечного Пути и запросили аудиенцию у телескопа Хаббла, чтобы повнимательнее изучить недавно обнаруженные сверхновые звезды.

1990-е годы подходили к концу, две команды наблюдателей за сверхновыми звездами соревновались друг с другом за право первой представить новую и улучшенную версию «диаграммы Хаббла» — ключевого для космологии графика, на который расстояния удаленности от нас галактик наносятся в соответствии со скоростями, с которыми эти галактики удаляются от нас. Астрофизики вычисляют значения таких скоростей на основании эффекта Доплера (более подробно о нем — в главе 13), который изменяет цвет излучения галактик в зависимости от той скорости, с которой эти галактики от нас удаляются.

Соответствующие каждой галактике удаленность и скорость дальнейшего удаления отмечены на диаграмме Хаббла. В случае с относительно близкими галактиками кривая, соединяющая эти точки, вполне

синхронно идет вверх, так как одна галактика, удаленная от нас в два раза больше, чем другая, демонстрирует и в два раза большую скорость удаления. Прямую пропорциональность между расстояниями до галактик и их скоростями удаления можно алгебраически выразить законом Хаббла — простым уравнением, описывающим базовые повадки Вселенной: $v = H_0 \times d$. Здесь v представляет собой скорость удаления, d — расстояние, а H_0 — это универсальная постоянная (постоянная Хаббла), которая описывает всю Вселенную целиком в любой конкретный момент времени. Сторонние наблюдатели со всей Вселенной, изучая ее через 14 миллиардов лет после Большого взрыва, обнаружат, что галактики удаляются согласно описанной законом Хаббла формуле, и каждый такой наблюдатель получит одно и то же значение постоянной Хаббла, хотя назовут ее все они, конечно, по-разному. Эта предполагаемая межкосмическая демократия лежит в основе всей современной космологии. Мы не можем доказать, что вся Вселенная без исключения следует принципам этой демократии. Возможно, далеко за пределами доступной нам видимости космос ведет себя совсем иначе, чем «здесь». Но космологи отвергают подобные идеи, по крайней мере для видимой и наблюдаемой нами Вселенной. Так что будем считать, что формула $v = H_0 \times d$ представляет собой универсальный — вселенский! — закон.

Надо отметить, что постоянная Хаббла меняется со временем. Новая и улучшенная диаграмма Хаббла, включающая в себя галактики в миллиардах световых лет от нас, когда-нибудь откроет не только значение сегодняшней постоянной Хаббла (выраженной в градиенте линии, соединяющей точки соответствия расстояния и скорости удаления каждой отдельной галактики), но и динамику скорости расширения Вселенной за последние миллиарды лет. Значение скорости расширения Вселенной в начале ее существования будет определено данными в верхних значениях графика, так как они соответствуют наиболее далеким из изученных галактик (а значит, предстающим перед нами в своем глубоко «прошлом» виде). Таким образом, диаграмма Хаббла, охватывающая расстояния вплоть до многих миллиардов световых лет, сможет

дать нам историческую картину расширения Вселенной, описанную ее переменной скоростью расширения.

На пути к данной цели миру астрофизиков повезло: у них было две команды-соперницы, и обе тщательно изучали сверхновые звезды. Результаты этих исследований были впервые обнародованы в феврале 1998 года, и их эффект превзошел все ожидания. Если бы гонцом космических новостей была только одна группа ученых, ей вряд ли удалось бы пробить естественный скептицизм своих многоуважаемых коллег, которые не сдали бы без боя свои давно признанные и выпестованные убеждения об устройстве Вселенной. Но в этом случае две команды скептически целились в первую очередь друг в друга и потому особо тщательно принялись искать ошибки в полученных соперниками данных или выводах на их основании. Когда и те и другие объявили, что их все устраивает (несмотря на изначальную предубежденность друг против друга) и что конкуренты справились с задачей, миру космологии не оставалось иного выбора, кроме как принять, хоть и поначалу довольно сдержанно, новости с передовой космических исследований.

Новости заключались в том, что самая далекая сверхновая звезда типа Ia оказалась более бледной, чем ожидалось. Это означает, что сверхзвезды расположены чуть дальше, чем следовало бы, что, в свою очередь, означает, что что-то заставило Вселенную расширяться быстрее, чем следовало бы. Что же спровоцировало ускорение расширения? Единственный возможный обвиняемый, подходящий по всем параметрам, — это темная энергия, таящаяся в пустом пространстве, та самая энергия, чье существование соответствует ненулевой космологической постоянной. Определив расстояние, на которое та далекая сверхновая звезда оказалась дальше, чем ожидалось, две команды астрономов определили саму форму и судьбу Вселенной.

Когда две команды, изучавшие сверхновые звезды, достигли единодушия, оказалось, что космос... плоский. Для наглядности придется немного повозиться с греческим алфавитом. Чтобы описать Вселенную

с ненулевой космологической постоянной, нам нужно еще одно число. К постоянной Хаббла, обозначаемой нами как H_0 (это ее значение в наше время), и к средней плотности вещества, которая сама по себе определяет кривизну пространства при нулевом значении космологической постоянной, мы должны добавить эквивалент плотности, которую обуславливает темная энергия. Она, согласно эйнштейновской формуле $E = mc^2$, обладает выраженным в массе (m) эквивалентом энергии (E).

Космологи записывают плотность вещества и темной энергии с помощью символов Ω_M и Ω_Λ , где Ω (греческая заглавная «омега») представляет собой отношение космической плотности к критической. Ω_M — это отношение средней плотности всего вещества во Вселенной к критической плотности, а Ω_Λ — отношение эквивалентной плотности темной энергии к критической. В данном случае Λ (греческая заглавная «лямбда») представляет собой космологическую постоянную. В плоской Вселенной с нулевой кривизной пространства сумма Ω_M и Ω_Λ всегда равняется единице, потому что суммарная плотность (вещества и эквивалентной веществу темной энергии) должна строго равняться критической плотности.

Наблюдения за далекими сверхзвездами типа Ia помогли измерить разницу между Ω_M и Ω_Λ . Вещество замедляет расширение Вселенной, так как гравитация притягивает все ко всему остальному, затрудняя отдаление друг от друга. Чем выше плотность вещества, тем больше гравитационное взаимодействие замедляет процесс. Однако темная энергия делает кое-что принципиально другое. В отличие от скоплений вещества, чье взаимное притяжение замедляет космическое расширение, темная энергия обладает странным свойством: она заставляет пространство расширяться, тем самым дополнительно ускоряя этот процесс. Чем шире пространство, тем больше в нем становится темной энергии, так что расширяющаяся Вселенная — самый что ни на есть настоящий бесплатный сыр сами знаете где. Новоявленная темная энергия заставляет космос расширяться еще быстрее, и бесплатного сыра

становится все больше и больше — и так до бесконечности. Значение Ω_{Λ} отражает собой размер космологической постоянной и позволяет нам оценить абсолютное значение тенденции темной энергии к расширению своего окружения. Когда астрономам удалось измерить отношение удаленности галактик к их скоростям удаления, они обнаружили, во что выливается противостояние гравитации и темной энергии. Согласно их подсчетам, $\Omega_{\Lambda} - \Omega_M = 0,46 (\pm 0,03)$. Так как астрономы на тот момент уже определили, что значение Ω_M составляет примерно 0,25, на основе этой формулы легко установить, что Ω_{Λ} предположительно равняется 0,71. Тогда в сумме Ω_{Λ} и Ω_M дают 0,96 — а это почти полноценная единица, которую прочит нам инфляционная модель Вселенной. Более свежие данные внесли в эти цифры уточняющие дополнения, благодаря чему сумма $\Omega_{\Lambda} + \Omega_M$ еще больше приблизилась к единице.

Несмотря на единодушие между двумя соперничающими группами экспертов по сверхновым звездам, некоторых космологов все же было трудно убедить до конца. Не каждый день ученым случается оставить многолетние убеждения, такие, скажем, как нулевое значение космологической постоянной, и заменить их принципиально новым выводом о том, что темная энергия заполняет собой каждый кубический сантиметр пустого пространства. Почти все скептики, которые внимательно следили за приключениями теорий об устройстве космоса, в конце концов присоединились к новой версии, после того как смогли переварить результаты новой серии отчетов спутника, созданного для того, чтобы с беспрецедентной точностью записывать свои наблюдения за реликтовым излучением. Этот спутник — всемогущий WMAP, уже упомянутый в главе 3, — начал записывать свои полезные наблюдения в 2002 году, и к началу 2003 года у него накопилось для космологов достаточно данных для того, чтобы на их основании составить всеохватную небесную карту микроволнового излучения, несущего на себе бóльшую часть космического фонового излучения. Хотя более ранние исследования уже позволили сделать несколько базовых выводов и без такой карты, они все же были сделаны на основании куда более скудных данных, собранных лишь с отдельных участков неба.

Полноценная карта неба от WMAP стала кульминацией многолетних трудов множества специалистов, а также определила раз и навсегда самые важные особенности реликтового излучения.

Самый выдающийся и значительный аспект новой карты, как и в случае с наблюдениями с аэростатов и наблюдениями, сделанными с помощью предшественника WMAP — спутника COBE*, заключается в ее почти полной безликости. Вы не найдете никаких заметных различий в интенсивности излучения, идущего со всех сторон, пока не доберетесь в своих измерениях примерно до одной тысячной доли значений. Но и тогда едва различимые отличия принимают форму лишь незначительного повышения интенсивности излучения в одном конкретном направлении и соответствующего незначительного понижения интенсивности излучения в противоположном направлении. Эти различия вызваны движением нашей галактики Млечный Путь среди соседних с ней галактик. Из-за эффекта Доплера мы принимаем чуть более явный сигнал в направлении такого движения не потому, что само реликтовое излучение сильнее, а потому, что наше движение навстречу ему слегка увеличивает энергетический след фотонов, которые мы можем обнаружить.

Скорректировав результат со скидкой на эффект Доплера, мы получаем ровное реликтовое излучение, но это только вплоть до уровня сотысячных долей его величины. На этом уровне обнаруживаются крошечные отклонения от всеобщего единообразия. Эти отклонения можно сопоставить с участками, из которых реликтовое излучение приходит чуть более или чуть менее ярким. Как уже отмечалось ранее, разница в интенсивности связана с направлениями, в которых вещество чуть горячее и плотнее (или прохладнее и разреженнее) среднестатистического вещества в районе 380 тысяч лет после Большого взрыва. Спутник COBE первым заметил эти различия. Инструментальные измерения с помощью аэростатов и исследования на Южном полюсе уточнили имеющиеся у нас данные, а затем спутник WMAP предоставил

* От англ. COsmic Background Explorer — «Исследователь фонового излучения».

еще более детальные сведения о небесном своде, что дало космологам возможность создать подробную карту плотности реликтового излучения с невообразимой ранее точностью углового разрешения вплоть до одного градуса.

Незначительные отклонения в однообразии реликтового излучения, обнаруженные и спутником COBE, и спутником WMAP, представляют для космологов более чем просто мимолетный интерес. Так, они показывают нам зачатки структурного строения Вселенной в то время, когда фоновое излучение перестало взаимодействовать с веществом. Регионы, в которых вещество чуть плотнее среднего, в те далекие времена получили фору для дальнейшего сокращения и выиграли эти космические соревнования, собрав у себя большую часть вещества с помощью гравитации. Первым важным заключением, которое позволяет сделать новая карта распределения реликтового излучения, является следующее: подтверждаются космологические теории о том, что огромная разница в плотности вещества от региона к региону Вселенной, наблюдаемая сегодня, существует благодаря крошечным различиям в плотности вещества, которые сложились во Вселенной через несколько сотен лет после Большого взрыва.

Однако космологи могут использовать новые результаты своих наблюдений за реликтовым излучением еще и для того, чтобы разгадать другую, более фундаментальную особенность устройства Вселенной. Подробная карта распределения реликтового излучения показывает нам кривизну самого пространства. Это удивительное заключение основано на том факте, что кривизна пространства влияет на путешествующее сквозь него излучение. Если, например, пространство искривлено положительно, тогда при наблюдении за реликтовым излучением мы оказываемся примерно в позиции стороннего наблюдателя, стоящего на Северном полюсе и глядящего вдоль поверхности Земли в направлении источника излучения в районе экватора. Так как линии долготы сходятся на полюсе, источник излучения предстает перед таким наблюдателем более остроугольным, чем было бы при абсолютно плоском пространстве.

Чтобы понять, как кривизна пространства влияет на угловой размер составляющих реликтового излучения, представьте себе время, когда оно наконец-то перестало взаимодействовать с веществом. Тогда крупнейшие отклонения от однообразия, что только могли существовать во Вселенной, обладали размером, который космологи могут подсчитать: возраст Вселенной, умноженный на скорость света, — и это равняется примерно 380 тысячам световых лет поперек. Это то самое максимальное расстояние, на котором частицы вещества еще могли иметь друг на друга какое-либо влияние и создавать какие-либо шероховатости. В случае с бóльшими расстояниями «новости» от других частиц просто не успели бы еще добраться куда следовало, так что их нельзя винить в нарушениях распределения реликтового излучения.

Под каким углом эти максимальные отклонения расположились бы на небе сейчас, зависит от кривизны пространства, которую можно определить, сложив Ω_M и Ω_Λ . Чем ближе эта сумма к единице, тем ближе кривизна пространства к нулю (то есть тем более плоское пространство мы имеем) и тем больше угловой размер наблюдаемых нами максимальных отклонений от однообразия реликтового излучения. Данная кривизна пространства зависит только от суммы двух Ω , потому что оба типа плотности провоцируют кривизну пространства одинаковым образом. Получается, что наблюдения за реликтовым излучением предлагают нам прямое значение суммы $\Omega_M + \Omega_\Lambda$, а изучение сверхновых звезд — значение алгебраической разницы между Ω_M и Ω_Λ .

Данные спутника WMAP показывают, что для самых заметных отклонений от однообразия реликтового излучения характерен угол 1 градус, и это означает, что сумма $\Omega_M + \Omega_\Lambda$ равняется 1,02 ($\pm 0,02$). Так, в рамках границ экспериментально допустимой точности мы можем сделать вывод, что $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$. Значит, пространство плоское. Результаты наблюдений за далекими сверхновыми типа Ia можно резюмировать строчкой $\Omega_\Lambda - \Omega_M = 0,46$. Если мы совместим этот результат с утверждением о том, что $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$, мы получим следующие значения: $\Omega_M = 0,27$, а $\Omega_\Lambda = 0,73$; погрешность каждого из них составляет

несколько процентов. Как уже отмечалось ранее, это лучшие на сегодня предполагаемые значения двух ключевых космических параметров, имеющиеся в распоряжении у астрофизиков. Они демонстрируют, что на вещество — как на обычное, так и на темную материю — приходится лишь 27 % суммарной плотности вещества (или обычной энергии в его эквиваленте), в то время как на долю темной энергии приходится 73 %. Если хотите, можно рассматривать массовый эквивалент темной энергии — E/c^2 ; тогда на долю темной энергии приходится 73 % всей массы Вселенной.

Ученые установили, что при ненулевом значении космологической постоянной относительное влияние вещества и темной энергии должны меняться с течением времени. С другой стороны, плоская Вселенная навсегда останется плоской, от своего рождения в результате Большого взрыва и вплоть до того бесконечного будущего, что ждет нас впереди. В плоской Вселенной сумма Ω_M и Ω_Λ всегда равна единице, а значит, если изменится одно слагаемое, и другое не сможет остаться неизменным.

В космические эпохи, наступившие вскоре после Большого взрыва, темная энергия не играла во Вселенной почти никакой роли. По сравнению с предстоящими вехами в ее истории, Вселенная тогда была столь мала, что на долю Ω_Λ приходилось число немногим больше нуля, в то время как Ω_M практически равнялась единице. В те времена Вселенная напоминала собой пространство без какой-либо космологической постоянной. Шло время, и значение Ω_M постепенно уменьшалось, зато значение Ω_Λ росло в обратной к нему пропорции, сумма же неизменно оставалась равной единице. Рано или поздно, через сотню миллиардов лет от сегодняшнего дня, Ω_M упадет почти до нуля, зато Ω_Λ будет расти и расти, пока не приблизится по своему значению к единице. Мы видим, что история плоской Вселенной с ненулевой космологической постоянной подразумевает переход от «ранних лет», когда темной энергии отводилась самая незначительная роль, к «настоящему», когда Ω_M и Ω_Λ были приблизительно равны, а затем и к бесконечному будущему, в котором вещество будет распределено по Вселенной

столь разреженно, что Ω_M будет бесконечно стремиться к нулю, хотя сумма двух Ω все равно будет оставаться равной единице.

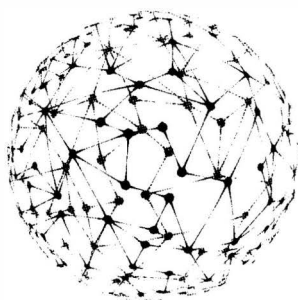
Наши наблюдения позволяют, с одной стороны, вычислить, что в данный момент в галактических кластерах величина Ω_M составляет примерно 0,25, с другой — наблюдения за реликтовым излучением и далекими сверхновыми звездами приводят значение, скорее близкое к 0,27. С учетом экспериментальной погрешности эти два значения можно считать «совпадающими». Если мы действительно живем во Вселенной с ненулевой космологической постоянной и если эта постоянная отвечает (в паре с веществом) за формирование плоской Вселенной, как это предсказывает инфляционная модель, тогда космологическая постоянная должна иметь значение, которое, в свою очередь, приближает значение Ω_Λ к 0,7 с лишним. То есть оно в два с половиной раза больше значения Ω_M . Другими словами, Ω_Λ сейчас выполняет основную часть работы во имя того, чтобы сумма $\Omega_M + \Omega_\Lambda$ равнялась единице. Это означает, что мы уже оставили позади ту эпоху, в которой вклад вещества и космологической постоянной в поддержание плоской формы Вселенной был равен (значение каждой Ω составляло 0,5).

Прошло менее 10 лет, и прозвучавший двойной выстрел результатов наблюдений за сверхновыми звездами типа Ia и реликтовым излучением привел к переходу концепции темной энергии из статуса «какой-то там» идеи, на которой в свое время ненадолго остановился Эйнштейн, в статус непреложного космического факта о жизни. Если только в будущем не окажется, что все эти многочисленные данные получили неверную трактовку, были некорректно собраны или просто в корне неверны, нам останется лишь принять тот факт, что Вселенная никогда не сократится в размере и не прекратит свое существование. Вместо этого нас ждет довольно скучное будущее: через сотню миллиардов лет, когда большинство звезд уже выгорит, все, кроме самых ближайших галактик, навсегда исчезнет из нашего поля зрения.

К тому времени Млечный Путь соединится со своими ближайшими соседями, создав одну огромную — гигантскую! — галактику в буквальном смысле в настоящей космической глуши. В нашем ночном небе

останется сколько-то звезд, мертвых или еще функционирующих, и больше ничего. Астрофизикам будущего предстоит жить в весьма жестоком мире. Вокруг не будет ни одной галактики, которая помогла бы им отследить факт расширения Вселенной, и они, как и Эйнштейн, ошибочно предположат, что живут в статической Вселенной. Космологическая постоянная и ее темная энергия доведут Вселенную до состояния, в котором их нельзя будет не только измерить, но и в принципе вообразить.

Рекомендуем получать удовольствие от космологии, пока это еще возможно.



Глава 6

Одна Вселенная или множество?

В начале 1998 года мир космологии потрясло открытие, что мы живем в мире ускорения, в котором Вселенная не только постоянно расширяется, но и делает это все быстрее и быстрее. Тогда были объявлены первые результаты наблюдений за сверхновыми звездами, которые и помогли ученым прийти к заключению о расширении Вселенной. Сегодня, когда эта идея также окончательно заручилась поддержкой исследователей реликтового излучения (а у космологов было достаточно лет для того, чтобы пропустить через себя мысль о постоянно ускоряющемся космическом расширении), возникают два серьезных вопроса, и в поиске ответов на них космологи проводят дни и ночи: почему скорость расширения Вселенной растет, почему у этого ускорения именно такое значение и как оно характеризует Вселенную?

Простой ответ на первый вопрос перекладывает всю ответственность за ускорение расширения Вселенной на сам факт существования темной энергии или же, что равнозначно, на наличие ненулевой космологической постоянной. Сама степень ускорения напрямую зависит от количества темной энергии на каждый кубический сантиметр

пустого пространства: чем больше энергии, тем быстрее ускорение. Так, если бы ученые смогли объяснить, откуда берется эта самая темная энергия и почему сегодня во Вселенной ее именно столько, сколько есть, они могли бы с чистой совестью заявить, что разгадали фундаментальную загадку Вселенной: происхождение той энергии в пустом пространстве, которая неуклонно провоцирует космос на дальнейшее и все более стремительное расширение — вперед в будущее, в котором нас ждет поистине необъятное космическое пространство, не менее гигантские запасы темной энергии в нем и почти никакого вещества на один кубический световой год.

Откуда берется и что представляет собой темная энергия? Нащупать ответ космологи могут в глубинных пластах своих знаний о физике частиц: темная энергия — это продукт каких-то событий, происходящих в пустом пространстве (если не терять надежды на то, что квантовая теория достоверно описывает суть вещества и энергии). Вся физика частиц основана на данной теории, состоятельность которой столь многократно и очень точно была подтверждена в микроскопических условиях, что почти все физики не видят повода сомневаться в ней. Неотъемлемая часть квантовой теории подразумевает, что так называемое пустое пространство на самом деле гудит и дрожит от «виртуальных частиц», которые появляются в нем и исчезают быстрее, чем мы успеваем их заметить, однако позволяют нам отследить эффект своего существования (темную энергию). Собственно, возникает она в результате этого постоянного мельтешения — появления и исчезновения — виртуальных частиц, которое мы называем квантовыми флуктуациями вакуума (это специально для тех, кому нравится звонкая терминология физиков, остальные могут использовать слово «колебания»). Далее исследователи частиц могут без особых трудностей вычислить точное количество энергии, заполняющей каждый кубический сантиметр вакуума. Непосредственное применение квантовой теории к так называемому вакууму напрямую предполагает, что такие квантовые колебания должны производить темную энергию. Со стороны эта история звучит весьма

непринужденно, и возникает резонный вопрос: почему же космологам понадобилось так много времени на то, чтобы обнаружить существование этой энергии?

К сожалению, в силу особенностей реального расклада вещей нам следует иначе сформулировать вопрос: как могли физики, изучающие частицы, так радикально ошибиться? Подсчеты количества темной энергии на каждый кубический сантиметр вакуума указывают на число примерно в 10^{120} раз большее, чем значение, экспериментально найденное космологами в процессе наблюдения за сверхновыми звездами и реликтовым излучением. В абстрактных астрономических ситуациях расчеты, которые оказываются приблизительно верными, демонстрируя ошибочность в десять или менее раз, зачастую воспринимаются как «временно удовлетворительные». Однако ошибку в 10^{120} раз под диван не спрячешь, даже если вы неисправимый оптимист в огромных очках с толстыми розовыми стеклами. Если бы в реальном вакууме темной энергии было столько, сколько следует из квантовых законов физики, Вселенная уже давно бы распухла до таких размеров, которых нам с вами никогда даже близко не вообразить, причем крошечной доли секунды хватило бы на то, чтобы разнести вещество по всему космосу в невероятно разреженном виде. Теория и наблюдения единодушны в своих выводах о том, что в пустом пространстве содержится темная энергия, однако в вопросах того, сколько именно такой энергии там можно обнаружить, они расходятся в миллиард в десятой степени раз. Чтобы наглядно проиллюстрировать это колоссальное расхождение, не получается придумать ни одного «земного» примера, да и космический тоже не приходит в голову. Расстояние от Земли до самой далекой известной нам галактики превышает размер одного протона в 10^{40} раз. Даже это гигантское число — всего лишь кубический корень из того, во сколько раз расходятся теория и практика относительно значения нашей космологической постоянной.

Специалисты по физике частиц и космологи давно знают, что квантовая теория задает неприемлемо высокое значение для объема мировой

темной энергии. Но в те дни, когда считалось, что значение космологической постоянной равно нулю, они надеялись обнаружить какое-либо еще объяснение своим наблюдениям — такое, которое, по сути, свело бы на нет сам вопрос к устройству Вселенной с помощью взаимного исключения положительных и отрицательных величин теории. Подобное взаимоисключение когда-то решило проблему того, каким количеством энергии виртуальные частицы наделяют обычные — видимые нам — частицы. Теперь же, когда мы знаем, что космологическая постоянная не равна нулю, надежды на то, что подобное решение методом «взаимоисключения» найдется, довольно призрачны. Однако, если такое решение существует, оно каким-то образом должно будет обесценить практически все те теоретические знания, которыми мы обладаем на сегодняшний день. Сейчас, из-за отсутствия объяснения размера космологической постоянной, ученым остается лишь продолжать плотное сотрудничество в областях космологии и физики частиц, стремясь найти способ привести в соответствие теорию о том, как в космосе рождается темная энергия с ее невероятно высокой концентрацией из расчета на один кубический сантиметр вакуума.

Светила современной физики частиц и космологии тратят немало сил на то, чтобы объяснить значение космологической постоянной — и безрезультатно. Отсюда и жаркий гнев бессилия в рядах ученых-теоретиков, не в последнюю очередь потому, что тот, кто сможет объяснить, как природа смогла создать именно такое космическое пространство, каким мы его наблюдаем, получит и Нобелевскую премию, и невообразимую радость открытия и научного прорыва. Но объяснение требуется еще многим вещам, и одна из них имеет самое прямое отношение к нашей теме обсуждения: почему количество темной энергии, выраженное в ее массовом эквиваленте, примерно равно количеству энергии, производимой всем веществом во Вселенной?

Этот вопрос можно задать и иллюстративно, с помощью двух Ω , представляющих собой плотность вещества и плотность массового

эквивалента темной энергии: почему значения Ω_M и Ω_Λ приблизительно равны? Почему одно из них не больше другого в разы? В первый миллиард лет после Большого взрыва Ω_M была практически равна единице, в то время как Ω_Λ — нулю. В те далекие времена Ω_M сначала была в миллионы, затем в тысячи и потом уже в сотни раз больше Ω_Λ . Сегодня же, когда $\Omega_M = 0,27$ и $\Omega_\Lambda = 0,73$, эти два значения можно считать примерно равными друг другу, хотя Ω_Λ и явно выше Ω_M . В далеком будущем, более 50 миллиардов лет спустя, Ω_Λ будет сначала в сотни, потом в тысячи и даже в миллионы, а потом и в миллиарды раз больше Ω_M . Только в течение периода космической истории примерно от 3 до 50 миллиардов лет после Большого взрыва эти два значения более или менее соответствуют друг другу.

Для беспечного ума обывателя промежуток времени от 3 до 50 миллиардов лет — это очень много. С астрономической точки зрения это совсем мало. В астрономии популярен логарифмический подход к времени, когда рассматриваемый промежуток для удобства делят на интервалы так, чтобы каждый последующий был больше предыдущего в десять раз. Сначала Вселенной было столько-то лет, потом она стала в десять раз старше, потом еще в десять раз старше и так до бесконечности — бесконечное количество умножений на десять. Предположим, мы начали отсчитывать время в тот самый миг, который с точки зрения квантовой теории имеет хотя бы какое-то значение — в 10^{-43} секунд после Большого взрыва. Так как в каждом году примерно 30 миллионов секунд (если точнее, то их 3×10^7), нам нужно примерно 60 степеней десяти (10^{60}), чтобы пройти путь от 10^{-43} секунд после Большого взрыва до 3 миллиардов лет спустя. Но нам требуется всего лишь чуть больше, чем умножить имеющееся на этот момент число еще на десять, чтобы проскочить отрезок от 3 до 50 миллиардов лет — а именно в этот промежуток времени Ω_M и Ω_Λ приблизительно равны. Еще дальше — и бесконечное количество степеней десяти открывают дорогу в бесконечное будущее. С такой логарифмической точки зрения вероятность того, что мы будем жить в космических условиях приблизительного

равенства Ω_M и Ω_Λ , ничтожно мала. Майкл Тернер, ведущий американский космолог, даже дал этому парадоксальному явлению — вопросу о том, почему нам довелось жить в эпоху приблизительного равенства Ω_M и Ω_Λ , — шуточное название «загадка Нэнси Керриган» в честь олимпийской чемпионки США по фигурному катанию, которая, получив удар по коленке перед выходом на лед на этапе чемпионата США, в слезах вопрошала: «Почему я? Почему сейчас?»*

Несмотря на то что космологам не удастся вычислить такое значение космологической постоянной, которое хотя бы приблизительно походило на правду, у них есть ответ на загадку Нэнси Керриган. Правда, мнения о важности этого ответа и возможных из него выводах сильно расходятся. Одни принимают предлагаемые объяснения; другие вникают им весьма неохотно; третьи гарцуют вокруг да около; а четвертые отвергают полностью. Это объяснение связывает значение космологической постоянной с тем фактом, что вот они мы — живем именно на этой планете, вращающейся вокруг средней звезды в средней галактике именно сейчас. Аргумент следующий: раз мы существуем, значит, параметры, описывающие Вселенную, — и особенно величина космологической постоянной — обладают такими значениями, которые допускают наше существование.

Представьте, какой была бы Вселенная, в которой космологическая постоянная существенно превышала бы свое реальное значение. В разы большее количество темной энергии существенно увеличило бы значение Ω_Λ по сравнению с Ω_M , и на это не понадобилось бы 50 миллиардов лет — хватило бы всего нескольких миллионов. К этому времени в космосе, в котором преобладало бы ускорение — продукт темной энергии, — вещество разлетелось бы в разные стороны так быстро, что ни галактики, ни звезды, ни планеты просто не успели бы сформиро-

* От англ. «Why me? Why now?» — этой фразой Нэнси Керриган, крутясь от боли и держа пострадавшее колено обеими руками, запомнилась в СМИ. Нападение на нее было совершено 6 января 1994 года по заказу доброжелателей ее соперницы — фигуристки Тони Хардинг.

ваться. Если предположить, что от начала формирования первых небольших скоплений вещества до зарождения на Земле жизни прошло не менее одного миллиарда лет, мы можем достаточно уверенно заключить, что само наше существование ограничивает значение космологической постоянной до некой величины в промежутке от нуля до числа, в несколько раз превышающего ее реальное значение. Бесконечно большие значения она явно принимать не может.

Аргумент начинает выглядеть более весомо, если предположить вместе со многими космологами, что все, что мы с вами называем Вселенной, является частью гораздо более огромной мультивселенной (ее еще называют «мультиверс» — от англ. multiverse). Мультивселенная состоит из бесконечного множества вселенных, никаким образом друг с другом не взаимодействующих. Согласно концепции Мультивселенной, все устройство каждой отдельной вселенной — это высокая материя и некие высшие измерения, вследствие чего пространство нашей Вселенной недоступно ни для какой другой вселенной — и наоборот. Это отсутствие даже гипотетического взаимодействия между ними ставит теорию Мультивселенной в число непроверяемых, а значит, неподтверждаемых (но и неопровергаемых!) гипотез, как минимум пока какие-нибудь мудрецы не найдут способа ее протестировать. В Мультивселенной новые вселенные зарождаются в произвольном порядке и с произвольной частотой, набухая за счет инфляции до гигантских размеров, но никак при этом не взаимодействуя с бесконечным количеством других вселенных.

В Мультивселенной каждая новая вселенная зарождается и существует по своим законам физики, обладая своими характерными космическими параметрами — включая те, что определяют для такой вселенной значение космологической постоянной. У большого количества таких вселенных космологическая постоянная в разы превышает нашу — и они быстро разгоняются и разбегаются до состояния почти нулевой плотности вещества; жизни в таких вселенных просто не из чего появиться. Только в крошечной доле всех вселенных, составляющих

Мультивселенную, комплекс условий складывается так, чтобы допустить возможность зарождения и существования жизни, потому что только эти несколько комплексов параметров позволяют веществу формировать галактики, звезды и планеты и дают возможность всем этим объектам существовать миллиарды лет.

Космологи называют такой подход к объяснению величины космологической постоянной антропным принципом, хотя термин «антропный подход» был бы, пожалуй, более уместен. У такого подхода к объяснению одного из ключевых вопросов в космологии есть одна несомненно привлекательная особенность: его любят или ненавидят, но редко кто относится к нему равнодушно. Как и многие другие увлекательные идеи, антропный подход можно подгонять под разные теологические и телеологические системы мышления или делать вид, что он удачно «подгоняется». Некоторые религиозные фундаменталисты отмечают, что антропный принцип устройства Вселенной перекликается с их верованиями, потому что отводит человечеству центральную роль: если бы космос — по меньшей мере известный нам космос — некому было изучать и наблюдать, его бы не могло и не должно было «быть». Значит, некие высшие силы создали его таким, чтобы и нам нашлось в нем уютное местечко. Противник подобного хода мысли может сказать, что антропный принцип подразумевает совсем не это и на теологическом уровне этот вроде как аргумент в пользу существования Всевышнего указывает на невероятно нехозяйственного и расточительного Создателя, который зачем-то мастерит бесчисленное множество вселенных, из которых лишь крохотная часть способна создать условия для зарождения жизни. Почему бы не избавиться от этого неловкого посредника и не следовать мифам и легендам о мироздании, которые сразу ставят человека во главу угла?

С другой стороны, если вы предпочитаете видеть Божественное провидение во всем, что вас окружает (как Спиноза, например), вы не устанете восхищаться Мультивселенной, в которой вселенные рас-

цветают одна за другой, словно цветы. Как и большинство новостей с переднего края науки, концепцию Мультивселенной и антропного принципа можно с легкостью «склонять» по-своему, так, чтобы привести в соответствие с конкретной системой устоев и убеждений. Стивен Хокинг, обладатель почетной должности Лукасовского профессора Кембриджского университета по астрономии* (как и когда-то Исаак Ньютон до него), считает антропный подход превосходным решением загадки Нэнси Керриган. Стивен Вайнберг, лауреат Нобелевской премии по физике за свои исследования и открытия в области физики элементарных частиц, недолюбливает этот подход, но тем не менее относит себя к его последователям, по крайней мере «пока» не будет предложено что-то более разумное.

Возможно, когда-нибудь история рассудит нас, показав космологам, что они занимались не той задачей в том смысле, что не до конца понимали, какая именно задача перед ними стоит. Вайнбергу нравится проводить аналогию с попыткой Иоганна Кеплера объяснить, почему у Солнца шесть планет (как тогда считали астрономы) и почему они вращаются именно на таких орбитах. С тех пор прошло 400 лет, а астрономы до сих пор знают слишком мало о происхождении планет, чтобы дать объяснение их числу в Солнечной системе. Мы знаем, что гипотеза Кеплера о том, что расстояния между планетами, вращающимися вокруг Солнца, можно объяснить возможностью вписать между соседними орбитами одно из пяти платоновых тел (или правильных многогранников), в корне неверна и не имеет ничего общего с реальным устройством Вселенной. Правильные многогранники вписываются меж орбит не так уж хорошо, и, что важно, у нас нет никакого повода считать, что орбиты планет должны следовать такому принципу формирования. Так что вполне возможно, что будущие поколения ученых будут видеть в космологах сегодняшнего дня этаких Кеплеров,

* На момент написания книги это было так; однако в 2009 году Стивен Хокинг передал должность Лукасовского профессора, занимаемую им с 1979 года, профессору Майклу Грину.

старającychся изо всех сил объяснить пока необъяснимое с помощью тех инструментов для изучения и понимания Вселенной, что им уже доступны.

Не все однозначно одобряют антропный подход. Некоторые космологи критикуют его за пораженчество и антиисторичность (так как он идет вразрез с многочисленными историями успеха традиционной физики, которой не раз удавалось рано или поздно найти объяснение явлениям, до этого считавшимся мистическими); еще они называют его опасным — ведь от него пахнет креационизмом. Многие космологи также находят неприемлемым построение целой теории на предположении о том, что мы живем в Мультивселенной, состоящей из бесчисленного множества других вселенных, с которыми мы никак и ни при каких обстоятельствах не можем взаимодействовать, даже теоретически.

Дебаты, которые разворачиваются на фоне антропного принципа, лишний раз подчеркивают тот скептицизм, что лежит в основе научного подхода к пониманию Вселенной. Теория, которая нравится одному ученому (как правило, тому, кто ее придумал), может показаться абсурдной — да и просто в корне неверной — другому. При этом и тот и другой знают, что теории выживают и расцветают пышным цветом только тогда, когда ученые находят их наиболее эффективными в объяснении большей части полученных с помощью наблюдений данных. Как однажды сказал один известный ученый, «опасайтесь теории, которая способна объяснить *все* данные — ведь с немалой долей вероятности какие-то из них потом окажутся неверными».

Данное противоречие может так и остаться неразрешенным еще долгое время, но оно обязательно спровоцирует и другие попытки объяснить устройство Вселенной. Например, Пол Штайнхардт из Принстонского университета при поддержке Нила Тьюрока из Кембриджского университета создал теоретическую эмпиротическую модель Вселенной. Воодушевленный теорией струн (одним из весьма интересных разделов физики элементарных частиц), Штайнхардт предлагает

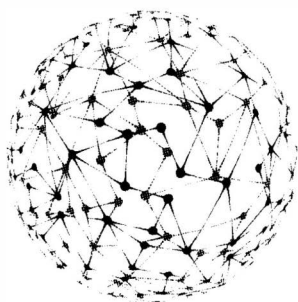
нам Вселенную с 11 измерениями, большинство из которых «компактифицированы» — свернуты в пространстве, как носки в ящике, благодаря чему они занимают в нем не так уж много места. Но некоторые из таких измерений обладают реальными размерами и значением — мы просто не можем их обнаружить и оценить, потому что заточены в своем четырехмерном мире. Попробуйте представить, что все пространство нашей Вселенной представляет собой бесконечную и бесконечно тонкую плоскую поверхность (в данной модели сетка измерений насчитывает всего два, а не три измерения), а затем представьте еще одну такую листообразную поверхность — и то, как она приближается и сталкивается с первой. В момент самого столкновения происходит Большой взрыв, и пока эти плоскости удаляются друг от друга вследствие удара, история каждой из них идет своим чередом, давая жизнь галактикам и звездам. В какой-то момент эти две плоскости прекращают удаляться друг от друга и начинают снова двигаться друг другу навстречу — и рано или поздно мы получаем новое столкновение и новый Большой взрыв в каждой из них. Получается, что Вселенная циклична — она повторяется, пусть и в огромных временных масштабах, каждые несколько сотен миллиардов лет. С греческого языка слово «экипирозис» означает «возгорание» (однокоренное ему слово «пиротехника» вам наверняка знакомо), и поэтому фраза «экипиротическая Вселенная» напоминает каждому из нас, обладающему тайным знанием греческого, о том великом огне и той космически жаркой печи, в которой родилась в свое время та Вселенная, которую мы знаем сегодня.

У экипиротической модели Вселенной есть определенная эмоциональная и интеллектуальная привлекательность, которой, однако, оказалось недостаточно, чтобы завоевать умы и сердца многих коллег Штайнхардта из области космологии. Пока недостаточно, во всяком случае. Что-то отдаленно напоминающее такую экипиротическую модель может когда-нибудь оказаться тем самым прорывом в понимании происхождения и природы темной энергии, которого космологи,

затаив дыхание, ждут уже столько лет. Даже те, кто поддерживает антропный подход к ее трактовке, вряд ли будут упрямы, если появится новая теория, способная предложить хорошее объяснение тому, откуда и как берется космологическая постоянная, не прибегая к бесконечной веренице бесконечных вселенных, среди которых наша — просто особо удачливая. Как сказал как-то один из персонажей мультипликатора и художника Роберта Крама, «в каком же чудесном и безумном мире мы живем! Ура!».

Часть II

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ГАЛАКТИК
И СТРУКТУРА
ВСЕЛЕННОЙ**



Глава 7

КАК БЫЛИ ОБНАРУЖЕНЫ ГАЛАКТИКИ

Два с половиной столетия назад, незадолго до того, как английский астроном сэр Уильям Гершель собрал первый по-настоящему большой телескоп в мире, известная человеку Вселенная состояла всего лишь из звезд, Солнца и Луны, нескольких планет и нескольких спутников Юпитера и Сатурна, какого-то количества туманных объектов, а также Галактики, образующей молочно-белый пояс на талии ночного неба. Действительно, слово «галактика» переводится с греческого как «молоко». В небе были также обнаружены объекты неясного очертания, позднее названные туманностями* из-за того, что были до определенной степени бесформенными, например Крабовидная туманность в созвездии Тельца или туманность Андромеды, уютно расположившаяся в пределах созвездия Андромеды.

Телескоп Гершеля был оснащен зеркалом шириной 48 футов** — беспрецедентный формат в 1789 году, когда он был сооружен. Из-за своей сложной системы балок и стоек, необходимой для закрепления

* Термин англоязычного научного мира *nebula* происходит от латинского слова *nebula*, дословно означающего «облако».

** 48 футов = 14,6 м.

и направления его под нужным углом, телескоп был весьма неповоротливым, но, направляя его в небо, Гершель мог сразу же увидеть бесчисленные звезды, образующие Млечный Путь. С помощью этого 48-футового гиганта и еще одного телескопа поменьше Гершель и его сестра Каролина составили первый подробный каталог северных туманностей дальнего космоса. Сэр Джон — сын Гершеля — тоже внес вклад в семейное дело, дополнив составленный отцом и тетей каталог северных объектов: во время своего пребывания на мысе Доброй Надежды на юге Африки он добавил в него более 1700 туманных объектов, которые можно было разглядеть из Южного полушария. В 1864 году сэр Джон собрал все семейные открытия и записи в единый реестр, который назвал «Общим каталогом туманностей и скоплений звезд». В него вошло более 5000 наименований.

Несмотря на столь внушительный объем данных, в то время никто не понимал истинной природы туманностей, не представлял, насколько далеко от Земли они расположены или чем отличаются друг от друга. Тем не менее вышедший в 1864 году каталог позволил классифицировать туманности по их морфологическим признакам, то есть в зависимости от формы. В духе лучших традиций бейсбольных судей (первые появились одновременно с тем, как вышел каталог Гершеля-младшего) ученые дали туманностям названия по принципу «что вижу, то и пою». Туманности спиральной формы получили название спиральных; те, что напоминали эллипс, стали эллиптических; а все остальные, обладавшие неопределенными формами, были названы неправильными. Они добрались и до маленьких округлых туманностей, напоминающих в объективе телескопа планеты, и назвали их планетарными, что потом регулярно сбивало с толку новичков в области астрономии.

На протяжении почти всей своей истории астрономия придерживалась максимальной прямолинейности, используя описательные методы изучения, во многом схожие с принятыми в ботанике. Вооружившись все увеличивающимся списком обнаруженных звезд и туманных

объектов, астрономы искали в них сходства и различия, которые позволили бы классифицировать их тем или иным образом. Между прочим, это очень разумно. Многие люди с самого детства интуитивно склонны организовывать вещи согласно их внешнему виду и форме. Гершели предполагали, что раз уж наблюдаемые ими объекты занимают в ночном небе примерно одно и то же по размеру место, значит, они находятся на одном и том же расстоянии от Земли. По этой причине для них руководствоваться единым для всех туманностей принципом группирования и классификации было более чем естественно.

Однако это было грубой ошибкой — предполагать, что все туманности находятся на одном и том же расстоянии от нас. Природа бывает обманчива и даже коварна. Некоторые из туманностей в классификации Гершелей на самом деле находятся от нас не дальше, чем звезды, потому-то они столь малы (если, конечно, миллиарды километров от края до края — это «мало»). Другие туманности оказались гораздо дальше от нас, а это значит, что фактически они в разы крупнее тех туманных объектов, что находятся ближе (раз предстают перед нами в одном и том же размере).

Из этого важно вынести следующий урок: в какой-то момент нужно перестать заикливаться на том, как выглядит тот или иной предмет, и начать спрашивать себя, что он из себя представляет. К счастью, к концу XIX века научный и технологический прогресс позволил астрономам поступить именно так: заняться чем-то более интересным и важным, чем раскладывание по папкам и полочкам содержимого нашей Вселенной. Этот сдвиг ознаменовал собой рождение астрофизики, которая представляет собой прикладное применение законов физики к ситуациям и явлениям астрономических масштабов.

В то время, когда сэр Джон опубликовал свой внушительный каталог туманностей, был изобретен новый научный прибор — спектроскоп. Его единственное назначение — разбивать свет на богатую палитру составляющих его цветов. Эти цвета и их свойства не только

много рассказывают нам о химическом составе и строении света, но и благодаря явлению под названием «эффект Доплера» повествуют о движении источника света относительно Земли — навстречу нашей планете или прочь от нее.

Спектроскопия показала ученым кое-что удивительное: почти все спиральные туманности, которых особенно много сразу за пределами Млечного Пути, на высоких скоростях постоянно удаляются от Земли. В противовес этому все планетарные туманности и почти все неправильные туманности движутся с относительно низкой скоростью — некоторые навстречу нам, другие прочь от нас. Может, в самом сердце Млечного Пути произошел какой-то катастрофический взрыв, мощность которого изгнала за его пределы исключительно спиральные туманности? Может, мы как раз живем в момент (или, скорее, период) протекания этой катастрофы? Несмотря на технические инновации, которые в то время переживала фотография (включая появление пленок с эмульсионным покрытием более быстрого проявления) и которые позволяли астрономам измерять спектр даже наиболее бледных туманностей, ответа на вопрос, почему они продолжают уходить от нас одна за другой, так и не находилось.

Большая часть прорывов в астрономии, как и в других науках, связана с появлением более совершенных технологий. На рубеже 1920-х годов в обиходе ученых появился еще один ключевой инструмент: 100-дюймовый телескоп Хукера в обсерватории Маунт-Уилсон в окрестностях Пасадены, штат Калифорния, США. В 1923 году американский астроном Эдвин П. Хаббл с его помощью — а на тот момент это был самый большой телескоп в мире — обнаружил особый вид звезд, так называемые переменные звезды цефеиды, в туманности Андромеды. Переменные звезды любого типа обладают переменной светимостью, которая претерпевает изменения в соответствии с определенным циклом. Так, цефеиды, получившие свое название в честь одной из таких звезд, найденных в созвездии Цефея, отличаются исключительной светимостью (яркостью) и потому видны на очень далеких расстояниях.

Так как их светимость изменяется в рамках определенного цикла, терпение и упорство помогают дотошному наблюдателю обнаруживать все больше и больше таких звезд. Хаббл нашел несколько цефеид внутри Млечного Пути и прикинул их расстояние от Земли. К его изумлению, цефеида, обнаруженная им в туманности Андромеды, оказалась намного бледнее остальных.

Самое очевидное этому объяснение напрашивается само собой: новая переменная цефеида — как и ее «хозяйка» туманность Андромеды — находится гораздо дальше, чем цефеиды Млечного Пути. Хаббл понял, что его открытие отодвигает туманность Андромеды столь далеко, что она никак не может быть частью созвездия Андромеды, более того, она вообще не может входить в состав Млечного Пути; и если и был какой-либо (тогда предполагаемый) катастрофический инцидент, когда звездное молоко расплескалось за пределы Млечного Пути, то туманность Андромеды не могло просто выплеснуть из него вместе с ее спиральными сестрицами.

От напрашивающихся выводов захватывало дух. Открытие Хаббла показало, что спиральные туманности — это целые отдельные звездные системы, равноправные соседки Млечного Пути, в которых не меньше своих собственных звезд. Перекликаясь с идеей философа Эммануила Канта об «островных вселенных», полученные Хабблом данные демонстрировали, что за пределами нашей собственной звездной системы лежат десятки, а может, и сотни аналогичных систем — ведь цефеида в туманности Андромеды была тому лишь одним из множества сигнальных маяков. Туманность Андромеды оказалась... галактикой Андромеды.

К 1936 году с помощью телескопа Хукера было обнаружено и задокументировано уже так много островных вселенных, что и Хабблу тоже захотелось попробовать себя в морфологии. Его анализ типов галактик основывался на непроверенном предположении, что различия в их формах отражают собой различные стадии в эволюции галактики, от рождения до смерти. В 1936 году в своей книге под названием «Царство

туманностей»^{*} он классифицировал галактики, разместив их вдоль схемы, по форме напоминавшей музыкальный камертон. Его рукоятка представляла собой эллиптические галактики (наименее вытянутые, почти круглые попали в дальний край этой рукоятки, а наиболее вытянутые — в то место, где у рукоятки соединяются две ножки камертона). Вдоль одной из ножек расположились обычные спиральные галактики: у рукоятки — особенно туго скрученные, а на кончике ножки — наиболее «расправленные» и свободные. Вдоль другой ножки камертона разместились спиральные галактики, центральный регион которых представляет собой некую «перемычку», в остальном же они не отличаются от обычных спиральных галактик.

Хаббл предположил, что галактики приходят в этот мир в форме эллипса и становятся все более и более плоскими, продолжая принимать свойственную им форму, пока в какой-то момент не обретают спиральную структуру, постепенно расправляющуюся с течением времени. Прекрасная идея. Красивая идея. Даже изящная. Но в корне неверная. Мало того, что в эту схему совершенно не вписывались неправильные галактики всех форм и размеров, так астрофизикам еще и предстояло в будущем определить, что возраст самых старых звезд в каждой из галактик примерно одинаков. Это означает, что все галактики зародились в одну и ту же эпоху в истории Вселенной и сами по себе приняли ту или иную форму.

На протяжении следующих 30 лет (какое-то количество возможностей было, безусловно, упущено из-за Второй мировой войны) астрономы наблюдали и описывали свойства галактик в соответствии с диаграммой Хаббла, разделяя их на эллиптические, спиральные и спиральные с перемычкой, также не забывая о неправильных галактиках как малом подвиде, которому непосредственно на диаграмме нет места из-за своих странных форм. Говоря об эллиптических галактиках, можно процитировать слова Рональда Рейгана о калифорнийских красных соснах: видел одну — считай, видел их все. Эллиптические галактики очень

* От англ. The Realm of Nebulae.

похожи одна на другую: у них нет ни спиральных ответвлений одноименных галактик, ни гигантских облаков межзвездного газа и пыли, из которых рождаются новые звезды. В таких галактиках новые звезды перестали формироваться миллиарды лет назад, оставив за собой сферические или эллипсоидные группы звезд. В крупнейших эллиптических галактиках, как и в крупнейших спиральных, насчитываются многие сотни миллиардов звезд — возможно, их даже миллиарды или триллионы, — а их диаметры равны примерно сотне тысяч световых лет. Никто, кроме профессиональных астрономов, никогда не вздыхал от умиления или восхищения, исследуя фантастические структуры и истории происхождения сложных звездных формирований, коими являются эллиптические галактики, по одной замечательной причине: как минимум в сравнении со спиральными у эллиптических галактик довольно простая форма и формирование звезд в них происходило довольно очевидным образом — все они рождались из газа и пыли, пока эти газ и пыль не закончились.

К счастью, спиральные галактики — и с перемычкой, и без нее — восполняют недостаток увлекательности эллиптических галактик. Самое яркое и однозначно незабываемое изображение галактики «со стороны», что нам когда-либо предстоит увидеть, — это фотография всего Млечного Пути, которую нам когда-нибудь, может, посчастливится сделать. Нужно только отправить фотоаппарат на несколько сотен тысяч световых лет выше или ниже центральной плоскости нашей Галактики — и полученные кадры непременно захватят дух и зажгут умы и сердца. Если учитывать, что самые продвинутые космические зонды, которыми располагает человечество, смогли преодолеть на сегодня от силы одну миллиардную долю этого расстояния, такая задача кажется категорически невыполнимой. Действительно, даже если бы зонд смог развить скорость, близкую к скорости света, нам пришлось бы ждать очень и очень долго — гораздо больше лет, чем на данный момент насчитывает наша история, доступная в документальном виде, — чтобы посмотреть на результат. Так что пока астрономам остается и дальше составлять карту Млечного Пути изнутри и делать на-

броски этого галактического леса, вычерчивая его звездные и туманные деревья одно за другим. На данный момент мы можем утверждать, что наша галактика очень похожа на ближайшую ее соседку — огромную спиральную Галактику Андромеды. Удобно расположенная в 2,4 миллиона световых лет от нас, галактика Андромеды предоставила нам огромное количество бесценной информации о базовых структурных свойствах спиральных галактик, а также о различных типах звезд и об их эволюции. Так как все звезды галактики Андромеды находятся на одном и том же расстоянии от нас (плюс-минус несколько процентов), астрономы знают, что яркость сияния этих звезд напрямую связана с мощностью их излучения, то есть с тем количеством энергии, что они излучают каждую секунду. Астрономы не могут оперировать данным фактом, изучая объекты в собственном Млечном Пути, но он превращается в доступный инструмент исследования всех остальных галактик, позволяя сформулировать ряд ключевых выводов о звездной эволюции с гораздо меньшими трудозатратами, чем при изучении объектов Млечного Пути. Количество звезд, формирующих собой пару эллиптических галактик-спутников, вращающихся вокруг галактики Андромеды, составляет собой лишь несколько процентов от числа звезд самой Андромеды; но и они стали для нас источниками важной информации о том, как живут звезды, и о том, как формируются структуры эллиптических галактик. Ясной ночью, подальше от городских огней, старательный наблюдатель, знающий, куда смотреть, сможет найти в небе размытые контуры галактики Андромеды — самого далекого космического объекта из тех, что можно разглядеть невооруженным глазом. Она сияет светом, оставленным ею во Вселенной по мере удаления от нас еще тогда, когда наши с вами предки учились собирать ягоды и корни в африканских ущельях.

Как и Млечный Путь, галактика Андромеды лежит примерно в середине одной из «ножек камертона» диаграммы Хаббла: она не слишком туго скручена и не особо расправлена с точки зрения своей формы. Если бы галактики были животными в зоопарке, все эллиптические галактики поместились бы в одной клетке, а вот спиральным галактикам

понадобилось бы несколько полноценных вольеров. Изучать полученное с помощью телескопа Хаббла изображение одного из таких существ, которые позволяют нам увидеть себя с расстояния 10–20 миллионов световых лет (и это самые близкие из них), — значит шагнуть в невероятно насыщенный возможностями визуальный мир, столь непохожий на жизнь на Земле и столь замысловатый по структуре, что неподготовленный ум может пошатнуться от потрясения или же просто запустить защитный механизм, напоминая своему хозяину, что все это все равно не имеет ни малейшего применения на практике.

Неправильные галактики — эти сироты галактической классовой иерархии — составляют около 10 % всех галактик; все остальные — это преимущественно спиральные и некоторое количество эллиптических. В отличие от эллиптических, неправильные галактики зачастую содержат пропорционально больше газа и пыли, чем спиральные, и в них формирование новых звезд идет наиболее динамично. У Млечного Пути есть две крупные галактики-спутника — обе неправильные, в свое время их ошибочно называли Магеллановыми Облаками. Первыми, кто обратил на них внимание, были моряки, принимавшие участие в кругосветном плавании Магеллана в 1520 году. Они подумали, что видят клочья облаков в ночном небе. Экспедиции Магеллана выпала честь увидеть их потому, что Магеллановы Облака расположены так близко к Южному полюсу небесной сферы (речь идет о точке прямо над Южным полюсом Земли), что они никогда не оказываются над линией горизонта, которую могут видеть наблюдатели наиболее густонаселенных широт Северного полушария, включая жителей Европы и большей части США. В каждом из Магеллановых Облаков — миллиарды и миллиарды звезд, но все же не сотни миллиардов, что характерно для Млечного Пути и других крупных галактик. В них также можно обнаружить поистине монументальные регионы формирования звезд — самый известный из них называется Тарантулом и расположен в Большом Магеллановом Облаке. Эта галактика также знаменательна тем, что в ее составе была обнаружена самая близкая к нам и самая яркая сверхновая звезда за последние 300 лет:

она называется сверхновой 1987А (или SN 1987А). На самом деле она должна была взорваться примерно за 160 000 лет до н. э., чтобы в 1987 году ее свет смог наконец достигнуть Земли.

До 1960-х годов астрономов устраивала классификация галактик как спиральных, спиральных с перемычкой, эллиптических и неправильных. И правда была на их стороне, ведь более 99 % всех известных галактик можно было отнести к одному из этих классов. (Нельзя не признать, что это вообще беспроигрышный ход — назвать один из классов неправильными галактиками.) Но в то десятилетие американский астроном Хэлтон Арп стал настоящим чемпионом по обнаружению галактик, которые никак не хотели вписываться в относительно простую диаграмму Хаббла (даже с учетом удобного «неправильного» класса). Словно взяв на вооружение строки «отдайте мне всех тех, кого гнетет жестокость вашего крутого нрава, — изгоев, страстно жаждущих свобод»*, Арп воспользовался крупнейшим в мире телескопом — 200-дюймовым телескопом Хейла из Паломарской обсерватории (недалеко от Сан-Диего, штат Калифорния), чтобы запечатлеть на фото 338 исключительно неисправных на вид звездных систем. Издание «Атлас пекулярных галактик», вышедшее в 1966 году, стало настоящим сундуком сокровищ, каждое из которых прекрасный пример того, что в нашей Вселенной может пойти не так. Хотя «пекулярные галактики»** (галактики настолько странной формы, что их нельзя отнести даже к неправильным) и составляют крошечную долю всех галактик Вселенной, они представляют собой важный источник информации о том, какие нарушения в формировании галактик возможны в принципе. Например, оказалось, что многие странные галактики из «Атласа»

* Из поэмы Э. Лазарус «Новый колосс», цитата из которой начертана на пьедестале Статуи Свободы:

...Гремевшие в истории державы!

Отдайте мне всех тех, кого гнетет

Жестокость вашего крутого нрава, —

Изгоев страстно жаждущих свобод ... (Пер. с англ. В. Кормана.)

** От англ. peculiar — «необычный», «особенный», «непохожий на других».

являются совмещенными останками двух когда-то независимых друг от друга галактик, которые в какой-то момент столкнулись. Получается, что пекулярные галактики не всегда являются новым видом галактик, по крайней мере их столь же трудно отнести к новому виду, как и побывавший в аварии «Лексус» на основании того, что он уже не очень похож на новый, только что сошедший с конвейера.

Чтобы наблюдать, как разворачиваются подобные космические аварии, потребуется гораздо больше, чем карандаш и бумага: в обеих галактических системах есть свои звезды, а у каждой звезды — своя гравитация, и это одновременно оказывает воздействие на все остальные звезды обеих систем. Короче, вам потребуется компьютер. Столкновение галактик — это величественное зрелище, которое занимает сотни миллионов лет от начала и до конца. С помощью компьютерной симуляции вы можете запустить и в любой момент поставить на паузу процесс столкновения двух галактик, «фотографируя» происходящее, скажем, каждые 50 или 100 миллионов лет. Перед вашими глазами будут постоянно происходить изменения. Вот вы уже приоткрыли «Атлас» Хэлтона Арпа — вуаля! — и вот уже пошла ранняя стадия столкновения, а на следующей странице наступит и более поздняя стадия. Вот небольшое сотрясение, вот удар по касательной, а вот и лобовое столкновение!

Первые подобные компьютерные симуляции были выполнены в 1960-е годы, хотя еще в 1940-х годах шведский астроном Эрик Хольмберг сделал хитрую попытку воссоздать столкновение галактик «на коленке», используя свет в качестве аналога гравитационного взаимодействия. В 1972 году братья Алар и Юри Тумре, преподаватели Массачусетского технологического института, представили первое убедительное изображение «нарочито упрощенного» столкновения двух спиральных галактик. Модель Тумре показала, что приливные силы — различия в величине гравитации от одного участка пространства к другому — могут в буквальном смысле разорвать галактику на части. По мере приближения одной галактики к другой гравитация вдоль их

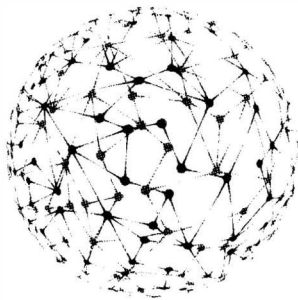
внешних границ стремительно возрастает, растягивая и искажая обе галактики в процессе их движения мимо или сквозь друг друга. Это растягивание и искажение является первоосновой причиной формирования тех самых пекулярных галактик из «Атласа» Арпа.

Как еще можно использовать компьютерные симуляции для лучшего понимания природы галактик? Камертон Хаббла подчеркивает разницу между «обычными» спиральными галактиками и теми, у которых в середине имеется плотная перемычка из звезд, словно прочерченная линия. Симуляции показали нам, что данная перемычка может с немалой вероятностью оказаться временным элементом структуры галактики, а не полноправным свойством, позволяющим выделить такие галактики в отдельный вид. Возможно, сегодняшние наблюдатели за галактиками с перемычкой просто видят их на том этапе, когда эта перемычка у них еще есть; возможно, через 100 миллионов лет ее уже не будет. Но мы не можем позволить себе задержаться на сотню миллионов лет, чтобы проверить, не исчезнет ли перемычка, — зато у нас есть компьютеры, которые способны сократить временные отрезки в миллиард лет до нескольких минут.

Пекулярные галактики Арпа оказались лишь верхушкой айсберга — странным миром таких «не совсем галактик», чьи очертания астрономы впервые разглядели в 1960-х годах, а еще несколько десятков лет спустя научились немного понимать. Прежде чем объяснить истинную важность и ценность этого галактического зоопарка, следует все же вернуться к истории эволюции космоса. Нам предстоит изучить происхождение всех галактик — обычных, почти обычных, неправильных, пекулярных и радикально экзотических, чтобы узнать, как они зародились, узнать, как так вышло, что нам повезло оказаться в этом относительно спокойном уголке космоса, где мы парим на окраине огромной спиральной галактики, примерно в 30 тысячах световых лет от ее центра и в 20 тысячах световых лет от ее зыбкого периметра. Благодаря общепринятому в спиральных галактиках порядку вещей, которому в первую очередь были вынуждены подчиниться газовые облака,

что позднее превратились в звезды, наше Солнце сегодня вращается вокруг центра Млечного Пути по практически идеальной круговой орбите, каждое «кругосветное» путешествие занимает у него 240 миллионов лет (это иногда называется космическим годом). Сегодня, через 20 космических лет после своего рождения, Солнце вполне бодро продолжает движение, и его заплата должно хватить еще как минимум на столько же.

А мы с вами пока узнаем о том, откуда в нашей Вселенной произошли галактики.



Глава 8

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СТРУКТУРЫ

Изучая историю происхождения и эволюции вещества во Вселенной, мы стремимся заглянуть как можно глубже в ее прошлое, насчитывающее 14 миллиардов лет, и тут же сталкиваемся с тенденцией, требующей разъяснения. В каждом уголке нашего необъятного космоса вещество всегда стремилось объединиться в структурные объекты. Начиная с почти идеально равномерного распределения в пространстве сразу после Большого взрыва, на протяжении всей своей истории частицы вещества тянутся друг к другу в самых разных масштабах, образуя гигантские кластеры и суперкластеры галактик, а также отдельные галактики внутри этих кластеров, отдельные звезды, из миллиардов которых формируются эти галактики, и все остальные еще меньшие объекты — планеты, их спутники, астероиды и кометы, что вращаются вокруг большей части (если не всех без исключения) звезд.

Чтобы понять происхождение тех объектов, из которых сегодня состоит обозримая Вселенная, нам следует сосредоточиться на механизмах, что когда-то преобразовали диффузную материю в многочисленные сложные структуры. Если мы хотим получить полноценное описание того, как в космосе смогли сформироваться отдельные структуры, потребуется каким-то образом срастить два свойства реального

мира, взаимодействие которых пока ускользает от нас. Как уже говорилось в предыдущих главах, нам нужно понять, как квантовая механика, описывающая поведение молекул, атомов и образующих их частиц, соотносится с общей теорией относительности, которая диктует нам условия и способы взаимодействия между космически огромными объемами вещества и мировым пространством.

Первые попытки создать единый теоретический свод знаний о субатомном малом и об астрономическом большом делал еще Альберт Эйнштейн. С относительно невзрачным успехом они совершаются и по сей день — и так будет еще долго, пока не состоится то самое «великое объединение». Среди всех неизвестностей и загадок, в которых вынуждены жить современные космологи, отсутствие единого свода законов физики для квантовой механики и общей относительности задевает их, несомненно, больше всего. Тем временем эти никак не поддающиеся смешению области физики — наука о малом и наука о большом — равнодушны к нашему невежеству и нашим мучениям: вместо этого они с удивительным успехом продолжают существовать бок о бок внутри одной Вселенной, снисходительно насмехаясь над нашими попытками сделать из них единое целое. Галактике из сотни миллиардов звезд неинтересно, как работают законы физики, согласно которым существуют и взаимодействуют атомы и молекулы, составляющие все ее звездные системы и газовые облака. Столь же равнодушны к этим процессам и более крупные скопления вещества, которые мы называем галактическими кластерами и суперкластерами, которые, в свою очередь, состоят из сотен и даже тысяч самостоятельных галактик. Но ведь самым своим существованием эти крупнейшие структуры во Вселенной обязаны тем самым крошечным квантовым флуктуациям первозданного космоса. Чтобы понять, как могли сформироваться эти структуры, нам нужно приложить максимум усилий с учетом наших общих сегодняшних неосведомленности и даже невежества для того, чтобы проследить всю цепочку трансформаций и явлений, весь путь от крохотных частиц, живущих по законам квантовой механики и являющихся ключом к разгадке самого происхождения структуры во Вселенной, до тех

громadных объектов, в жизни которых главную роль играет не квантовая механика, а законы и закономерности общей теории относительности.

Таким образом, нам предстоит рассмотреть структурированную Вселенную сегодняшнего дня как итог неких преобразований, через которые прошло все ее содержимое с момента Большого взрыва. Любая попытка нащупать происхождение структур в нашем мире в прошлом невозможна без учета того, в какой Вселенной мы живем в настоящее время. Но даже при выполнении столь скромной задачи астрономы и космологи не избежали ряда фальстартов и ошибок, которые мы (хотелось бы верить!) уже оставили позади, чтобы отныне шагать вперед в ярком свете верных представлений о мироздании.

На протяжении большей части истории современной космологии астрофизики предполагали, что распределение вещества во Вселенной можно охарактеризовать как гомогенное и изотропное. В гомогенной Вселенной любое место выглядит так же, как и любое другое, — как две капли гомогенизированного молока. Изотропная Вселенная выглядит одинаково с любой точки обзора в любой заданный момент времени, простираясь от наблюдателя во все стороны. На первый взгляд может показаться, что это одна и та же концепция, однако это не так. Например, линии долготы на Земле не являются гомогенными, потому что в одних местах они дальше друг от друга, чем в других, при этом в двух точках — на Северном и Южном полюсах — они изотропны, потому что там все линии долготы сходятся. Если встать «сверху» или «снизу» мира, сетка линий долготы будет выглядеть совершенно одинаково, куда бы вы ни посмотрели. Есть и другой пример: представьте себя на вершине идеально ровной конусообразной горы — единственного предмета рельефа в целом мире. С такой «жердочки», куда бы вы ни повернулись, Земля выглядела бы совершенно одинаково. Так же дела обстояли бы, если бы вы жили в самом центре круглой мишени для стрельбы и если бы вы были пауком в центре идеально симметричной паутины. Во всех этих случаях ваш обзор был бы изотропным, но определенно не гомогенным.

Пример гомогенной, но не изотропной ситуации — стена традиционной кладки из совершенно одинаковых прямоугольных кирпичей, такая, где каждый горизонтальный ряд словно сдвинут вправо или влево на полкирпича относительно предыдущего ряда. В масштабе нескольких расположенных поблизости друг от друга кирпичей и скрепляющего их раствора стена выглядит одинаково, какой ее участок ни выбери — кирпичи да кирпичи, — но взгляд, направленный в какую-либо сторону из разных точек на такой стене, будет наткаться на разные узоры линий цементного раствора; изотропии не получится.

Самое интересное заключается в том, что математический анализ сообщает: космос может быть гомогенным только в том случае, если он окажется одновременно и изотропным. Еще одна формальная математическая теорема подсказывает нам, что если космос оказывается изотропным в любых трех своих точках, то его изотропия повсеместна. А ведь кто-то отвергает науку математику как «неинтересную» и «неэффективную»!

Хотя космологи и предположили в первую очередь именно с эстетической точки зрения, что распределение вещества во Вселенной гомогенно и изотропно, со временем они приняли эту идею и в качестве фундаментального космологического принципа. Можем назвать его принципом заурядности: с чего бы это одной части Вселенной быть более интересной, чем другой? В малых масштабах расстояний и размеров ошибочность этого заявления сразу бросается в глаза. Мы с вами живем на твердой планете, где средняя плотность вещества составляет 5,5 грамма на кубический сантиметр (фанатам американской системы мер будет понятнее формулировка «340 фунтов на кубический фут»). Средняя плотность вещества на Солнце, типичной звезде нашей системы, составляет 1,4 грамма на кубический сантиметр. Межпланетное пространство между ними при этом отличается существенно меньшей средней плотностью вещества — она примерно в один миллиард раз меньше. Межгалактическое пространство, занимающее большую часть объема всей Вселенной, содержит менее одного атома вещества на

каждые десять кубических метров. Здесь средняя плотность вещества еще в один миллиард раз ниже, чем в межпланетном пространстве, — от этих чисел даже начинает казаться, что фразу «Ты довольно плотный!..» следует воспринимать исключительно как комплимент.

Раздвигая горизонты своих научных знаний, астрофизики обратили внимание на то, что галактики вроде нашего родного Млечного Пути состоят из звезд, которые «парят» в практически пустом межзвездном пространстве. Соответственно, и галактики тоже объединяются в кластеры, что напрямую нарушает условия как гомогенности, так и изотропии Вселенной. Но оставалась надежда, что стоит астрофизикам нарисовать подробную карту распределения вещества во Вселенной в самых крупных масштабах, как они заметят, что сами по себе галактические кластеры распределены в ней гомогенно и изотропно. Для того чтобы гомогенность и изотропия могли одновременно существовать в конкретно взятом регионе космоса, он должен быть настолько крупным, чтобы внутри него нельзя было обнаружить какие-либо уникальные структуры (или уникальное отсутствие структур). Возьмем какой-то условный фрагмент такого региона: условия гомогенности и изотропии диктуют нам, что общие свойства такого региона должны быть тождественны средним свойствам любого фрагмента из любой части данного региона. Было бы как-то неловко, если бы правая часть Вселенной выглядела совсем не так, как левая, правда?

Какого же размера регион нужно изучить, чтобы обнаружить гомогенную и изотропную Вселенную? Диаметр нашей планеты Земля составляет 0,04 световой секунды. Орбита Нептуна занимает в пространстве 8 световых часов. Звезды Млечного Пути образуют собой широкий и плоский диск примерно в 100 тысяч световых лет от края до края. Галактический суперкластер Девы, в который в том числе входит и наш Млечный Путь, достигает в ширину 60 миллионов световых лет. Получается, что подходящий объем, который, возможно, позволит нам обнаружить гомогенность и изотропию во Вселенной, должен превышать собой объем суперкластера Девы. Когда астрофизики занялись исследованием распределения галактик в космическом

пространстве, они обнаружили, что даже в столь гигантских масштабах — вплоть до сотни миллионов световых лет — Вселенная местами и временами демонстрирует нам огромные и относительно пустые пробелы в содержимом, окруженные галактиками, которые выстроились вокруг этих «пробелов», по структуре напоминая пересекающиеся листы бумаги или волокна. Нисколько не похожее на бурлящий энергией гомогенный космический муравейник, распределение галактик в таком масштабе напоминает собой большую банную мочалку.

Однако космологам в итоге удалось создать такую карту, в которой гомогенность и изотропия были несомненны. Оказывается, если взять фрагмент Вселенной шириной примерно 300 миллионов световых лет, он будет удивительно похож на любой такой же фрагмент из другого ее региона. Желанный и долгожданный критерий гомогенности был достигнут. Однако в более скромных масштабах все неравномерно распределенное вещество до сих пор выглядит более чем негетогенным и неизотропным.

Три столетия назад Исаак Ньютон задумался над тем, как могло вещество обрести структуру. Его изобретательный ум с легкостью принял концепцию изотропной и гетогенной Вселенной, но в нем не мог не прозвучать вопрос, который многие из нас себе и не задали бы: «Как можно сформировать какую бы то ни было структуру во Вселенной так, чтобы все составляющее ее вещество не собралось при этом в единую целую массу гигантских размеров?» Ньютон считал, что, раз мы такого во Вселенной не наблюдаем, значит, она бесконечна. В 1692 году в своем письме к Ричарду Бентли, одному из магистров Тринити-колледжа (или колледжа Святой Троицы) Кембриджского университета, Ньютон выдвинул следующее предположение.

«Мне кажется, что, если бы все вещество нашего Солнца и планет и все вещество Вселенной было бы равномерно рассеяно в небесных глубинах, и если бы каждая частица имела врожденное тяготение ко всем остальным, и если бы, наконец, пространство, в котором рассеяна эта материя, было конечным, веще-

ство снаружи этого пространства благодаря указанному тяготению влеклось бы ко всему веществу внутри и вследствие этого упало бы в середину всего пространства и образовало бы там одну огромную сферическую массу. Однако, если бы это вещество было равномерно распределено по бесконечному пространству, оно никогда не могло бы объединиться в одну массу, но часть его сгущалась бы тут, а другая там, образуя бесконечное число огромных масс, разбросанных на огромных расстояниях друг от друга по всему этому бесконечному пространству»^{}.*

Ньютон также предполагал статичность своей бесконечной Вселенной — она не расширялась и не сжималась. В такой Вселенной объекты «порождались» силами тяготения, тем притяжением, что каждый объект, обладающий массой, выказывает всем другим объектам системы. Его заключение о центральной роли гравитации в зарождении структуры пространства актуально и сегодня, хотя перед современными космологами стоит гораздо более тяжелая задача, чем в свое время перед Ньютоном. Вместо того чтобы наслаждаться теми удобствами, которые предлагала бы нам статическая Вселенная, мы вынуждены ни на минуту не забывать о том, что она, начиная непосредственно с момента Большого взрыва, постоянно расширяется, а это естественным образом препятствует скапливанию вещества в единую массу под воздействием гравитации. Задача по преодолению настойчивого противостояния космического расширения каким-либо гравитационным процессам встает еще более остро, когда вспоминаешь, что Вселенная выросла в размерах особенно стремительно в ближайшее после Большого взрыва время — и именно в ту эпоху начали формироваться первые ее структуры. На первый взгляд рассчитывать на то, что в тот период гравитации хватит на формирование огромных объектов из диффузного газа, глупо. Но каким-то образом гравитации это удалось!

В своем самом нежном возрасте Вселенная разрослась столь быстро, что, если бы она была строго однородной и изотропной в любых своих

^{*} Джинс Дж. Вселенная вокруг нас. — Л. — М.: Гостехиздат, 1932.

масштабах, гравитация просто не смогла бы одержать победу над расширением. Сегодня в мире не было бы ни галактик, ни звезд, ни планет или людей, только атомы равномерно заполняли бы собой мировое пространство. В этом скучном и неинтересном космосе не было бы ни одного восхищенного наблюдателя и ни одного достойного восхищения объекта. Но мы живем в веселой и увлекательной Вселенной именно потому, что в эти самые первые мгновения ее существования появились неоднородность и анизотропия вещества. Это как если бы из некоего бульонного кубика планировалось приготовить космический бульон из вещества и энергии самых разных концентраций. Если бы не этот бульонный кубик, стремительно расширяющаяся Вселенная не позволила бы гравитации стянуть хоть сколько-нибудь вещества в единые объекты и позднее сформировать знакомые нам структуры, которые мы сегодня частенько принимаем как должное, не задумываясь об их происхождении во Вселенной.

Откуда взялись эти отклонения — образцы неомогенности и анизотропии, ставшие семенами всей структуры нашей Вселенной? Ответ можно найти в царстве квантовой механики — Исааку Ньютону такое и присниться не могло, но это нужно нам для того, чтобы понять, откуда мы появились в этом мире. Квантовая механика сообщает, что в самых крошечных масштабах сохранить гомогенность и изотропию распределения вещества невозможно. Вместо этого нам предлагаются произвольные колебания в его распределении — компоненты приходят, уходят и возвращаются, и вещество начинает напоминать собой дрожащую массу исчезающих и возрождающихся частиц. В каждый конкретно взятый момент времени в одних регионах космоса частиц было чуть больше, чем в других, то есть плотность вещества там была выше. Из этой противоречащей здравому смыслу и в целом оторванной от реальности фантазии следует все, что мы имеем на сегодня, — все, что существует в мире. У чуть более плотных регионов было больше шансов привлечь к себе дополнительные частицы с помощью силы тяготения, после чего их шансы только возросли... и так до тех пор, пока из

соответствующих мест изначально чуть большего скопления вещества не сформировались определенные структуры.

Стремясь отследить формирование структур с эпох, последовавших вскоре за Большим взрывом, мы можем узнать кое-что полезное, если обратимся к уже знакомым нам двум ключевым вехам истории Вселенной: эпохе инфляции, когда она расширилась с выдающейся скоростью, и эпохе отсоединения примерно через 380 тысяч лет после Большого взрыва, когда реликтовое излучение перестало взаимодействовать с веществом.

Эпоха инфляции длилась где-то между 10^{-37} и 10^{-33} секундами после Большого взрыва, в этот относительно короткий срок канва пространства и времени расширялась быстрее скорости света — за одну миллиардную долю одной триллионной одной триллионной доли секунды она выросла от размера в одну сотню миллиардов миллиардов раз меньшего, чем протон, до примерно 4 дюймов* в диаметре. Да, наша Вселенная когда-то была размером с грейпфрут. Но что же стало причиной этой инфляции? У космологов есть главный подозреваемый — фазовое превращение, оставившее за собой видимый след в космическом реликтовом излучении.

Фазовые превращения (или переходы) встречаются отнюдь не только в космологическом контексте, например они часто происходят у нас дома. Мы замораживаем воду, чтобы получить кубики льда, кипятим воду, чтобы получить пар. Сладкая вода способна вырастить сладкие кристаллы на опущенной в нее нитке, а влажное и липкое тесто превращается в пирог, стоит подержать его немного в духовке. Заметили характерную тенденцию? В каждом случае подопытный материал очень сильно различается до и после перехода. Инфляционная модель Вселенной утверждает, что, когда Вселенная была юной, преобладающее в ней энергетическое поле претерпело фазовый переход — один из нескольких, что могли произойти в те далекие времена. Это конкретное событие не только запустило раннее и суперскоростное расширение

* 4 дюйма = 10,16 см.

Вселенной, но и наделило ее особенной тенденцией к переменному формированию более и менее богатых на вещество регионов. Эти переменные колебания впечатались в расширяющуюся канву пространства, создавая что-то вроде чернового наброска для будущего расположения галактик, которым еще только предстояло сформироваться. В лучших традициях Пу-Ба, персонажа из оперы Гильберта и Салливана «Микадо», который с гордостью отследил свое происхождение до «первозданной горстки атомов», мы тоже можем списать свое происхождение и начало формирования всех структур на колебания распределения вещества в субъядерном масштабе, которые имели место быть в эпоху инфляции.

Какие факты можно привести в поддержку этого смелого заявления? У астрофизиков нет возможности заглянуть в прошлое вплоть до первой в истории Вселенной $0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$ секунды, поэтому им остается лишь основная тому альтернатива — использовать научную логику для того, чтобы связать ту раннюю эпоху с другими, наблюдать за которыми у них возможность есть. Если теория инфляции верна, тогда изначальные колебания, образовавшиеся в ту эпоху (как неизбежное отражение законов квантовой механики, которая утверждает, что небольшие вариации плотности в целом однородной и изотропной жидкости время от времени неизбежны), вполне могли стать основой для формирования регионов с различной степенью концентрации вещества и энергии. Мы можем надеяться обнаружить доказательства таких вариаций где-то в реликтовом излучении, служащем авансценой, отделяющей текущую эпоху от первых моментов жизни новорожденной Вселенной и одновременно с этим помогающей связать одно с другим. Как мы уже знаем, реликтовое излучение состоит из фотонов, образовавшихся в первые несколько минут после Большого взрыва. В самом начале истории Вселенной эти фотоны еще взаимодействовали с веществом, врезаясь в любые атомы, что умудрялись сформироваться, на полной скорости — и так энергично, что атомы распадались обратно под этой бурной атакой. Но непрекращающееся расширение Вселенной, по сути, отобрало у фотонов их

энергию. В конце концов в момент наступления эпохи отсоединения ни у одного из таких фотонов уже не хватало энергии на то, чтобы прерывать движение электронов по своим орбитам вокруг протонов и ядер гелия. С тех самых пор, начиная примерно с 380 тысяч лет после Большого взрыва, атомы непоколебимы, за исключением некоторых локальных нарушений вроде излучения близлежащей звезды. В свою очередь, фотоны, продолжая все дальше терять энергию, так и путешествуют по Вселенной, формируя во всем своем множестве то самое фоновое космическое, или реликтовое, излучение.

Реликтовое излучение — это историческое вещественное доказательство, своеобразная фотография того, как выглядела Вселенная в эпоху отсоединения. Астрофизики научились изучать эту фотографию с все возрастающей точностью. Во-первых, сам факт существования реликтового излучения доказывает, что их базовое понимание устройства и истории Вселенной верно. Во-вторых, они провели многие годы, совершенствуя свои навыки и методики измерения этого самого реликтового излучения, и их замысловатые аэростаты и спутники подарили им карту микроскопических отклонений реликтового излучения от своей общей однородности. Эта карта словно документ, отражающий крохотные в прошлом колебания, размеры которых возрастали по мере расширения Вселенной в течение первых нескольких сотен тысяч лет после эпохи инфляции и доросли — за следующий миллиард лет или около того — до космических масштабов распределения вещества во Вселенной.

Каким бы удивительным это ни казалось, реликтовое излучение — тот самый инструмент, который позволяет нам выявить следы давным-давно исчезнувшей в реальности Вселенной и определить местонахождение вплоть до расстояний в 14 миллиардов световых лет в любом от нас направлении — регионов чуть большей плотности вещества: им-то и предстоит стать галактическими кластерами и суперкластерами. Регионы с плотностью вещества чуть выше среднего оставили за собой чуть больше фотонов, чем регионы с плотностью чуть ниже средней. В то время как Вселенная неумолимо обретала прозрачность, что

происходило за счет постепенной утраты фотонами энергии (из-за чего они все хуже взаимодействовали с формирующимися атомами), каждый фотон отправлялся в путешествие, уносясь очень и очень далеко. Наше непосредственное окружение (в космосе) покинуло множество фотонов, которые в течение 14 миллиардов световых лет разбегались от нас во всех направлениях, становясь частью реликтового излучения, которое, возможно, в этот самый момент изучают сторонние наблюдатели — представители далеких неземных цивилизаций на том краю Вселенной, а «их» фотоны, в свою очередь, добравшись до нас, рассказывают нам о том, как обстояли дела в далеком и глубоком прошлом — в те времена, когда наша Вселенная лишь начинала обретать свою структуру.

Начиная с 1965 года, когда впервые было обнаружено реликтовое излучение, астрофизики вот уже более четверти века пребывают в поисках в нем анизотропий. С теоретической точки зрения найти их — острая необходимость, потому что без наличия в реликтовом излучении анизотропий на уровне нескольких сотенно-тысячных долей вся их базовая модель о зарождении структуры потеряет актуальность. Без тех крошечных посевов вещества, о которых говорят отклонения от равномерного распределения реликтового излучения, у нас нет никакого объяснения того, почему мы с вами существуем. И ученым снова повезло! Обнаружение анизотропий состоялось словно по заранее оговоренному расписанию. Как только космологам удалось создать инструменты, способные обнаружить анизотропии на соответствующем уровне, они их и обнаружили: сначала с помощью спутника COBE в 1992 году, а затем и при участии много более точных инструментов, увлекаемых в небо аэростатами, и, конечно же, спутника-зонда WMAP из главы 3. Крошечные разночтения в локальной концентрации микроволновых фотонов, образующих собой реликтовое излучение, определенные с впечатляющей точностью спутником WMAP, несут в себе, как записи в личном дневнике Вселенной, картину космических флуктуаций в то время, когда после Большого взрыва прошло 380 тысяч лет. Типичные колебания приходятся всего лишь на несколько сотенно-

тысячных долей градуса — выше или ниже средней температуры реликтового излучения, поэтому находить их — словно выискивать едва различимые пятна масла на поверхности пруда диаметром в одну милю, делающие местами воду лишь чуть более плотной на вид. Как бы малы ни были эти анизотропии, их оказалось достаточно для того, чтобы запустить механизм формирования структуры.

Спутник WMAP помог создать карту реликтового излучения, на которой более крупные и «горячие» участки соответствуют тем регионам, в которых гравитация смогла преодолеть процесс постоянного расширения Вселенной и собрать в одном месте достаточное количество вещества, чтобы в итоге создать из него галактические суперкластеры. Сегодня эти регионы вмещают в себя около тысячи галактик каждый, а каждая такая галактика состоит из сотен миллиардов звезд. Если мы добавим нужное количество темной материи в такой среднестатистический суперкластер, его суммарная масса достигнет величины, равнозначной массе 10^{16} Солнц. Соответственно, более крупные и «прохладные» участки, лишенные возможности противостоять расширению Вселенной, в итоге превратились в огромные пустоты, практически лишенные каких-либо крупных структур. Астрофизики называют такие регионы «войдами»^{*}: сам термин подразумевает, что такой космический участок окружают непустые «не войды». Получается, что гигантские стены и нити галактик, которые мы видим в небе, не только формируют кластеры в местах своего пересечения, но и очерчивают собой самые причудливые с точки зрения геометрии границы космических пустырей.

Галактики не появились просто так, сами по себе, не сформировались полностью в мгновение ока из скоплений вещества, чуть более концентрированных, чем в среднем по Вселенной. Начиная с 380 тысяч лет после Большого взрыва и еще примерно в течение 200 миллионов лет после этого вещество продолжало понемногу накапливаться, но в той Вселенной еще ничего не сияло — ее первым звездам пока только предстояло появиться на свет. В эту темную эпоху космической истории

* От англ. void — «пустота».

во Вселенной было только то, что она произвела в первые несколько минут своего существования: водород и гелий, а также ничтожное количество лития. Более тяжелых химических элементов (углерода, азота, кислорода, натрия, кальция и т. д.) еще просто не было, и в космосе не нашлось бы ни одной из широко известных сегодня молекул или атомов, которые могли бы поглощать излучение новорожденной звезды. Сегодня, в присутствии таких молекул и атомов, свет заново сформировавшейся звезды оказывает на них давление, отталкивая от себя огромные объемы газа, который в противном случае упал бы на саму звезду. Подобное отталкивание накладывает естественное ограничение на максимально возможную массу новорожденной звезды: она составляет менее одной сотой доли от массы Солнца. Но когда начали формироваться самые первые звезды, отсутствие таких молекул и атомов, которые могли бы поглотить их сияние, стало причиной того, что этот газ состоял почти целиком из водорода и гелия, чего даже формально не хватало для того, чтобы противостоять звезде. Это позволило сформироваться звездам с многократно большими массами — в сотни и даже тысячи раз тяжелее Солнца.

Звезды с большой массой живут на полную катушку, и чем больше такая звезда, тем короче ее жизненный цикл. Они переводят вещество в энергию с ошеломляющей скоростью, вырабатывая более тяжелые химические элементы и умирая в пламени взрыва еще «совсем юными». Продолжительность их жизни составляет не более нескольких миллионов лет, а это, в свою очередь, менее одной тысячной доли от предполагаемой продолжительности жизни Солнца. Сегодня вряд ли осталась хотя бы одна звезда из той далекой эпохи: эти ранние пташки должны были выгореть многие миллионы лет назад. Более того, сегодня, когда более тяжелые химические элементы встречаются в самых разных уголках Вселенной, формирование новых подобных звезд с огромной массой в принципе невозможно. И действительно — на сегодня ученым не удалось обнаружить и изучить хотя бы одну звезду-гиганта «тех времен». Но мы приписываем им ответственность за то, что когда-то они впервые привнесли во Вселенную все те ее столь знакомые элемен-

ты, которые мы сегодня воспринимаем как должное: углерод, кислород, кремний и железо. Хотите, называйте это «обогащением» или «загрязнением». Однако отрицать нельзя: жизнь впервые зародилась в тех самых первых звездах-гигантах.

В первые несколько миллиардов лет после эпохи отсоединения провоцируемый гравитацией коллапс шел довольно азартно: сила тяготения стогнала вещество в различные скопления самых разных масштабов. Одним из естественных последствий бесперебойной работы гравитации служит формирование сверхмассивных черных дыр, масса каждой из которых составляет в миллионы и даже миллиарды раз больше, чем масса Солнца. Площадь черных дыр, обладающих подобной массой, соответствует диаметру орбиты Нептуна, и они наносят основательный ущерб своему ближайшему окружению. Газовые облака, которые притягивает к таким черным дырам, стремятся набрать скорость, но не могут, потому что на пути у них встречается слишком много препятствий. Вместо этого они врезаются и впечатываются во все те препятствия на их пути к черной дыре, образуя в своем окружении нечто вроде бушующего водоворота. Но буквально перед тем, как такие облака исчезнут навсегда, все эти столкновения с их раскаленным веществом становятся источниками титанических объемов энергии, в миллиарды раз превышающих сияние Солнца, и все это в пределах Солнечной системы. Громадные потоки вещества и излучения выплескиваются вперед, оставляя след в сотни тысяч световых лет над и под вихреобразными потоками газа, в то время как энергия рвется наружу, стремясь во что бы то ни стало покинуть эту воронку. Пока коллапсирует одно облако, а другое уже ждет своей очереди, подтягиваясь все ближе, яркость свечения всей системы колеблется, демонстрируя то повышенное, то пониженное излучение в течение часов, дней или недель. Если потоки энергии будут направлены прямо на вас, система покажется вам еще более яркой, а вариации в ее свечении — более явными. Это в отличие от тех случаев, когда такие потоки движутся куда-то вбок. Если взять все участки, попадающие под описание в стиле «у нас есть черная дыра, и в нее падает вещество», они окажутся на удивление небольшими

и при этом очень яркими по сравнению с той галактикой, что мы можем наблюдать сегодня. Дело в том, что во Вселенной есть еще один тип объектов, чье рождение мы только что проследили на словах, — квазары.

Квазары были обнаружены в начале 1960-х годов, когда астрономы стали переходить на телескопы с детекторами, достаточно чувствительными для того, чтобы реагировать на невидимое излучение, такое как радиоволны и рентгеновские лучи. Новые портреты галактик теперь могли также включать в себя информацию о том, как выглядят галактики в гораздо более широком диапазоне спектра электромагнитного излучения. Добавьте сюда дальнейшие улучшения в составе и работе фотоэмульсий — и из глубин космоса уже выглядывает целый новый зоопарк различных видов галактик. Наибольший интерес среди них представляли объекты, которые на фотографиях выглядели как обычные звезды, но, в отличие от звезд, обладали исключительно высоким радиоизлучением. В качестве рабочего описания для этих объектов был выбран термин «квазизвездный источник радиоизлучения», быстро сократившийся до одного слова — «квазар»*. Еще больший интерес вызвало даже не столько радиоизлучение данных объектов, сколько их удаленность: как отдельный класс небесных тел они оказались самыми далекими из всех известных нам объектов во всей Вселенной. Будучи столь небольшими и при этом обладая столь высокой светимостью, которая делала их видимыми на немыслимо огромных расстояниях, квазары явно походили на принципиально новый тип небесного объекта. Что значит «небольшими»? Не больше Солнечной системы. Что значит «высокая светимость»? Это значит, что даже самый захудалый и бледный квазар излучает больше света, чем среднестатистическая галактика.

К началу 1970-х годов астрофизики сошлись на том, что двигателем и сердцем квазаров являются сверхмассивные черные дыры, поглоща-

* Англ. термин *quasistellar radio source*, давший название квазарам (*quasar*), означает «похожий на звезду источник радиоизлучения».

ющие за счет своей гравитации все, до чего «могут дотянуться». Такая модель учитывает относительно малый размер квазаров и их яркость, но ничего не рассказывает нам об источниках питания черных дыр. Только в 1980-х годах астрофизики начнут проникать в устройство окружающей среды квазаров. Огромная яркость центральных регионов квазара не давала толком рассмотреть его более бледное окружение, однако с помощью новых методик визуального приглушения центрального свечения квазаров астрофизикам удалось обнаружить слабосветящиеся туманности, окружающие некоторые из менее ярких квазаров. По мере совершенствования методик и технологий обнаружения излучения было продемонстрировано, что такая туманность есть вокруг каждого квазара, более того, выяснилось, что некоторые из них обладают спиральной структурой. Оказывается, квазар — это не новый тип объекта, но скорее новый тип галактического ядра.

В апреле 1990 года Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) отправило в космос один из самых дорогих астрономических инструментов в истории человечества — космический телескоп Хаббла. Размером с крупный автобус и управляемый с Земли, телескоп Хаббла занял наблюдательную позицию на орбите за пределами нашей атмосферы, частично искажающей получаемые с Земли картины космоса. Как только астронавты установили линзы, исправляя ошибки в рабочих характеристиках его основного зеркала, телескоп получил возможность заглядывать в ранее не описанные учеными регионы обычных галактик, включая их самый центр. Бесстрастно изучая эти центры, телескоп обнаружил в них звезды, движущиеся с неприлично высокой скоростью — это с учетом воздействия на них гравитации других близлежащих звезд, обнаруживаемых за счет своего излучения. М-м-м... сильная гравитация... малая площадь... да это же черная дыра! Одна за другой, целыми десятками, галактики обнаруживали в самом своем центре подозрительно проворные звезды. Всегда, когда телескопу Хаббла удавалось получить ясный и четкий обзор центра такой галактики, там находились такие звезды.

Теперь уже не кажется невероятным, что внутри каждой огромной галактики находится сверхмассивная черная дыра, которая могла бы служить неким гравитационным зерном, вокруг которого постепенно собирается вещество, в том числе с самых окраин галактики. Но не все галактики в своей молодости представляли собой квазары.

От постоянно растущего списка обычных галактик, в сердце которых обнаруживались черные дыры, исследователи постепенно испытывали все большее изумление: сверхмассивная черная дыра, которая не является квазаром? Квазар, вокруг которого расположилась целая галактика? Отогнуть от себя вырисовывающуюся новую картину мироздания становится все труднее. Эта картина повествует о том, что некоторые галактики начинают свое существование в качестве квазаров. Чтобы быть квазаром, который, по сути, представляет собой яростно сияющее ядро в остальном заурядной галактики, системе нужна не только массивная и голодная черная дыра в самом своем центре, но и щедрый запас падающего в нее газа. Как только сверхмассивная черная дыра поглотит всю доступную в ее окружении пищу, оставляя нетронутыми более далекие звезды и газ, занимающие безопасно удаленные орбиты, квазар просто «выключается». И мы получаем смирную галактику, в центре которой спит, сладко посапывая, сытая черная дыра.

Астрономы нашли и другие новые типы объектов, которые они классифицировали как нечто среднее между квазарами и нормальными галактиками. Их свойства тоже зависят от хулиганского поведения сверхмассивных черных дыр. Иногда потоки вещества, падающего в направлении центральной черной дыры, движутся медленно и однообразно. В других случаях эти потоки «рваные» и эпизодичные. Подобные системы населяют мировой зверинец галактик с активными, но не агрессивными ядрами. За прошедшие годы для разных типов таких объектов сформировались и устоялись определенные названия: слабоионизированные регионы с узкими эмиссионными линиями (англ. LINERs — low-ionization nuclear emission-line regions), сейфертовские галактики, N-галактики, блазары. Все вместе они называются АЯГ, что расшифровывается как «активные ядра галактик». В отличие

от квазаров, которые можно обнаружить лишь на огромных расстояниях от нас, АЯГ появляются как далеко, так и относительно близко от нас. Получается, что АЯГ дополняют собой список непослушных галактик-хулиганок. Квазары уже давным-давно «отобедали», и мы можем видеть их лишь тогда, когда заглядываем в далекое прошлое, изучая их излучение. Зато АЯГ отличаются более скромным аппетитом, поэтому для некоторых из них «обед» может затянуться на несколько миллиардов лет.

Классификация АЯГ исключительно на основании их внешнего вида, безусловно, не позволяет составить полноценное представление об их природе, поэтому астрофизики делят АЯГ на категории по спектру и по диапазону их электромагнитного излучения. В период середины и конца 1990-х годов исследователи усовершенствовали свою модель черных дыр и обнаружили, что могут достаточно точно описать практически всех обитателей разношерстного зверинца АЯГ, измерив лишь несколько параметров: массу черной дыры объекта, скорость поглощения ею окружающего материала и наш угол обзора аккреционного диска и его потоков материала. Если бы, к примеру, нам довелось проследить взглядом прямо в направлении такого потока, появляющегося из окрестностей сверхмассивной черной дыры, мы увидели бы гораздо более яркий объект, чем если бы смотрели на него сбоку под принципиально другим углом. Вариации в данных трех параметрах позволяют описать практически весь впечатляющий диапазон квазаров, который на данный момент знаком астрофизикам, сводя на нет определенные видовые классификации и в обмен предлагая более глубокое понимание того, как формируются и эволюционируют галактики. Сам факт того, что столь многое можно отразить всего лишь несколькими переменными (различия в формах, размерах, светимости и палитре), является незаслуженно невоспетым триумфом астрофизики конца XX века. Да, на это ушло много лет, много часов, проведенных у телескопа, на это были положены усилия множества людей, поэтому в вечернем выпуске новостей об этом не всегда услышишь, но в том, что это самый настоящий триумф, нет ни малейшего сомнения.

Не будем делать поспешных заключений о том, что сверхмассивные черные дыры являются ключом к объяснению всех и вся. Даже несмотря на то, что они обладают массой, в миллионы и миллиарды раз превосходящей массу Солнца, их вклад незначителен по сравнению с вкладом тех галактических масс, внутри которых они расположены. Как правило, масса черной дыры составляет менее 1 % суммарной массы крупной галактики. Принимая во внимание существование темной материи или других невидимых нам источников гравитации во Вселенной, мы можем считать такие черные дыры несущественными и не принимать их гравитационное воздействие в расчет. Но когда мы подсчитываем, сколько энергии они производят (речь об энергии, излученной в процессе формирования), то оказывается, что черные дыры играют преобладающую роль в энергетическом обороте формирования галактик. Вся энергия всех орбит всех звезд и газовых облаков, составляющих собой галактику, меркнет в сравнении с энергией, необходимой для существования черной дыры. Без сверхмассивных черных дыр где-то в подвалах мироздания галактики могли вообще никогда не сформироваться. Когда-то сияющая, а ныне невидимая черная дыра, парящая в центре каждой гигантской галактики, является тайной связкой — физическим объяснением того, как могло вещество собраться в сложную систему из миллиардов звезд, вращающихся вокруг общего для них центрального ядра.

Более широкое объяснение принципа формирования галактик основано не только на гравитации сверхмассивных черных дыр, но и на гравитации в более традиционном астрономическом ее понимании. Что соединило миллиарды звезд в одну галактику? Это заслуга гравитации, благодаря которой в одном облаке газа и материи образовывалось до сотен тысяч звезд. Большинство звезд галактики рождается в довольно «демократичных» скоплениях вещества. Более компактные регионы звездообразования остаются различными «звездными скоплениями», внутри которых звезды вращаются вокруг центра скопления, прокладывая себе траектории в пространстве и повинаясь хореографии чудесного космического балета, поставленного главным маэстро —

гравитацией, которую излучают все остальные звезды внутри скопления. Не забывайте о том, что каждое такое скопление — кластер — само вращается по своей собственной орбите вокруг центра галактики, пребывая в безопасном удалении от разрушительной силы центральной черной дыры.

Внутри самого кластера звезды движутся с разной скоростью, некоторые из них так быстро, что рискуют вообще покинуть систему, «вылетев» из нее. Иногда это действительно происходит — особенно быстрые звезды вырываются из-под влияния гравитации всего кластера и отправляются в свободное плавание по галактике. Такие свободно пасущиеся звезды вместе с так называемыми шаровыми звездными скоплениями, содержащими сотни тысяч звезд каждое, становятся частью сферических гало галактик. Изначально светящиеся, но на сегодня уже лишившиеся своих самых ярких звезд из-за их короткой продолжительности жизни, галактические гало — самые древние видимые объекты во всей Вселенной; их свидетельства о рождении можно проследить вплоть до формирования самих галактик.

Последние в очереди на коллапс, а значит, и последние в очереди на превращение в звезды — это газ и звездная пыль, которые притягивает и удерживает на себе галактическая плоскость. В эллиптических галактиках ее не существует, так как в них весь газ уже давно превратился в звезды. Зато в спиральных галактиках вещество распределено очень «плоско»: для них характерна некая центральная плоскость, внутри которой самые молодые и яркие звезды формируют спиральные нити, что является доказательством крупнейших вибрирующих волн плотного и разреженного газа, сменяющих друг друга и вращающихся вокруг центра галактики. Как горячие кусочки зефира, мягко слипающиеся, если прижать их друг к другу, весь газ в спиральной галактике, который не смог принять участие в создании звездных кластеров, уже упал в направлении галактической плоскости, собрался в единое целое и сформировал собой диск вещества, из которого там будут медленно создаваться звезды. Так было на протяжении последних миллиардов лет, и так будет продолжаться еще многие миллиарды лет: в спиральных

галактиках будут формироваться звезды, и каждое поколение будет все богаче на тяжелые химические элементы, чем предыдущее. Эти тяжелые элементы (под ними астрофизики подразумевают все, что тяжелее гелия) были выпущены в межзвездное пространство исходящими потоками вещества от стареющих и слабеющих звезд или попали туда после взрыва какой-нибудь звезды с большой массой, одной из сверхновых. Их существование располагает галактику, а значит, и всю Вселенную к тем химическим процессам, что необходимы для зарождения и поддержания жизни.

Мы описали в общих чертах процесс рождения классической спиральной галактики, взяв за основу эволюционную последовательность, которая повторялась в мире десятки миллиардов раз, создавая галактики самых разных формирований: кластеры галактик, нити и ленты галактик, а также пласты галактик.

Из-за того что, заглядывая в глубину космоса, мы смотрим в прошлое, у нас есть уникальная возможность рассматривать галактики не такими, какие они есть сейчас, а такими, какими они были миллиарды лет назад. Для этого нам достаточно лишь поднять глаза к небу. Однако воплотить это в реальность не так уж просто: расположенные от нас в миллиардах световых лет галактики выглядят ужасно маленькими и бледными, и даже наши лучшие телескопы могут лишь с трудом зафиксировать их общие очертания. Тем не менее астрофизики сделали существенный прорыв в этом направлении за последние несколько лет. Главный успех пришелся на 1995 год, когда Роберт Уильямс, занимавший тогда должность директора Института исследования космоса с помощью космического телескопа при университете Джона Хопкинса*, направил телескоп Хаббла в одном-единственном направлении — примерно в сторону Большой Медведицы — и оставил его записывать наблюдения в течение целых десять дней. Это считается заслугой в первую очередь Уильямса потому, что Комитет по распределению рабочего времени телескопа, дающий к нему ограниченный

* Англ. Space Telescope Science Institute at John Hopkins University.

доступ на основании одобренных им же заявок на различные космические исследования, изначально отказал Уильямсу в его запросе. Уильямс просил десять дней на изучение региона, специально выбранного за отсутствие в нем чего-либо откровенно интересного, — типичного «скучного» участка неба. Соответственно, от его исследований другим текущим проектам не было бы особой пользы, а ведь конкуренция за драгоценные часы у телескопа и так была очень высокой. К счастью, Уильямс, как директор Института исследования космоса, имел право на бронирование времени у телескопа в «личных директорских целях», он не постеснялся воспользоваться этим преимуществом — и по итогам проекта Hubble Deep Field* получил одну из самых знаменитых фотографий в мире астрономии.

Десятидневное наблюдение, случайно совпавшее с временным прекращением работы американского правительства в 1995 году, подарило миру самый изучаемый и исследуемый снимок в истории астрономии. Усыпанный галактиками и галактикообразными объектами, он предлагает нам своеобразный космический палимпсест, на котором объекты, находящиеся на самых разных расстояниях от Млечного Пути, оставляли свои автографы светом на протяжении многих лет. Обзор демонстрирует нам объекты такими, какими они были, скажем, 1,3 миллиарда, 3,6 миллиарда, 5,7 миллиарда или 8,2 миллиарда лет назад, и эпоха каждого объекта определяется его удаленностью от нас. Сотни астрономов уцепились за этот кладезь информации, уместившийся на одном-единственном снимке, чтобы получить новые данные о том, как эволюционировали галактики, и о том, как они выглядели в ближайшее время после своего формирования. В 1998 году телескоп добавил к этому снимку еще один — так называемый Hubble Deep Field South. На этот раз в течение десяти дней наблюдения непрерывно велись на другом участке неба — в противоположном направлении от первого, над Южным полушарием. Сравнение двух снимков позволило астрономам

* С англ. Hubble Deep Field можно перевести как «Глубинное месторождение Хаббла»; термин *deer field* относится к области добычи нефти, а в данном контексте отсылает к «месторождениям звезд».

убедиться, что результаты первого из них не являются аномальными (например, если бы оба снимка получились совершенно идентичными или же категорически разными вплоть до мельчайших подробностей, мы могли бы заподозрить тут происки потусторонних сил), а также дополнительно скорректировать умозаключения о том, как рождаются и формируются разные типы галактик. После успешного ремонтного обслуживания, в рамках которого телескоп Хаббла был оснащен еще более чувствительными детекторами, Институт исследования космоса с помощью космического телескопа не смог устоять перед тем, чтобы в 2004 году не дать разрешения на проект Hubble Ultra Deep Field, в рамках которого предстояло проникнуть в еще более далекие регионы Вселенной.

К сожалению, самые ранние стадии формирования галактик, которые можно было бы оценить, наблюдая за еще более далекими звездными скоплениями, оказались недоступны даже для телескопа Хаббла — не в последнюю очередь потому, что космическое расширение сместило бóльшую часть их излучения в инфракрасный диапазон спектра, который остается недоступным для оборудования телескопа. Для того чтобы увидеть эти еще более дальние галактики, астрономы ждут разработки, сборки, запуска и успешной работы приемника телескопа Хаббла — космического телескопа имени Джеймса Уэбба (James Webb Space Telescope, или JWST), получившего свое название в честь главы NASA времен запуска спутника «Аполлон». (Циники поговаривают, что такое имя, в отличие от имени какого-нибудь знаменитого ученого, телескопу дали для того, чтобы проект по его созданию не мог быть отменен, ведь в таком случае будет затронуто наследие важного должностного лица.)

Телескоп JWST будет оснащен более крупным зеркалом, чем хаббловский, и оно будет разворачиваться и раскрываться, распускаясь в космосе замысловатым механическим цветком для того, чтобы сформировать отражающую поверхность, превышающую по площади любую из тех, что вообще можно разместить на борту наших космических ракет. Новый космический телескоп также будет оснащен богатым инстру-

ментарием, превосходящим оснащение телескопа Хаббла, которое было изначально разработано в 1960-х годах, построено в 1970-х годах и запущено в работу в 1991 году. По этой причине, хотя в 1990-х годах оно и было усовершенствовано, оборудование «Хаббла» все-таки не обладает фундаментальными возможностями вроде умения обнаруживать инфракрасное излучение. Некоторые из подобных возможностей сегодня есть у космического телескопа «Спитцер»^{*}, запущенного в космос в 2003 году: он вращается вокруг Солнца и расположен гораздо дальше от Земли, чем телескоп Хаббла, что позволяет ему обходить помехи в виде бесчисленных потоков инфракрасного излучения, источником которого является наша планета. Аналогичным образом телескопу JWST также будет нужно расположиться на орбите, намного более удаленной от Земли, чем хаббловская, что, в свою очередь, означает, что отправить к нему команду техобслуживания будет невозможно, так что было бы неплохо, если бы у NASA в этот раз все получилось с первого же раза. Работая в тандеме с новым космическим телескопом, как и раньше, крупные наземные инструментальные обсерватории смогут подробно изучить то космическое наследие, которое станет доступным нам вместе со следующим большим шагом в направлении «инструментального» освоения космоса человеком.

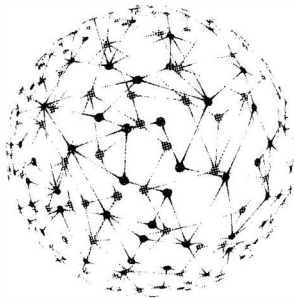
Какие бы открытия ни были осуществлены в будущем, нельзя забывать о впечатляющих достижениях астрофизики последних трех десятилетий, которые являются плодом умелого создания все более новых инструментов для наблюдений за Вселенной. Карл Саган любил повторять, что только сделанный из дерева человек не способен испытывать восхищение и уважение ко всему, что на сегодня удалось сотворить космосу. Благодаря новым возможностям наблюдения мы теперь знаем больше, чем Саган в свое время, о той изумительной последовательности событий, что легли в основу нашего существования. Знаем о квантовых флуктуациях в распределении вещества и энергии в масштабе менее одного протона, которые в результате

^{*} Полное название — Инфракрасный телескопический аппарат им. Спитцера (Spitzer InfraRed Telescope Facility, или, сокращено, SIRTf).

привели к формированию суперкластеров галактик размером до 30 миллионов световых лет от края до края. От хаоса к космосу эта причинно-следственная связь охватывает более 38 степеней десяти в размере и более 42 степеней десяти во времени. Словно микроскопические нити ДНК, которые определяют сущность макроскопического биологического вида и уникальные характеристики составляющих его особей, так и современный образ Вселенной был вплетен в ее канву с самого начала и пронесен сквозь время и пространство. Мы ощущаем это, когда смотрим вверх. Мы ощущаем это, когда смотрим вниз. Мы ощущаем это, когда заглядываем внутрь самих себя.

Часть III

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ЗВЕЗД**



Глава 9

ПЫЛЬ К ПЫЛИ

Выбравшись подальше от городских огней и взглянув на ясное ночное небо, вы сразу заметите облачное формирование бледного света, местами дополненное более темными пятнами, которое тянется от горизонта до горизонта. Уже давно известная всем как небесный «млечный путь» (да, с маленькой буквы), эта молочно-беловатая дымка несет в себе свет огромного количества звезд и газовых туманностей. Те, кому посчастливится глядеть на «млечный путь» сквозь бинокль или собственный домашний телескоп, смогут увидеть, как при приближении более темные и скучные участки... остаются такими же темными и скучными, в то время как яркие участки неба превращаются из диффузного сияния в бесчисленные звезды и туманности.

В свою небольшую книгу «*Звездный вестник*» (*Sidereus Nuncius*), опубликованную в 1610 году в Венеции, Галилео Галилей включил первый отчет о небесах, таких, какими он видел их через телескоп, приложив к отчету описание более светлых участков Млечного Пути. Называя свой научный инструмент зрительной трубой, так как термина «телескоп» в обиходе еще не было (кстати, с греческого это слово

переводится как «далеко смотрящий»), Галилей едва мог сдержать волнение.

«...Предметом нашего наблюдения была сущность или материя Млечного Пути. С помощью зрительной трубы ее можно настолько ощутительно наблюдать, что все споры, которые в течение стольких веков мучили философов, уничтожаются наглядным свидетельством, и мы избавимся от многословных диспутов. Действительно, Галаксия является не чем иным, как собранием многочисленных звезд, расположенных группами. В какую бы его область ни направить зрительную трубу, сейчас же взгляду представляется громадное множество звезд, многие из которых кажутся достаточно большими и хорошо заметными. Множество же более мелких не поддается исследованию».

Это самое «громадное множество звезд» Галилея, безусловно, похоже на объект основного астрономического интереса, ведь оно является нам самые густонаселенные звездами регионы нашей галактики Млечный Путь. Так зачем кому бы то ни было интересоваться темными ее участками, в которых нет видимых звезд? Исходя из их внешнего облика такие темные участки, скорее всего, представляют собой космические дыры, открывающие путь к бесконечному и пустому пространству, что кроется за ними.

Пройдет еще целых три столетия, прежде чем кому-то придет в голову, что темные участки Млечного Пути не просто не являются «дырами», но состоят из плотных облаков газа и пыли, которые скрывают от нас более удаленные скопления звезд и, более того, могут размещать в своих недрах целые звездные кухни. Разделяя более ранние предположения американского астронома Джорджа Кэри Комстока, которого интересовало, почему далекие звезды выглядят бледнее, чем должны были бы согласно их предполагаемому расстоянию от нас, голландский астроном Якоб Корнелий Каптейн обнаружил виновника этого в 1909 году. В двух

* Галилей Галилео. Звездный вестник / Пер. И. Н. Веселовского // Избранные труды: В 2 т. — М.: Наука, 1964. Т.1.

научных статьях с одинаковыми названиями «О поглощении света в космосе»^{*} Каптейн представил наглядные доказательства того, что такие темные облака (его новообретенные «межзвездные среды») не только заслоняют свет, исходящий от звезд, но и делают это неравномерно с точки зрения палитры спектра излучения таких звезд: они поглощают и затем рассеивают, а значит, разбавляют свет в фиолетовом сегменте видимого спектра более эффективно, чем в красном. Такое избирательное поглощение приводит к тому, что фиолетового света нейтрализуется больше, чем красного, из-за чего удаленные звезды кажутся более красными, чем те, что расположены ближе к нам. Количество такого межзвездного покраснения звездного света увеличивается пропорционально суммарному объему материала, который свет встречает на своем пути к нам.

Обычные водород и гелий, принципиальные ингредиенты космических газовых облаков, не придают свету красноту. Однако сложные молекулы из многих атомов на это способны, особенно те, в которых содержатся углерод и кремний. Когда межзвездные частицы вырастают до такого размера, что становится неуместным называть их молекулами, учитывая составляющие их сотни тысяч или даже миллионы отдельных атомов в каждой такой «молекуле», мы называем их пылью. Большинству из нас знакома домашняя бытовая пыль, хотя немногие в курсе, что в совершенно закрытом доме такая пыль состоит из мертвых клеток человеческой кожи (а также перхоти домашних животных, если они у вас есть). Насколько нам известно, в состав космической пыли человеческий эпидермис не входит. Однако межзвездная пыль содержит исключительно богатый ассортимент сложных молекул, которые излучают фотоны в основном в инфракрасном и микроволновом диапазонах спектра. До 1960-х годов у астрофизиков не было хороших микроволновых телескопов, а приличных инфракрасных не появилось вплоть до 1970-х годов. Но как только они разработали и создали эти инструменты наблюдения, они смогли исследовать истинное химическое раз-

^{*} Каптейн Я. К. О поглощении света в космосе // Астрофизический ж-л, 1909. — Вып. № 29. С. 46.; Вып. № 30. С. 284.

нообразии всего того, что лежит между звезд. В течение десятилетий, последовавших за соответствующими прорывами в области технологий, на свет постепенно появлялась удивительная и сложная картина образования звезд.

Звезды формируются не из всех газовых облаков. Довольно часто газовое облако оказывается в ситуации, когда не понимает, что ему дальше делать. Точнее, это астрофизики не понимают, что им делать. Мы знаем, что межзвездное облако «хочет» коллапсировать под воздействием своей собственной гравитации, чтобы образовать из своего материала одну звезду или более. Но его вращение, как и влияние турбулентного движения газа внутри самого облака, мешает ему достигнуть этой цели. Кстати, давление газа, о котором всем вам должны были рассказывать в старших классах школы, тоже препятствует коллапсу. Да и магнитные поля ему совсем не способствуют: они проникают в облако и ограничивают динамику любых свободно передвигающихся внутри него заряженных частиц, препятствуя сжатию, а значит, чиня помехи попыткам самого облака среагировать на свою собственную гравитацию. Самый страшный вывод, который можно сделать из этого последовательного мышления, заключается в следующем: если бы никто заранее не знал, что звезды на самом деле существуют, даже самые передовые исследования предоставили бы нам достаточно убедительных причин того, что звезды никогда не могли бы сформироваться в принципе.

Как и несколько миллиардов звезд в нашей галактике Млечный Путь, получившей свое название в честь той широкой полосы света, что тянется через весь небесный свод и представляет собой наиболее густонаселенные звездами регионы, гигантские газовые облака тоже вращаются вокруг центра нашей галактики. Звезды — это песчинки размером всего лишь в несколько световых секунд в диаметре, парящие в огромном океане почти пустого пространства и изредка проплывающие одна мимо другой, словно корабли в открытом море. Напротив, газовые облака — огромны. Как правило, они достигают в размере нескольких сотен световых лет, а масса каждого из них — массы миллиона Солнц.

Неуклюже передвигаясь по всей галактике, эти гигантские облака нередко сталкиваются, цепляясь своими газовыми и пылевыми внутренностями друг за друга. Иногда в зависимости от их относительных скоростей и углов столкновения облака так и остаются вместе, становясь одним целым и еще более гигантским облаком, в других случаях, нанося друг другу ощутимые повреждения при столкновении, они, наоборот, разрывают друг друга на части.

Если температура облака упадет до достаточно низкого уровня (не более 100 градусов выше абсолютного нуля), составляющие его атомы при столкновении будут прикрепляться друг к другу, в отличие от того, как они отскакивают друг от друга в разные стороны при более высоких температурах. Этот химический переход влечет за собой всеобъемлющие последствия. Растущие в объеме частицы, которые теперь насчитывают десятки атомов каждая, начинают рассеивать видимый свет во все стороны, сильно ослабляя свет звезд, расположенных за таким облаком. К тому времени как эти частицы станут полноценными твердыми частицами космической пыли (этакими «зернышками»), в них будут уже миллиарды атомов. Стареющие звезды производят подобные твердые частицы и ненавязчиво отправляют их в межзвездное пространство в то время, когда сами находятся в стадии красного гиганта своего жизненного цикла. В отличие от меньших частиц такие твердые частицы космической пыли, состоящие из миллиардов атомов, больше не рассеивают фотоны видимого света, источником которых являются звезды, расположенные за облаком. Вместо этого они поглощают эти фотоны и затем снова излучают их энергию «как свою» — в виде инфракрасного излучения, которое легко покидает облако космической пыли. В то время как это происходит, давление фотонов, передаваемое поглощающим их молекулам, толкает облако в направлении, противоположном направлению источника света. И вот наше облако уже практически есть звездный свет!

Звезды рождаются тогда, когда силы, делающие облако все более плотным, в конце концов приводят к его коллапсу под воздействием собственной гравитации: в это время каждый участок облака старает-

ся притянуть все остальные его участки как можно ближе к себе. Так как горячий газ противостоит сжатию и коллапсу более эффективно, чем охлажденный, мы оказываемся в неоднозначной ситуации. Нам нужно охладить облако, прежде чем оно сможет обратно разогреться само в процессе формирования звезды. Другими словами, для создания звезды, ядро которой разогревается до 10 миллионов градусов (этого как раз хватает для запуска процесса термоядерного синтеза), необходимо сначала охладить облако до минимально достижимой в его внутренних условиях температуры. Только при экстремально низких температурах всего в несколько десятков градусов выше абсолютного нуля наше облако сможет коллапсировать и запустить процесс звездообразования.

Что же такого происходит внутри облака, чтобы от коллапса оно могло вдруг перейти к выковыванию новой звезды? Астрофизики здесь могут только разводить руками. Как бы им ни хотелось отследить динамику событий, происходящих внутри огромного межзвездного облака в этот период, создать компьютерную модель, которая учла бы все известные законы физики, все внешние и внутренние воздействия на такое облако и все актуальные химические реакции, которые могут в это время протекать внутри него, — это пока за пределами наших возможностей. Следующая непростая загадка: почему первоначальное облако, из которого мы пытаемся получить звезду, обладает размером, в миллиарды раз большим, чем ее конечный размер, а плотность такой звезды затем составит в 100 секстиллионов раз больше средней плотности облака-родителя? В таких ситуациях то, что имеет наибольшую важность в контексте одной шкалы размеров, может оказаться не заслуживающим интереса в контексте другой шкалы.

Тем не менее, полагаясь на уже увиденное нами в космосе, мы можем с уверенностью заявить, что в центре межзвездного облака, в его самых глубоких, темных и плотных регионах, где температура предположительно падает примерно до уровня 10 градусов выше абсолютного нуля, гравитация способна провоцировать коллапс отдельных объемов газа (так называемых газовых карманов), с легкостью преодолевая сопротивление

магнитных полей и другие помехи. Это сжатие, в свою очередь, преобразует гравитационную энергию таких газовых карманов в тепловую. Температура каждого из таких участков облака, которым вскоре предстоит сформировать собой ядро новорожденной звезды, стремительно возрастает во время коллапса, не давая твердым частицам космической пыли в своем непосредственном окружении соединиться при столкновении и раскидывая их в стороны. В какой-то момент температура в центре коллапсирующего газового кармана достигает критической отметки в 10 миллионов градусов по абсолютной шкале.

При этой волшебной температуре некоторые протоны (представляющие собой, по сути, обнаженные атомы водорода, лишенные своего электрона) движутся достаточно быстро, чтобы преодолеть свое взаимное отторжение. Их высокая скорость позволяет им в какой-то момент оказаться достаточно близко друг к другу, чтобы под влиянием сильного ядерного взаимодействия соединиться. Это взаимодействие, работающее только на исключительно малых расстояниях, удерживает протоны и нейтроны вместе во всех атомных ядрах. Термоядерный синтез протонов, где «термо» намекает на необходимую для него высокую температуру, а «ядерный синтез» подразумевает, что из отдельных частиц синтезируются целые ядра, приводит к созданию ядер гелия, масса каждого составляет чуть меньше, чем суммарная масса тех частиц, что пошли на его изготовление. Та масса, что пропадает во время синтеза, превращается в энергию согласно знаменитому и уже так хорошо знакомому нам уравнению Эйнштейна. Энергия, выраженная в массе (всегда в количестве, равном массе, умноженной на квадрат скорости света), может трансформироваться в иные формы энергии, например в дополнительную кинетическую энергию (энергию движения) быстро перемещающихся частиц, которые рождаются вследствие реакций ядерного синтеза.

В то время как новая энергия, полученная за счет термоядерного синтеза, расходится во все стороны, газ нагревается и начинает светиться. Затем у поверхности звезды та энергия, что ранее была заключена в отдельные ядра, вырывается в космос в форме фотонов, образо-

ванных газом в то время, как освобожденная при термоядерном синтезе энергия нагревала этот газ до температуры в несколько тысяч градусов. И, несмотря на то что этот огромный участок раскаленного газа все еще находится внутри космической утробы огромного межзвездного облака, мы уже можем смело поздравлять счастливого родителя Млечный Путь с рождением новой звезды.

Астрономы знают, что диапазон масс звезд составляет от одной десятой доли массы Солнца до величин, превосходящих ее почти в сотню раз. По не совсем ясным причинам в типичном гигантском газовом облаке может образоваться множество холодных газовых карманов, которые зачастую коллапсируют примерно в одно и то же время, давая жизнь звездам от мала до велика. Однако перевес на стороне звезд поменьше: на каждую крупную звезду приходится около тысячи малых. Тот факт, что в общей сложности лишь несколько процентов всего газа исходного облака принимают участие в формировании звезды, предлагает нам классическую загадку: почему этот «небольшой хвост» виляет этой «большой собакой» из газа и пыли, а не наоборот? Вероятно, ответ лежит в излучении новорожденных звезд, которое не дает новым звездам сформироваться из тех газа и пыли, что не пошли на образование самой новорожденной звезды.

Нам нетрудно объяснить нижний предел массы, которой может обладать новорожденная звезда. Карманам коллапсирующего газа с массой, составляющей менее одной десятой массы Солнца, не хватает гравитационной мощи для того, чтобы раскалить свой центр до 10 миллионов градусов, необходимых для термоядерного синтеза водорода. Соответственно, рождение звезды, способной на ядерный синтез, невозможно. Вместо этого нам достанется неудавшаяся «почти звезда» — астрономы называют такие объекты коричневыми карликами. Не имея своего собственного источника энергии, коричневый карлик понемногу потухает, излучая тот скромный свет, что образовался во время изначального коллапса. Газообразные внешние слои коричневого карлика настолько прохладны, что многие крупные молекулы, которые обычно погибают вблизи более горячих звезд, прекрасно чувствуют

себя и продолжают существовать около таких карликов. Из-за незначительной светимости их невероятно трудно обнаружить. Чтобы все же найти хотя бы несколько, астрофизикам приходится применять сложные методики наподобие тех, что используются иногда для обнаружения планет: ориентироваться по едва различимому инфракрасному излучению объектов. Лишь в последние несколько лет астрономам удалось разыскать во Вселенной достаточное количество коричневых карликов для того, чтобы даже разделить их как класс на несколько отдельных категорий.

Мы с легкостью можем определить и максимально возможную массу формирующейся звезды. Если масса звезды превысит массу Солнца более чем в сотню раз, ее светимость будет столь яркой, словно огромный шарообразный факел энергии в форме инфракрасного и ультрафиолетового света, что любые газ или пыль, стремящиеся к ней под воздействием ее гравитации, будут отталкиваться обратно под давлением звездного света. Фотоны, излучаемые звездой, отталкивают частицы пыли, которые, в свою очередь, увлекают за собой и газ. Это давление излучения столь эффективно, что буквально несколько крупных звезд с высокой массой в одном темном облаке могут обладать достаточной суммарной светимостью для того, чтобы равномерно разогнать вокруг себя межзвездное вещество, выставляя напоказ перед Вселенной десятки, если не сотни новорожденных звезд — по сути, родственниц друг другу — во всей их красе.

Когда вы будете наблюдать туманность Ориона, расположенную прямо под тремя яркими звездами, образующими Пояс Ориона, обратите внимание примерно на середину бледного меча охотника: там вы увидите как раз такие звездные ясли. В этой туманности родились тысячи звезд, в то время как еще тысячи лишь ожидают своего часа. На этом месте со временем образуется огромный кластер, который будет становиться все ярче и заметнее по мере рассеивания «неиспользованных» пыли и газа этой туманности. Наиболее крупные из ее новых звезд, формирующие собой группу под названием Трапеция Ориона, в данный момент очень заняты проделыванием огромной яс-

ной дыры в середине того облака, из которого образовались. Фотографии этого региона, сделанные телескопом Хаббла, говорят о сотнях новых звезд на одном только этом участке космоса. Каждая из новорожденных малышей бережно запеленута в еще только зарождающийся протопланетарный диск из пыли и других молекул, позаимствованных у первоначального облака. Внутри каждого из таких дисков постепенно формируется своя собственная система планет.

Через 10 миллиардов лет после образования Млечного Пути новые звезды продолжают формироваться по всей нашей галактике. Хотя звездообразование в типичных огромных галактиках вроде нашей большей частью уже давно завершилось, нам повезло, что новые звезды все же еще не исчерпаны и будут рождаться еще многие миллиарды лет. Наше везение заключается в том, что мы можем наблюдать за их формированием и изучать самые молодые из них в поисках улик, которые расскажут нам полную историю о том, как из холодного газа и межзвездной пыли получают сияющие звезды.

Возраст некоторых звезд можно определить с помощью спектрального анализа. Среди многочисленных способов оценки возраста звезд, которые были разработаны астрофизиками, анализ палитры спектра звездного излучения является самым надежным. Каждый цвет — каждое сочетание конкретной длины и частоты световой волны — рассказывает нам о том, как вещество произвело этот свет, или повлияло на тот свет, что покинул свой источник-звезду, или просто оказалось на пути между нами и звездой в направлении нашего взгляда. С помощью близкого сравнения с лабораторным спектром физики смогли найти множество вариантов воздействия разных типов атомов и молекул на ту радугу, что представляет собой видимый свет. Они могут применить эти обширные знания к наблюдениям за звездными спектрами и определить количество атомов и молекул, оказавших воздействие на свет, исходящий от определенной звезды, а также температуру, давление и плотность таких частиц. За годы, проведенные в сравнении спектра в лабораторных условиях и спектра звездного сияния и исследованиях спектральных особенностей разных атомов и молекул, астрофизики

научились читать между строк видимого спектра объекта — словно космическую схему, показывающую нам, какими физическими характеристиками обладают внешние слои звезды, излучающие свет во все стороны прямо в космос. Вдобавок к этому астрофизики умеют определять, как могли повлиять на спектр звездного излучения атомы и молекулы, свободно парящие в межзвездном пространстве при гораздо более низких температурах, а значит, определять химический состав, температуру, плотность и давление этого межзвездного вещества.

В таком спектральном анализе каждый отдельный тип атома или молекулы может рассказать что-то свое. Например, присутствие молекул любого конкретного типа, что можно определить по их характерному воздействию на определенные цвета спектра, показывает, что температура внешних слоев звезды составляет меньше 3000 градусов по шкале Цельсия (или 5000 по шкале Фаренгейта). При более высоких температурах молекулы перемещаются так быстро, что при столкновении разбиваются на отдельные атомы. Применяя подобный анализ к самым разным субстанциям, астрофизики могут получить почти полную и в любом случае весьма подробную картину условий, характерных для атмосферы разных звезд. Говорят, некоторые особенно трудолюбивые астрофизики знают о спектрах звезд гораздо больше, чем о своих собственных семьях. Возможно, это оказывает неблагоприятное влияние на человеческие взаимоотношения, но однозначно идет на пользу нашему пониманию взаимоотношений межзвездных.

Из всех встречающихся в природе элементов — тех разных типов атомов, что могут влиять на спектр звезды, — астрофизики используют один конкретный элемент для того, чтобы определять возраст наиболее молодых звезд. Речь идет о литии — третьем по простоте строения и легкости элементе периодической таблицы, знакомом некоторым землянам в качестве активного ингредиента ряда антидепрессантов. В периодической таблице элементов литий занимает место сразу вслед за водородом и гелием, которые гораздо более знамениты, потому что в космосе их несметное количество. В первые минуты своего существо-

вания Вселенная синтезировала ядра гелия из водорода в огромных количествах, но выработала лишь относительно крошечные объемы других, более тяжелых ядер. В итоге литий остался довольно редким элементом, и астрофизики отмечают тот факт, что звезды почти не производят дополнительных партий лития, они только потребляют уже имеющиеся его запасы. У лития, так сказать, билет в один конец: каждой звезде гораздо проще уничтожить литий, чем создать его. Поэтому его космические запасы постепенно таяли, тают и будут таять. Если вам хочется заполучить себе немного лития, не медлите и приобретайте его сейчас же.

Для астрофизиков эта простая особенность лития — невероятно полезный инструмент для измерения возраста звезд. Все звезды приходят в мир с соответствующим запасом лития, оставшимся после термоядерного синтеза, что протекало во Вселенной в первые полчаса ее существования, а также непосредственно во время Большого взрыва. Что значит «соответствующий запас»? Это значит — примерно одно ядро лития на сто миллиардов ядер других элементов. После того как новорожденная звезда приходит в наш мир с таким «богатым» запасом лития, дальнейшая судьба этого элемента весьма незавидна: ядерные реакции в недрах звезды начинают понемногу перерабатывать его. Стабильное и иногда эпизодическое смещение вещества в ядре звезды с веществом извне уносит получающийся материал к ее поверхности, поэтому спустя тысячи лет внешние слои звезды могут показать нам, что же раньше происходило в ее центре.

Когда астрофизики ищут в небе самые молодые звезды, они следуют простейшему правилу: искать те звезды, в которых *больше всего* лития. Соотношение количества ядер лития каждой звезды к, скажем, количеству ядер водорода (что можно определить по спектру ее излучения) помогает подобрать для этой звезды место на графике, отображающем корреляцию возраста звезды и лития во внешних ее слоях. Этот метод позволяет астрофизикам определять с большой точностью самые юные звезды в конкретном кластере и приписывать каждой из них основанный на литиевом анализе возраст. Так как звезды очень

продуктивно разрушают литий, в более старых звездах обнаружить его почти невозможно. Соответственно, такой подход хорош только в применении к звездам, чей возраст не превышает несколько сотен миллионов лет: для этих юных особ литиевый метод работает просто замечательно! Недавние исследования двух дюжин молодых звезд в туманности Ориона, масса каждой из которых примерно равна массе Солнца, показали, что их возраст составляет от 1 до 10 миллионов лет. Наступит день, когда астрофизикам удастся найти еще более молодые звезды, ну а пока 1 миллион лет — это лучшее, что они могут нам предложить.

Долгое время после своего рождения группы молодых звезд только распыляют скопления газа, из которого образовались, превращают водород в гелий внутри своих ядер и пожирают запасы лития. Но ничто не вечно. За многие миллионы лет большинство потенциальных звездных кластеров, подверженных постоянному гравитационному воздействию проплывающих мимо огромных облаков, «испаряется», и их участники присоединяются к числу прочих звезд галактики.

Спустя 5 миллиардов лет после формирования Солнца определить в галактике его родственниц и узнать, живы ли они еще, невозможно. Все звезды Млечного Пути и других галактик с низкой массой, из-за чего они очень медленно потребляют свое топливо, живут практически бесконечно. Звезды «в среднем весе», вроде Солнца, рано или поздно превращаются в красных гигантов, увеличивая границы своих внешних газовых слоев в сотни раз и умирая медленной смертью. Эти внешние слои столь условно связаны со звездой, что постепенно отчлениваются прочь в открытый космос, обнажая то самое ядро, полное переработанного ядерного топлива, что кормило звезду на протяжении всех 10 миллиардов лет ее жизни. Газ, который возвращается в межзвездное пространство, будет так или иначе подхвачен проходящими мимо облаками и когда-нибудь примет участие в новом этапе звездообразования.

Несмотря на их редкость в природе, звездам с самой высокой массой достались почти все козыри эволюции. Их огромная масса дает им

самую мощную светимость — для некоторых она в миллион раз выше светимости Солнца. Так как эти звезды перерабатывают ядерное топливо гораздо быстрее своих малых товарок, они проживают жизнь быстрее других: всего за несколько миллионов лет, а то и меньше. Непрерывающийся термоядерный синтез внутри звезд с высокой массой позволяет им производить десятки элементов, начиная с водорода и заканчивая гелием, углеродом, азотом, кислородом, неоном, магнием, кремнием, кальцием и так далее вплоть до железа. Ближе к концу своей жизни такие звезды, излучая последние вспышки света, все еще вырабатывают новые химические элементы, иногда затмевая своим сиянием всю родную галактику. Астрофизики называют каждую такую вспышку сверхновой звездой: при внешнем сходстве со сверхновыми звездами типа Ia, описанными в главе 5, они совсем другие по природе. Энергия взрыва сверхновой звезды раскидывает химические элементы прошлой и самой свежей выработки по всей галактике, проделывая дыры в распределении газа и обогащая близлежащие облака новым сырьем для образования твердых частиц космической пыли. Этот взрыв на сверхзвуковой скорости прорывается сквозь межзвездные облака, сжимая их газовое и пылевое содержимое и, вполне возможно, создавая ряд газовых карманов высокой плотности, из которых потом смогут образоваться новые звезды.

Вселенной от таких сверхновых звезд перепадает великий дар — все химические элементы, помимо водорода и гелия: те самые элементы, из которых могут образовываться планеты, простейшие организмы и люди. Мы живем на Земле только потому, что миллиарды лет назад где-то в космосе взорвалось бесчисленное количество звезд — в те далекие эпохи истории Млечного Пути, когда Солнца и его планет еще и в помине не было и им лишь предстояло собраться в единые скопления внутри пыльного и темного космического межзвездного облака, которое, в свою очередь, несло в себе химические богатства, унаследованные от предыдущих поколений звезд с высокой массой.

Персональная премия авторов этой книги за самый неоцененный научный вклад XX века присуждается открытию о том, что сверхновые

звезды — мощные финальные взрывные аккорды особо крупных умирающих звезд — являются первостепенным источником тяжелых элементов в природе. Это относительно невоспетое озарение впервые было высказано в научной статье, опубликованной в 1957 году в американском журнале *Reviews of Modern Physics* («Обзоры современной физики») под заголовком «Синтез элементов в звездах» (Э. Маргарет Бербидж, Джеффри Р. Бербиджа, Уильяма Фаулера и Фреда Хойла). В своей статье четверо ученых представили теоретическую и вычислительную схему, которая по-новому трактовала и объединяла домыслы других ученых за последние 40 лет в двух основных областях: речь идет об источниках звездной энергии и о преобразованиях химических элементов.

Космическая ядерная химия и попытки понять, как в процессе термоядерного синтеза появляются и разрушаются разные типы ядер, всегда были непростым делом. В числе самых главных вопросов непременно значились следующие: как ведут себя химические элементы под воздействием разных температур и разного уровня давления? Соединяются ли эти элементы или распадаются? Насколько это трудоемкий процесс? Выделяется ли при этих процессах новая кинетическая энергия или потребляется существующая? Как эти процессы отличаются между собой в случае с каждым отдельным элементом периодической таблицы?

Что для вас значит периодическая таблица химических элементов? Если вы не отличаетесь от большинства школьников, вы наверняка помните огромную таблицу на стене своего класса, украшенную таинственными ячейками. Некие загадочные буквы и символы в ее прямоугольниках ассоциировались с лабораториями, в которые незачем заходить без явной на то причины. Но для тех, кому знакомы ее секреты, эта таблица — книга рассказов о космической жестокости, в результате которой ее компоненты, собственно, и появились на свет. В периодической таблице перечислены все известные человечеству природные элементы Вселенной, выстроенные от малого до великого по мере увеличения количества протонов, приходящихся на ядро каждого из

них. Два самых легких элемента — это водород (один протон на ядро) и гелий (два). Как верно подметили четверо авторов той самой статьи 1957 года, при наличии должных условий — температуры, плотности и давления — звезда может использовать свои запасы водорода и гелия для того, чтобы собрать из них все остальные элементы периодической таблицы.

Подробности этого созидательного процесса и прочих взаимодействий, которые ведут не к созданию, а к распаду ядер, составляют собой основу науки ядерной химии. Она занимается тем, что устраивает и использует «сечения столкновений», чтобы измерить, как близко одна частица должна оказаться к другой, чтобы они могли вступить в какое-либо существенное взаимодействие. Физики могут запросто рассчитать сечения столкновений для бетономешалок или огромных жилых трейлеров, путешествующих по улице в кузове эвакуатора, а вот проанализировать поведение крошечных ускользающих от внимания субатомных частиц уже в разы труднее. Уверенное понимание концепции сечения столкновения позволяет физикам прогнозировать скорость ядерных реакций и их динамику. Нередко небольшие неясности в сверочных таблицах значений этих сечений приводят ученых к вопиюще ошибочным заключениям. Трудности, которые им приходится преодолевать, можно сравнить с попытками ориентироваться в метро одного города, вооружившись схемой метро другого: при всей корректности вашей базовой теории любой нюанс ситуации может оказаться критическим.

Несмотря на то что ученые ничего не знали о сечениях столкновений, в первой половине XX века они на протяжении долгого времени подозревали, что если и есть во Вселенной место для экзотических ядерных процессов, то ядра звезд для них — самый подходящий вариант. В 1926 году британский астрофизик-теоретик сэр Артур Эддингтон опубликовал статью, которая называлась «Внутреннее строение звезд» (*The Internal Constitution of the Stars*). В ней он доказывал, что лаборатория им. Кавендиша, бывшая ведущим центром по исследованиям в области атомной и ядерной физики, не может быть

единственным местом во Вселенной, где умеют переплавлять одни элементы в другие.

«Но возможно ли признать, что такое преобразование происходит? Утверждать это непросто, но отрицать, что это происходит, пожалуй, еще сложнее... и если что-то можно совершить в лаборатории Кавендиша, вряд ли так уж сложно повторить это внутри Солнца. Думаю, что предположение о том, что звезды — плавильные котлы, в которых более легкие атомы, взятые из туманности, соединяются в более сложные элементы, в целом должно поддерживаться»^{}.*

Статья Эддингтона, которая предвосхитила более подробные исследования Бербидж, Бербиджа, Фаулера и Хойла, вышла на несколько лет раньше открытия квантовой механики, без которой наше понимание физических свойств атомов и атомных ядер было бы, мягко говоря, жалким. Словно пророк, Эддингтон сформулировал подобие сценария для создания звездной энергии с помощью термоядерного синтеза водорода и гелия.

*«Нам не следует привязываться к реакции образования гелия из водорода как к единственно возможному источнику энергии [для звезды], хотя что-то подсказывает, что для дальнейших этапов создания химических элементов характерно гораздо меньше выделения и гораздо больше поглощения энергии. Позицию можно сформулировать следующим образом: атомы всех элементов состоят из атомов водорода, прочно связанных друг с другом, и, вероятно, когда-то они были образованы из водорода; нутро звезды — столь же подходящее место для свершения эволюции, как и любое другое»^{**}.*

Любая модель преобразования элементов должна объяснять то их разнообразие, которое мы наблюдаем на Земле и в других регионах Вселенной. Для этого физикам требовалось найти некий фундаментальный процесс, который позволял бы звездам извлекать энергию из

^{*} Пер. М. В. Герман.

^{**} Пер. М. В. Герман.

процесса переплавки одних элементов в другие. К 1931 году, когда теории квантовой механики уже вполне оформились (хотя еще не были открыты нейтроны), другой британский астрофизик, Роберт д'Эскур Аткинсон, опубликовал подробную статью, которая предлагала читателю «теорию синтеза звездной энергии и происхождения элементов... в которой различные химические элементы постепенно создаются из более легких внутри самих звезд с помощью успешной переработки протонов и электронов одного за другим».

В том же году американский ядерный химик Уильямс Д. Харкинс опубликовал статью, в которой отметил, что «элементы с низким атомным весом (помните? речь о количестве протонов и нейтронов в каждом ядре) имеются в природе в гораздо большем изобилии, нежели тяжелые элементы, а элементы с четными атомными числами (по количеству протонов в атомном ядре) в среднем встречаются примерно в десять раз чаще, чем элементы с нечетными атомными числами, но примерно того же достоинства». Харкинс выражал догадку, что относительное изобилие ряда элементов скорее зависит от ядерного синтеза, чем от такого химического процесса, как возгорание, и что более тяжелые химические элементы наверняка получились из более легких.

Подробности механики самого процесса термоядерного синтеза, протекающего в звездах, могли бы в результате объяснить наличие в космосе многих элементов, особенно тех, которые получаются каждый раз, когда вы прибавляете ядро гелия с двумя протонами и двумя нейтронами к тому элементу, который получили на предыдущем этапе синтеза. Такие элементы и представляют собой те самые изобилующие с «четными атомными номерами», о которых говорил Харкинс. Однако существование и относительные количества многих других элементов так и оставались необъясненными. Значит, сборка элементов по кирпичикам в космосе происходила по какому-то другому принципу.

Нейтрон, который был открыт в 1932 году британским физиком Джеймсом Чедвиком во время работы в тех же лабораториях им. Кавендиша, играет важнейшую роль в ядерном синтезе — роль, какую Эддингтон себе и вообразить не мог. Собрать что-то из протонов — это

большой труд, ведь они естественным образом отталкивают друг друга, как и все одинаково заряженные частицы. Чтобы соединить протоны, нужно приблизить их друг к другу на достаточно малое расстояние (как правило, это делается при воздействии высоких температур, давления и плотности), позволяющее преодолеть их природную взаимную неприязнь, — и тогда сильное ядерное взаимодействие привяжет их друг к другу. Нейтрон, однако, не имея заряда, не отталкивает от себя другие частицы, поэтому он может запросто проследовать в атомное ядро и присоединиться к банкету собравшихся там частиц, удерживаясь на месте благодаря той же силе, что удерживает там и протоны. В итоге новый элемент не образуется, ведь для этого в ядре нужно изменить количество *протонов*. Но, добавляя нейтрон, мы создаем «изотоп» ядра исходного элемента, который лишь немного отличается от своего прототипа, так как даже суммарный электрический заряд у него остается тем же. В некоторых случаях свежепойманный нейтрон, стоит добавить его к ядру, оказывается нестабильным: тогда он спонтанно преобразует сам себя в протон (который уже вполне стабилен и не покидает ядро) и в электрон (который тут же покидает данную систему частиц). Именно таким образом, словно внутри Троянского коня, протоны могут проникать в атомные ядра под видом нейтронов.

Если стабильный поток нейтронов не иссякает, каждое ядро может успеть поглотить немало нейтронов, прежде чем первый из них распадется на протон и электрон. Такие «быстро усвоенные» нейтроны помогают образовать группу элементов, происхождение которых отождествляется с «быстрым процессом захвата нейтронов» и которые отличаются от тех элементов, что образуются за счет медленной подачи в их ядро нейтронов (когда каждый последующий нейтрон попадает в ядро только после того, как предыдущий распадется на протон и электрон).

Обе модели захвата нейтронов — быстрая и медленная — в ответе за создание множества элементов, которые не могут сформироваться в процессе традиционного термоядерного синтеза. Все остальные элементы в природе могут быть получены за счет еще ряда процессов,

в том числе сталкивания на огромной скорости сильно заряженных фотонов (гамма-излучение) с ядрами тяжелых атомов, которые затем распадаются на несколько меньших по размеру.

Рискуя чрезмерно упростить суть жизненного цикла звезды с высокой массой, мы все же позволим заявить, что каждая звезда живет за счет того, что внутри нее создается и высвобождается энергия, которая позволяет звезде противостоять гравитации. Если бы не это производство энергии с помощью термоядерного синтеза, каждый звездный газовый шар просто коллапсировал бы под тяжестью своего собственного веса. Эта доля ожидает те звезды, которые уже истощили запасы ядер водорода (протонов) в своих звездных ядрах. Как уже было отмечено ранее, превратив водород в гелий, ядро звезды принимается делать из гелия углерод, затем из углерода — кислород, из кислорода — неон и так далее, пока дело не дойдет до железа. Чтобы успешно синтезировать все новые и новые и все более тяжелые элементы в этой последовательности, сопутствующая температура реакций должна постоянно повышаться, чтобы атомные ядра могли преодолевать возникающие между ними силы отталкивания. К счастью, это происходит само собой, потому что в конце каждой промежуточной стадии, когда источник энергии звезды временно перекрывается, ее внутренние регионы сжимаются, температура подскакивает — и запускается новый этап ядерного синтеза. Так как ничто не продолжается вечно, звезда в какой-то момент сталкивается с серьезной проблемой: оказывается, во время синтеза железа энергия не выделяется, но поглощается. Плохие новости для нашей звезды! В ее термоядерной шляпе фокусника нет больше волшебной палочки, одним взмахом которой она могла бы запустить новый процесс, выделяющий энергию для противопоставления своей собственной гравитации. В этот момент звезда резко коллапсирует, из-за чего ее внутренняя температура возрастает столь стремительно, что она взрывается, раскидывая свои звездные внутренности во все стороны.

В процессе самого взрыва наличие нейтронов, протонов и энергии позволяет сверхновой звезде создавать элементы множеством разных

способов. В своей статье 1957 года Бербидж, Бербидж, Фаулер и Хойл объединили:

- ◆ хорошо проверенные положения квантовой механики;
- ◆ физические особенности взрывов;
- ◆ свои новейшие сечения столкновений;
- ◆ разнообразные процессы преобразования одних элементов в другие;
- ◆ основы теории эволюции звезд.

Все это для того, чтобы подвести читателя к одной мысли: взрывы сверхновых звезд — это первоосновной источник всех элементов тяжелее водорода и гелия в нашей Вселенной.

Помимо звезд с высокой массой в качестве источников тяжелых элементов и сверхновых звезд в качестве наиболее вероятного источника распространения этих элементов, великолепная четверка заодно получила решение еще одной задачи совершенно даром: когда внутри звездного ядра синтезируются элементы тяжелее водорода и гелия, никакого прока от этого нет, если не отправить их на все четыре стороны в межзвездное пространство, чтобы там из них рано или поздно получился мир, в котором могут рождаться вомбаты. Бербидж, Бербидж, Фаулер и Хойл объединили наше понимание ядерного синтеза в звездах с той вселенской кузницей элементов, следы которой мы находим в космосе повсеместно. Их выводы пережили десятилетия скептического анализа, поэтому опубликованной ими статье можно отвести лишь одну роль — роль переломной работы в истории изучения человеком устройства Вселенной.

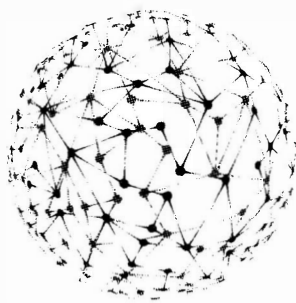
Да, Земля и вся жизнь на ней суть звездная пыль. Нет, мы еще не ответили на все интересующие нас химические вопросы космического масштаба. Так, любопытную загадку современности представляет собой технеций — первый химический элемент, полученный (в 1937 году) искусственным путем в земной лаборатории. (Само слово «технеций», как и другие с префиксом «тех», отсылает к греческому «*технетос*», что означает «искусственный».) Найти технеций в природе на Земле нам еще предстоит, но астрономы уже нашли его в атмосферах небольшого количества красных гигантов, входящих в нашу галактику. Само по себе это не столь удивительно, если бы не тот факт, что технеций

преобразуется в другие элементы с периодом полураспада 2 миллиона лет, что в разы меньше возраста и средней продолжительности жизни звезд, за которыми мы наблюдаем. Эта головоломка привела к рождению разных экзотических теорий, которые пока не получили единодушного одобрения мирового сообщества астрофизиков.

Красные гиганты с такими особенными химическими свойствами встречаются редко, но они оказались достаточно большой занозой (и не только) для группы физиков (как правило, спектроскопистов), которые специализируются в подобных вопросах, чтобы те сели, написали и распространили «Новости о химически пекулярных красных звездных гигантах»^{*}. Вы не найдете этого издания в киосках и магазинах с периодикой; в таких тиражах обычно публикуются новости с конференций и заметки о текущих исследованиях. Заинтересованных ученых подобные бесконечные химические загадки пленяют столь же сильно, как и темы черных дыр, квазаров и ранней Вселенной. Но вам прочесть о них редко где удастся. Почему так? Потому что средства массовой информации уже давно решили, о чем следует писать, а о чем — нет. Судя по всему, новости о космическом происхождении каждого отдельного химического элемента, из которых в общей сложности состоит ваше тело, на повестку дня не попадают.

Не упускайте свой шанс исправить ту несправедливость, которую навязывает вам современное общество! Давайте прогуляемся по периодической таблице, останавливаясь, чтобы обратить отдельное внимание на особенно увлекательные факты о различных химических элементах и восхититься тем, как Вселенная умудрилась сотворить их все из водорода и гелия, появившихся в результате Большого взрыва.

* Англ. Newsletter of Chemically Peculiar Red Giant Stars.



Глава 10

ЭТО ЭЛЕМЕНТАРНО

Периодическая таблица химических элементов, которую в течение последних двух столетий с любовью составляли химики и физики всего мира, отражает собой принципы организации, лежащие в основе свойств и поведения всех известных нам элементов Вселенной, включая те, которые нам еще только предстоит обнаружить. По этой причине следует воспринимать эту таблицу как культурный феномен, наглядно демонстрирующий умение нашего общества организовывать имеющиеся у него знания. Таблица служит свидетельством того, что вся мировая научная инициатива — это одно большое всечеловеческое приключение, и приключение не только в лабораториях, но и в ускорителях частиц, а также на передовых линиях пространства и времени целой Вселенной.

Среди заслуживших признание, а значит, и свое законное место в периодической таблице элементов время от времени тот или иной поражает воображение даже состоявшегося ученого, словно особый экземпляр в зоопарке уникальных зверьков, придуманных и претворенных в реальность доктором Сьюзом*. Судите сами: как

* Dr. Seuss — псевдоним популярного американского детского писателя и мультипликатора Теодора Сьюза Гейзеля, известного своими персонажами из мира животных.

такое возможно, чтобы из натрия — смертельно опасного реактивного металла, который можно легко разрезать ножом для масла, и чистого хлора — мерзко пахнущего и тоже смертоносного газа — можно было получить хлорид натрия, безобидное соединение, без которого трудно представить себе жизнь на Земле и которое более широко известно как поваренная соль? Как насчет водорода и кислорода, двух самых широко распространенных элементов не только на Земле, но и во всей Вселенной? Один из них — это взрывоопасный газ, а другой — проповедник яростного горения при интенсивном окислении; при этом сочетание данных элементов позволяет получить жидкость — воду, способную тушить огонь.

Среди всех многочисленных взаимодействий, представленных в замечательной лавке возможностей периодической таблицы, есть такие, которые имеют наибольшее значение для космоса. Они предлагают нам возможность взглянуть на таблицу глазами астрофизика. Мы непременно этой возможностью воспользуемся и прогуляемся по таблице, торжественно отдавая честь наиболее приметным ее элементам и восхищаясь некоторыми ее странностями.

Периодическая таблица подчеркивает тот факт, что каждый из встречающихся в природе элементов отличается от других своим порядковым номером, или «атомным числом», которое отражает количество протонов (положительных электрических зарядов) в ядре этого элемента. В полноценном атоме всегда есть и электроны (отрицательные электрические заряды), вращающиеся вокруг его ядра. Их столько же, сколько и протонов, поэтому суммарный заряд атома составляет нуль. Разные изотопы каждого конкретного элемента обладают тем же самым количеством протонов и электронов, но различаются по количеству нейтронов в своем составе.

Водород, в ядре которого есть только один протон — это самый легкий и простой элемент, весь его вселенский запас появился в первые несколько минут после Большого взрыва. Из тех 94 элементов, что встречаются в природе в естественных условиях, на долю водорода приходится более двух третей всех атомов в теле человека и более 90 %

всех атомов во Вселенной, включая Солнце и его гигантские планеты. Водород в ядре самой крупной планеты Солнца — Юпитера — подвергается столь высокому давлению окружающих его слоев газа, что ведет себя скорее как электромагнитный металл-проводник, чем газ, создавая самое сильное магнитное поле из всех, что окружают планеты Солнечной системы. Английский химик Генри Кавендиш открыл водород в 1766 году, проводя эксперименты с H_2O — водой. Английское и латинское название *hydrogen(ium)* позаимствовано из греческого «гидро-генес», что означает «образующий воду»; а частица «ген» знакома вам, к примеру, по слову «генетика». Однако с точки зрения астрономии главное достижение Кавендиша, снискавшее ему славу, заключается в том, что он стал первым человеком в истории, которому удалось точно вычислить массу Земли, измерив гравитационную постоянную G из знаменитой формулы всемирного тяготения Ньютона. В недрах Солнца, где температура достигает 15 миллионов градусов по шкале Цельсия, каждую секунду каждого дня и ночи 4,5 миллиарда тонн мельтешащих ядер водорода (протонов) сталкиваются друг с другом, вследствие чего образуются ядра гелия. Около 1 % всей массы атомов, что участвуют в этом синтезе, преобразуется в энергию; в гелий же превращаются остальные 99 %.

Гелий, второй по распространенности химический элемент во Вселенной, на Земле можно найти лишь в нескольких подземных месторождениях, где он словно заперт в ловушке. У многих из нас гелий ассоциируется лишь с его развлекательными свойствами, для знакомства с которыми нужно всего лишь приобрести его в магазине. Когда вы вдыхаете гелий, его низкая плотность по сравнению с другими атмосферными газами увеличивает частоту вибраций вашего горла, из-за чего голос начинается напоминать Микки-Мауса. Во Вселенной гелий представлен в объеме, в четыре раза большем, чем все остальные элементы, вместе взятые (не считая водорода). Один из столпов, на которых держится космология Большого взрыва, — это предположение, что во всей Вселенной атомы гелия составляют в общей сложности не менее 8 %: они образовались во время краткой первичной раскаленной

агонии космоса, последовавшей сразу за большим взрывом. Так как термоядерный синтез водорода внутри звезд образует дополнительные запасы гелия, в некоторых регионах космоса может в заданный момент времени накапливаться более 8 % гелия, однако — что соответствует модели Большого взрыва — никому еще не удавалось найти такой регион нашей или еще какой-нибудь галактики, в которой гелия было бы меньше.

За 30 с лишним лет до того, как им удалось обнаружить и выделить гелий в отдельный химический элемент на Земле, астрофизики умудрились вычислить его наличие на Солнце с помощью анализа спектра солнечного излучения во время полного затмения в 1868 году. Разумеется, они назвали этот ранее неизвестный им элемент в честь Гелиоса, древнегреческого бога Солнца. Подъемная сила гелия в воздухе составляет 92 % от подъемной силы водорода, но при этом он не обладает характерным для водорода взрывным нравом (незнание этого факта погубило в свое время немецкий дирижабль «Гинденбург»); поэтому гелий — лучший газ для заполнения огромных надувных шаров и персонажей парада в честь Дня благодарения американского торгового центра Масы's, что делает его вторым в мире потребителем гелия по количеству тонн в год, впереди которого только военные структуры США.

Литий, третий по простоте строения элемент во Вселенной, содержит в своем ядре три протона. Как водород и гелий, он образовался вскоре после Большого взрыва, но, в отличие от гелия, запасы которого с тех пор регулярно пополняются в последующих ядерных реакциях, литий *разрушается* в результате ядерного синтеза, протекающего в звездах. По этой причине мы не рассчитываем когда-либо найти объекты или регионы, в которых лития было бы больше, чем в среднем по Вселенной (0,0001 % от общего числа атомов, образованных в ее глубоком младенчестве). Наша модель предполагает, что образование элементов протекало лишь в первые полчаса существования Вселенной, и никому еще не удалось найти галактику, в которой лития было бы больше его максимального предельного значения. Такое сочетание предельных значений для лития и гелия ставит нас в рамки

мощного двойного ограничения при проверке космологической теории Большого взрыва. Есть и другой подобный тест этой модели, который она всегда проходит с блестящими результатами: в нем сравнивают число ядер дейтерия, в каждом из которых содержатся один протон и один нейтрон, с количеством обычного водорода. В первые несколько минут синтеза были образованы оба этих типа ядра, но обычного водорода (с одним протоном) получилось в разы больше, чем дейтерия (где, помимо протона, есть еще и нейтрон).

Как и литий, следующие два элемента периодической таблицы — **бериллий** и **бор** (по четыре и пять протонов в ядре каждого соответственно) — в первую очередь обязаны своим происхождением термоядерному синтезу в ранней Вселенной и встречаются в ней в относительно скромных количествах. Из-за дефицита на Земле этих трех самых легких химических элементов после водорода и гелия случайный их прием внутрь — далеко не самая лучшая и даже опасная идея: ведь наша эволюция протекала, по сути, без их участия. Но, что удивительно, соответствующие дозы лития при этом способны приносить облегчение в борьбе с рядом умственных расстройств.

Начиная с **углерода**, элемента номер шесть, периодическая таблица расцветает пышным цветом. Количество молекул, в составе которых есть хотя бы один атом углерода (по шесть протонов в ядре каждого), превышает количество всех остальных, вместе взятых молекул мира, углерод не содержащих. Вселенская насыщенность ядрами углерода — он образуется в ядрах звезд, выводится к их поверхности и затем отправляется в огромных количествах в галактику Млечный Путь — в сочетании с его дружелюбной готовностью образовывать химические соединения с другими атомами делает углерод лучшим элементом-основой для формирования природной химии и разнообразия жизненных форм. Минимально опережая углерод по своей распространенности в мире, **кислород** (восемь протонов в ядре) тоже представляет собой высоко реактивный и распространенный элемент, чьи мировые запасы также образуются как внутри стареющих звезд (и выводятся ими в космос), так и внутри взрывающихся сверхновых. Кислород и углерод —

важнейшие ингредиенты жизни на Земле, жизни в привычном для нас виде. Аналогичные процессы участвуют в создании и распространении во Вселенной **азота**, элемента номер семь, который также встречается в мире в огромных количествах.

Как насчет жизни в непривычном для нас виде? Могут ли другие формы жизни использовать другие элементы в качестве основы своих сложных структур? Как насчет жизни, основанной на **кремнии**, элементе номер 14? В периодической таблице кремний расположен непосредственно под углеродом: это означает, что кремний способен создавать химические соединения того же плана, что и углерод, занимая в них, по сути, место углерода. В конце концов, углерод оказывается выше кремния, и не только потому, что в мире его в десять раз больше, но и потому, что химические связи, образуемые кремнием, получаются намного сильнее или ощутимо слабее, чем углеродные связи, то есть ведут себя менее однообразно. Собственно, сила связи кремния и кислорода приводит к образованию крепких скальных пород, в то время как сложным молекулам на основе кремния трудно выживать в условиях экологического стресса, который нипочем соединениям на основании углерода. Эти факты не останавливают писателей научной фантастики, активно отстаивающих права кремния в своих произведениях; заодно это держит биологию внеземной жизни в постоянном напряжении — и мы непрестанно думаем о том, какой могла бы быть по-настоящему чуждая нам внеземная жизнь (и ее формы).

Помимо того что он является активным ингредиентом столовой соли, **натрий** (11 протонов в ядре) освещает поверхность нашей чудесной земли* в качестве горячего натриевого газа, которым наполнено множество уличных фонарей. Такие фонари «горят» ярче и дольше, потребляя меньше энергии, чем традиционные лампы накаливания. Они бывают двух видов: распространенные лампы высокого давления, светящиеся желто-белым, и менее распространенные лампы оранжевого цвета с низким уровнем давления. В принципе, любой свет

* Авторы имеют здесь в виду Соединенные Штаты Америки.

создает помехи в обзоре для астрономов, но натриевые лампы с низким давлением наносят меньше вреда благодаря тому, что создаваемый ими фон (гораздо более узкого спектра) можно легко вычислить и извлечь из полученных телескопами данных. Демонстрируя прекрасный пример отзывчивости к астрономам, целый город Тусон, штат Аризона — самый крупный муниципалитет по соседству с Национальной обсерваторией в Китт-Пике, — перевел все свои улицы без исключения на натриевые лампы низкого давления; это, кстати, еще и оказалось эффективным с точки зрения потребления энергии и помогает городу на ней экономить.

Алюминий (13 протонов в ядре) составляет почти 10 % земной коры, однако он долгое время оставался неизвестным древнему человеку и даже нашим дедушкам и бабушкам исключительно потому, что невероятно удачно сочетается с другими элементами. Выделить его в отдельный элемент удалось только в 1827 году, а в быту алюминий не получил широкого распространения вплоть до конца 1960-х годов, когда оловянные банки и оловянная фольга уступили место алюминиевым. Благодаря тому что полированный алюминий практически идеально отражает видимый свет, сегодня астрономы покрывают все без исключения зеркала своих телескопов тонкой пленкой из атомов алюминия.

Хотя плотность **титана** (22 протона в ядре) на 70 % выше плотности алюминия, он в два с лишним раза прочнее. Эта прочность и относительно малый вес делают титан — девятый по распространенности элемент земной коры — современным фаворитом во множестве областей, включая производство запчастей для военных самолетов, для которых необходим легкий и прочный металл.

В большинстве регионов космоса количество атомов кислорода превышает количество атомов углерода. В звездах, как только каждый атом углерода ухватится за доступный атом кислорода, чтобы образовать молекулу окиси углерода (угарный газ) или двуокиси углерода (углекислый газ), оставшиеся атомы кислорода соединяются с другими элементами, включая титан. Спектр излучения звезд красных гигантов

наполнен отзвуками свойств, которые проявляются из-за наличия в нем двуокиси титана (молекул TiO_2), встречающегося, кстати, и в «земных звездах»: звездчатые сапфиры и рубины обязаны своими сияющими астеризмами примесям в своих кристаллических решетках двуокиси титана, в то время как примеси алюминия обогащают их оттенки. Двуокись титана также входит в состав белой краски, которой покрывают купола телескопов, — она обладает способностью очень эффективно выделять инфракрасное излучение, что, в свою очередь, позволяет существенно снизить тепло, накапливающееся внутри купола в течение светового дня. В ночное время, когда купол открыт, температура воздуха около телескопа падает быстрее, чем температура ночного воздуха, что уменьшает атмосферное преломление и позволяет свету, излучаемому звездами и другими космическими объектами, достигать наблюдателя с большей точностью и ясностью. Свое имя титан получил от титанов древнегреческой мифологии — как, впрочем, и крупнейшая из лун Сатурна — Титан.

Может, углерод и является самым распространенным элементом в формировании жизни, но во многих других смыслах железо, элемент номер 26, можно назвать одним из самых важных в природе. Звезды с высокой массой синтезируют элементы в своих ядрах, перебирая поочередно один элемент периодической таблицы за другим по мере возрастания количества протонов в их ядрах: от гелия до углерода, кислорода и неона вплоть до железа. Содержащее в себе 26 протонов и как минимум столько же нейтронов железо отличается одной особенностью, следующей из законов квантовой механики, которая управляет взаимодействием протонов и нейтронов: у ядер железа самая высокая энергия связи из расчета на одну ядерную частицу (протон или нейтрон). Вот что это значит: если вы хотите раздробить ядро железа (в физике это называется расщеплением), вам потребуется дополнительная энергия. С другой стороны, если вы возьметесь соединять атомы железа (это называется синтезом или сплавлением), они тоже будут поглощать энергию. Получается, энергия нужна и для того, чтобы соединять атомы железа друг с другом, и для того, чтобы расщеплять их.

Для всех остальных элементов справедливо лишь одно из двух: они поглощают энергию либо только при синтезе, либо только в процессе расщепления.

Звезды тем временем заняты превращением массы в энергию согласно постулату $E = mc^2$: это необходимо им для того, чтобы противостоять коллапсу под воздействием своей собственной гравитации. Когда внутри звезд синтезируются атомные ядра, природа требует — и получает — ядерный синтез, при котором выделяется энергия. К тому времени, как массивная звезда превратит большую часть своего содержимого в железо, у нее заканчиваются способы выделения энергии в процессе термоядерного синтеза, потому что весь последующий синтез будет только поглощать энергию, но никак не создавать ее. Лишенное источника энергии, коим был для нее все это время термоядерный синтез, ядро звезды в итоге коллапсирует под своим собственным весом, после чего моментально возрождается в громадном взрыве, известном как сверхновая звезда: ее сияние будет гореть ярче миллиарда Солнц на протяжении как минимум недели. Такие сверхновые звезды рождаются исключительно благодаря удивительному свойству железа — его нежеланию соединяться или делиться на части без дополнительной инъекции энергии.

Мы описали основные свойства водорода и гелия; лития, бериллия и бора; углерода, азота и кислорода; алюминия, титана и железа; таким образом, мы изучили практически все ключевые элементы, благодаря которым космос и жизнь на Земле сегодня существуют.

Ради общекосмического интереса давайте быстро пробежимся и по гораздо более странному участнику периодической таблицы элементов. Вам почти наверняка никогда не доведется владеть сколько-нибудь серьезными объемами этих элементов, но для ученых они не только яркие и загадочные всплески на зеркальной глади природных химических щедрот, но и невероятно ловкие в определенных условиях помощники. Возьмем, к примеру, мягкий металл **галлий** (31 протон в ядре). Температура плавления галлия настолько мала, что ему хватит тепла человеческого тела, чтобы расплавиться прямо у вас на ладони. Галлий

также развлекает астрофизиков, исполняя роль активного ингредиента вещества хлорида галлия — вариации на тему столовой соли (хлорида натрия), что принимает ценное участие в экспериментах по обнаружению нейтрино. Чтобы зафиксировать ускользающие от них нейтрино, астрофизики берут стотонный бак жидкого хлорида галлия и помещают его глубоко под землей (нивелируя воздействие других менее проникающих частиц), после чего внимательно наблюдают за ним, чтобы отследить результаты любых столкновений между нейтрино и ядрами галлия. Такие столкновения ведут к образованию ядер **германия** по 32 протона каждое. Любое преобразование галлия в германий сопровождается выделением фотонов рентгеновского излучения, которое можно обнаружить и измерить каждый раз, когда на ядро приходится удар. С помощью подобных «нейтриновых телескопов» из хлорида галлия астрофизики разрешили загадку, которую они называли проблемой солнечных нейтрино. Она заключалась в том, что по ранее необъясненным причинам предыдущие поколения детекторов нейтрино обнаруживали их меньше, чем предполагала теория термоядерного синтеза в звездном ядре Солнца.

Каждое ядро элемента **технеция** (атомное число 43) является радиоактивным, распадаясь за несколько мгновений или за несколько миллионов лет на другие типы ядер. Ничего удивительного в том, что на Земле обнаружить технеций в природе нельзя — разве что в ускорителях частиц, где его можно изготовить на заказ. В силу обстоятельств, которые пока не поддаются нашему пониманию, технеций обитает в атмосферах определенного ряда красных гигантов. Как было отмечено в предыдущей главе, это ни за что не взволновало бы астрофизиков, если бы не период полураспада технеция 2 миллиона лет; а это намного меньше, чем предполагаемая продолжительность жизни тех звезд, у которых он был обнаружен. Это доказывает, что звезды не могли сформироваться с готовыми запасами технеция, ведь, если бы это было так, никакого технеция в них уже не осталось бы. Астрофизики также не знают такого механизма, который позволил бы звезде синтезировать технеций в своем ядре и затем доставить его на свою поверхность, где

они и имеют честь его наблюдать. Причины наличия технеция в атмосфере таких звезд до сих пор не разгаданы, из-за чего в данной области иногда рождаются весьма экзотические теории, ни одна из которых, впрочем, пока не получила единодушного одобрения в сообществе астрофизиков.

Наряду с осмием и платиной **иридий** является одним из трех самых плотных элементов периодической таблицы: два кубических фута^{*} иридия (атомное число 77) весят как один хороший «Бьюик», и поэтому из него получают лучшие пресс-папье в мире — офисные сквозняки и напольные вентиляторы им нипочем. Иридий также представляет собой самое веское в мире неопровержимое доказательство прошлых событий в истории Земли — вроде дымящегося пистолета в руке стрелявшего: тонкий слой материала с высоким содержанием иридия покрывает всемирный геологический слой на знаменитой границе К-Т, которая сформировалась около 65 миллионов лет назад. По мнению большинства биологов, это не просто совпадение, что именно в ту эпоху все виды наземных существ размером с хлебницу и крупнее, включая легендарных динозавров, вымерли. Иридий на поверхности Земли встречается редко, зато в десять раз чаще его можно обнаружить на металлических астероидах. Какой бы теории о вымирании всех динозавров планеты вы ни придерживались ранее, смертоносный астероид диаметром 10 миль, прилетевший к нам из космоса и способный поднять на воздух плотную светонепроницаемую пелену всевозможного мусора, который несколько месяцев спустя прольется осколочным дождем обратно на Землю, больше не кажется таким уж невероятным вариантом.

Неясно, как к этому отнесся бы сам Альберт Эйнштейн, но, когда в продуктах взрыва первой пробной водородной бомбы в Тихоокеанском регионе в ноябре 1952 года физики обнаружили ранее неизвестный им химический элемент, они назвали его **эйнштейнием** в честь великого ученого. Хотя что-то вроде «армагеддоний» было бы более уместно.

* 2 куб. фута = 0,057 куб. м.

В то время как гелий получил свое название непосредственно от Солнца, еще десять элементов периодической таблицы позаимствовали свои названия у объектов, вокруг Солнца вращающихся.

Фосфором, что с греческого переводится как «несущий свет», в древности называлась планета Венера, появлявшаяся в рассветном небе незадолго до восхода Солнца.

Селен отсылает нас к «селене» — греческой «луне»; он был назван так потому, что всегда встречается в природе в обнимку с другим элементом — теллурием, в свою очередь получившим название в честь Земли (на основе латинского слова *tellus*).

1 января 1801 года, в первый день XIX века, итальянский астроном Джузеппе Пьяцци открыл новую планету, вращавшуюся вокруг Солнца и расположенную на подозрительно большом пустом участке неба между Марсом и Юпитером. Не отступая от традиции, которая предлагает нарекать планеты в честь древнеримских богов, Пьяцци назвал этот объект Церерой в честь богини урожая (что затем также легло в основу английского слова *cereal*, означающего «злак»). Научное сообщество настолько взволновало открытие Пьяцци, что следующий же новый обнаруженный химический элемент был назван **церием**. Два года спустя была обнаружена еще одна планета — примерно на том же расстоянии от Солнца, что и Церера. Ее назвали Палладой — в честь богини мудрости Афины Паллады, и, как и в случае с церием, следующий новый элемент в периодической таблице получил в честь нее название **палладий**. Кружок интересов по придумыванию названий закрылся несколько десятилетий спустя, когда в одном и том же регионе было открыто еще несколько дюжин подобных планет. Более подробный анализ дал понять, что эти объекты были во много раз меньшего размера, чем самые маленькие из известных планет. В Солнечной системе было обнаружено целое поколение новых объектов, состоявших из маленьких и неровных кусков камня и металла. Церера и Паллада оказались не планетами, а астероидами, в размере не превышающими несколько сотен миль от края до края. Они обитают в поясе астероидов, который, как мы уже знаем сегодня, состоит из миллионов объектов: астрологи

тщательно внесли их все в каталоги (более 15 тысяч!) и переписали, дав им порядковые номерные названия — это, конечно, побольше, чем количество элементов в периодической таблице.

Металл **ртуть** (англ. mercury), который принимает форму вязкой жидкости при комнатной температуре, обязан своим именем древнеримскому богу-вестнику в крылатых сандалиях. Как и планета Меркурий — самая быстродвижущаяся в Солнечной системе.

Название **торию** дал Тор — скандинавский бог молнии и грома, аналог громовержца Юпитера из мифологии древнеримской. Клянемся именем громовержца: недавние снимки полярных регионов Юпитера, полученные космическим телескопом Хаббла, демонстрируют мощные электрические вспышки внутри его турбулентных облаков.

Сатурн — любимая всеми нами планета — не подарил названия ни одному химическому элементу, зато Уран, Нептун и Плутон представлены в периодической таблице в полной мере. Элемент **уран**, открытый в 1789 году, был назван в честь планеты Уильяма Гершеля, которую тот зафиксировал всего восемью годами ранее. Все изотопы урана нестабильны, они спонтанно, но медленно распадаются на более легкие элементы, в процессе чего выделяется энергия. Если вам удастся ускорить этот распад за счет «цепной реакции» ядер урана, у вас на руках будет достаточно взрывной энергии, чтобы соорудить бомбу. В 1945 году США взорвали первую урановую бомбу (ее более известное название — атомная бомба) в рамках военных действий, выжигая японский город Хиросиму. В каждом ядре урана содержится 92 протона: так что уран получает награду как самый крупный и тяжелый элемент из встречающихся в природе в естественных условиях, хотя в местах разработки и добычи урана можно найти и следы более крупных и тяжелых элементов.

Раз уж Уран заслужил, чтобы в его честь назвали химический элемент, то и Нептун обделит было бы нехорошо. Однако, в отличие от урана, который был обнаружен вскоре после давшей ему имя планеты, **нептуний** был получен лишь в 1940 году в ускорителе частиц под названием «циклотрон Беркли»: прошло 97 лет с тех пор, как немецкий

астроном Иоганн Галле обнаружил Нептун на том участке неба, на который пророчески указал французский математик Йозеф ле Верье, изучавший необъяснимое орбитальное поведение Урана и пришедший к выводу о том, что за ним расположена еще одна планета. Нептун в Солнечной системе следует за Ураном, и нептуний стоит сразу за ураном в периодической таблице химических элементов.

Физики, изучавшие поведение частиц в циклотроне Беркли, обнаружили еще полдюжины с лишним элементов, не встречающихся в природе. В их числе **плутоний**, идущий следом за нептунием в периодической таблице и носящий имя Плутона. Он был обнаружен молодым астрономом Клайдом Томбо в 1930 году на фотографиях, сделанных в аризонской обсерватории Лоуэлла. Как и с открытием Цереры 129 годами ранее, волнение научного сообщества было велико. Плутон был первой планетой, открытой гражданином США, и, за отсутствием данных каких-либо наблюдений, был признан планетой, размером и массой в целом соответствующей Урану и Нептуну. По мере совершенствования наших измерительных инструментов размер Плутона становился все меньше и меньше. Наше понимание его истинных размеров не утряслось, пока в конце 1970-х годов не настало время миссий «Вояджера» к окраинам Солнечной системы. Теперь мы знаем, что холодный льдистый Плутон — это самая маленькая планета Солнечной системы, более того, она меньше, чем шесть крупнейших лун этой системы. Как и в случае с астероидами, астрономы позднее нашли сотни подобных объектов в подобных регионах (то есть на окраинах Солнечной системы), которые выполняют орбиты подобно Плутону. Они позволили выделить в отдельный класс ранее не зарегистрированное множество льдистых объектов, которые сегодня называются поясом комет Койпера. Перфекционисты имеют полное право утверждать, что, как и Церера и Паллада, Плутон проскользнул в сетку названий периодической таблицы на ложных основаниях.

Наряду с ураном, ядра плутония радиоактивны. Они легли в основу атомной бомбы, сброшенной на японский город Нагасаки всего через три дня после того, как урановая бомба уничтожила Хиросиму, что

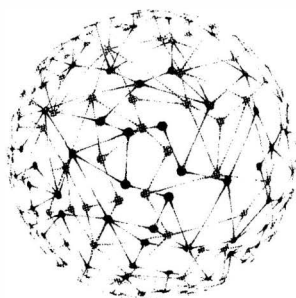
поставило точку во Второй мировой войне. Ученые могут применять незначительные объемы плутония, который выделяет энергию стабильно и не очень быстро, в качестве топлива для радиоизотопных термоэлектрических генераторов (сокращенно РТГ) — ими оснащены космические корабли, которые курсируют к окраинам Солнечной системы, где солнечного света уже недостаточно для того, чтобы синтезировать энергию с помощью солнечных панелей. Один фунт* плутония создает 10 миллионов киловатт тепловой энергии. Этого достаточно для того, чтобы обычная лампочка горела у вас в прихожей на протяжении 11 тысяч лет или чтобы человек «функционировал» примерно столько же. Продолжая черпать энергию из своих запасов плутония, чтобы отправлять на Землю сообщения, два корабля «Вояджер», отправленные в космос в 1977 году, уже давно оставили позади орбиту Плутона. Один из них, находясь на расстоянии от Солнца, почти в сто раз большем, чем расстояние от него до Земли, начал понемногу входить в подлинное межзвездное пространство, покидая тот «пузырь», который создает отток с Солнца электрически заряженных частиц.

Что ж, мы заканчиваем свое космическое путешествие по периодической таблице химических элементов на самом краю Солнечной системы. По причинам, которые нам еще предстоит определить, многим людям не нравятся химикаты, из-за чего движение за изъятие их из наших продуктов питания постоянно набирает обороты. Возможно, напыщенные и неудобопроизносимые названия и термины звучат для кого-то слишком угрожающе. Но в этом стоит винить исключительно химиков, никак не сами химические элементы. Лично нам они очень нравятся, ведь наши любимые звезды, как и наши лучшие друзья, сплошь и насквозь состоят именно из них.

* 1 фунт = 454 г.

Часть IV

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ПЛАНЕТ**



Глава 11

В ЭПОХУ ЮНОСТИ МИРОВ

В своих попытках разузнать историю Вселенной мы неоднократно убеждались в том, что наиболее плотно укутанные завесой тайны этапы мироздания — это те, что относятся непосредственно к *началу начал*: к истокам самой Вселенной, ее наиболее крупных структур (галактик и галактических кластеров) и ее звезд, которые являются источником большей части света в космосе. Каждая из этих историй о происхождении играет определенную и жизненно важную роль — и не только в объяснении того, как предположительно бесформенный космос произвел на свет сложные объединения различных типов объектов, но и в определении того, как и почему через 14 миллиардов лет после Большого взрыва мы вообще живем на планете Земля и можем задаться этим вопросом: «Как же все это произошло?»

Не в последнюю очередь подобные загадки рождаются потому, что во время «темных веков» космической истории, когда вещество еще только начинало скапливаться в самостоятельные единицы, такие как звезды или галактики, большая часть всего этого вещества производила очень мало или вообще не производила обнаружимого излучения. То темное время оставило нам лишь минимум возможностей (все еще не до конца исследованных) для того, чтобы каким-то образом узнать,

как выглядело вещество на тех ранних стадиях организации. В свою очередь, это означает, что нам следует полагаться — в пугающе высокой степени — на свои собственные теории о том, как должно вести себя вещество, и что у нас не так уж много инстанций, в которых мы могли бы сопоставить свои теории со своими наблюдениями.

Стоит нам обратиться к происхождению планет, как загадки лишь множатся и усугубляются. У нас нет не только результатов *наблюдений* за ключевыми первоначальными стадиями формирования планет, но и успешных *теорий* о том, как же именно в свое время планеты сформировались. В качестве позитивной ремарки спешим отметить, что вопрос «Откуда появились планеты?» за последние годы стал рассматриваться гораздо шире. На протяжении большей части XX века в поисках ответа на него ученые акцентировали внимание только на планетах Солнечной системы. За прошедшее же десятилетие рядом с относительно близкими звездами было найдено более сотни экзопланет, которые подарили ученым существенно больше данных для того, чтобы попробовать определить раннюю историю их рождения и существования — в первую очередь, как эти астрономически малые, темные и плотные объекты сформировались среди звезд, дающих им свет и жизнь.

Сегодня у астрофизиков, может быть, и имеется больше данных, чем раньше, но это не помогло им получить ответы на свои вопросы. Более того, обнаружение экзопланет, многие из которых движутся по орбитам, заметно отличающимся от орбит планет Солнечной системы, во многом даже усложнило задачу, не приблизив ученых к разгадке истории планетообразования. Мы можем утверждать, что у нас нет объяснения тому, как планеты *начали* образовываться из газа и пыли, хотя мы можем с легкостью объяснить, как уже запущенный процесс планетообразования был способен сделать из малых объектов большие и почему это заняло относительно немного времени.

Начало образования планет — тема на удивление неподатливая, вплоть до того, что один из главных мировых экспертов в этой области,

Скотт Тримейн из Принстонского университета, позволил себе следующие высказывания, пусть и не до конца всерьез. Он сформулировал свод законов планетообразования, первый из которых утверждает, что «все теоретические предсказания о свойствах экзопланет неверны», а второй — что «самая надежная теория о том, как образовались планеты, — теория, говорящая, что это в принципе невозможно». Юмор Тримейна, однако, подчеркивает тот необъяснимый факт, что планеты все же существуют — при всем нашем неумении разрешить эту астрономическую головоломку.

Более двух веков назад, пытаясь объяснить формирование Солнца и его планет, Эммануил Кант высказал «небулярную гипотезу», согласно которой закрученная масса газа и пыли, окружающая нашу главную звезду в процессе ее формирования, распалась на более плотные отдельные объемы, из которых позднее сформировались планеты. В самом широком смысле гипотеза Канта и сегодня является основой для современных астрономических теорий о планетообразовании, одержав верх над другой концепцией, весьма популярной в первой половине XX века. Она заключалась в том, что планеты Солнечной системы образовались вследствие прохождения другой звезды мимо Солнца на пути по своим космическим делам. Такой сценарий подразумевает, что гравитационное воздействие обеих звезд должно было повывергивать газовые облака из окружения друг друга, после чего какое-то количество такого газа впоследствии охладилось и сгруппировалось плотнее, в итоге образуя собой планеты. У этой гипотезы, продвигаемой известным британским астрофизиком Джеймсом Джинсом, был один дефект (или же изюминка, как предпочитают думать некоторые): исходя из нее, планетные системы должны быть очень редким явлением — ведь близкое общение звезд при личной, так сказать, встрече, скорее всего, состоялось буквально считанные разы за всю историю существования галактики. Как только астрономы смогли вычислить, что весь газ, выдернутый из околос звездного пространства, не сжался бы, а, наоборот, улетучился в разных направлениях, они отказались от гипотезы Джинса и вернулись к кан-

товской, согласно которой у большинства звезд, если не у всех вообще, орбиты должны быть украшены планетами.

Теперь у астрофизиков есть надежные доказательства того, что сами звезды формируются — и не по одной, а сразу тысячами и десятками тысяч — внутри огромных облаков газа и пыли, причем из одного такого облака в итоге может образоваться до миллиона отдельных звезд. В таких гигантских звездных яслях в свое время сформировалась туманность Ориона — ближайший к Солнечной системе регион активного звездообразования. Еще через несколько миллионов лет в этом регионе появятся сотни тысяч новых звезд, которые разгонят большую часть оставшегося в туманности газа и пыли в открытый космос; и астрономы сотни тысяч поколений спустя смогут наблюдать эти молодые звезды, которые не будут больше скрываться за остатками своих газово-пылевых коконов.

Сейчас астрофизики используют радиотелескопы для того, чтобы фиксировать распределение охлажденного газа и пыли в непосредственном окружении молодых звезд. Как правило, на таких картах распределения можно увидеть, что молодые звезды не плывут в космосе, лишены какого-либо окружающего вещества. Наоборот — у звезд, как правило, есть вращающийся вокруг них газопылевой диск, похожий по размеру на Солнечную систему, но состоящий из водорода (и других газов, представленных гораздо менее широко) и чуть присыпанный частичками межзвездной пыли. В данном случае термин «пыль» описывает группы частиц, состоящих из нескольких миллионов атомов каждая и по размеру все равно недотягивающих даже до размера точки, которая стоит в конце этого предложения. Многие частицы такой пыли состоят в большей степени из атомов углерода, объединенных в вещество графит (основной ингредиент в стержнях карандашей). Другие твердые частицы состоят из сочетаний кремния и кислорода — по сути, это крошечные камешки, чьи каменистые сердца окутывает ледяная мантия.

Образование этих твердых частиц пыли в межзвездном пространстве уже само по себе загадочно и описано одновременно в множестве

теорий, на которых мы можем здесь не останавливаться: достаточно запомнить, что пыль в космосе *есть*. Чтобы сформировать собой эту пыль, атомам приходится собираться бок о бок миллионами; если учесть, сколь мала плотность какого бы то ни было вещества в межзвездном пространстве, наиболее очевидным местом для формирования этой пыли кажутся внешние атмосферы прохладных звезд, которые понемногу отправляют свой отработанный материал в космос.

Частицы межзвездной пыли — первый шаг на пути к формированию планет. Это касается не только твердых планет вроде нашей с вами, но и огромных газовых гигантов, представленных в Солнечной системе Юпитером и Сатурном. Даже несмотря на то, что эти планеты состоят преимущественно из водорода и гелия, астрофизики, проанализировав внутренние структуры этих гигантов в сочетании с их подсчитанными массами, пришли к заключению, что их ядра все же твердые. Из всей суммарной массы Юпитера, в 318 раз превышающей массу Земли, его твердое ядро представлено массой в несколько дюжин земных масс. Сатурн, в 95 раз превышающий своей массой массу Земли, обладает твердым ядром в одну-две дюжины масс Земли. У Солнца есть еще две планеты из числа газовых гигантов поменьше — Уран и Нептун, и их твердые ядра пропорционально большего размера. Каждая из них превышает массу Земли в 15 и 17 раз соответственно, и вполне возможно, что ядро в них составляет не менее 50 % всей массы планеты.

Для каждой из этих четырех планет и, вероятно, для всех гигантских планет, недавно обнаруженных на орбитах других звезд, их планетные ядра сыграли ключевую роль в процессе формирования: сначала появилось ядро, а затем и газ, который привлекало к себе это самое ядро. Выходит, для образования любой планеты просто необходимо, чтобы сначала образовался большой комок плотного вещества. У одной из планет Солнца, Юпитера, самое большое ядро, следом идет Сатурн, а затем Нептун, Уран и на пятом месте — Земля, которая также занимает пятое место среди всех планет по размеру. Истории формирования всех этих планет ставят перед нами ребром один

фундаментальный вопрос: как смогла природа заставить вещество сгуститься и в итоге собраться в «комки», насчитывающие многие тысячи миль в диаметре?

Ответ на этот вопрос состоит из двух частей — одной известной и одной неизвестной; последняя, как нетрудно догадаться, лежит ближе к самому истоку. Как только вам удастся образовать объекты шириной примерно в полмили, которые астрономы называют планетезималиями, каждому из них хватит своей собственной гравитации для того, чтобы успешно подтянуть к себе и другие объекты. Взаимное гравитационное воздействие планетезималей друг на друга довольно быстро порождает первые планетные ядра, а затем и сами планеты. Нужно всего несколько миллионов лет, чтобы пройти путь от некоторого количества «комков», размером с небольшой город каждый, до полноценных новых миров, дозревших до состояния, в котором они готовы либо приобрести тонкий слой атмосферного газа (что и произошло с Венерой, Землей и Марсом), либо укутаться в толстенный слой водорода и гелия (как в случае с четырьмя газовыми гигантами, которые вращаются вокруг Солнца на достаточном от него расстоянии, чтобы притянуть к себе огромные объемы этих двух легчайших в мире газов). Для астрофизиков переход от планетезималии шириной в полмили к полноценной планете сводится к ряду хорошо проработанных компьютерных моделей, которые описывают процесс во всех подробностях и почти всегда приводят к формированию маленьких, каменистых и плотных внутренних планет звездной системы в сочетании с крупными и (за исключением ядра) газовыми — даже разреженными — внешними планетами. В течение этого процесса многие планетезималии, как и некоторые объекты, которые они образуют, оказываются выкинутыми за пределы Солнечной системы в результате гравитационного взаимодействия с еще более крупными объектами.

Все это отлично работает на компьютере, но вот создание собственно планетезималей в полмили шириной пока остается за гранью понимания даже самых светлых умов современной астрофизики, которые все еще не в состоянии должным образом объединить свои познания

о физике нашего мира с возможностями современных компьютеров. Гравитация не может создавать планетезимали, потому что скромной взаимной силы тяготения маленьких объектов не хватит на то, чтобы успешно удержать их друг рядом с другом. Для того чтобы получить планетезимали из межзвездной пыли, существуют две теоретические возможности — и ни одна из них не является особо удовлетворительной. Одна модель предлагает формирование планетезималей посредством аккреции, которая совершается в тот момент, когда твердые частицы пыли сталкиваются и остаются вместе. В принципе, аккреция — это вполне рабочая идея, так как большинство частиц пыли и *вправду* скрепляются друг с другом во время столкновения; вот почему под диваном могут образоваться целые хлопья пыли. Теперь остается лишь представить огромные хлопья межзвездной пыли, танцующие вокруг Солнца, и нужно еще всего одно небольшое умственное усилие для того, чтобы позволить им в своем воображении разрастись до размера стула, дома, городского квартала ... и, наконец, планетезималия, уже готового к основательной гравитационной работе над собой и своим окружением.

К сожалению, в отличие от хлопьев поддиванной пыли, на возвращение целого планетезималия из хлопьев межзвездной пыли уходит слишком много времени. Датирование с помощью радиоизотопов нестабильных ядер, обнаруженных в самых древних метеоритах, показало, что на формирование Солнечной системы ушло всего лишь несколько десятков миллионов лет — а то и намного меньше. В сравнении с текущим возрастом наших планет, который составляет примерно 4,55 миллиарда лет, это словно капля воды в наполненном ею до краев ведре: всего 1 % (или даже меньше) от общей продолжительности существования Солнечной системы. Но на процесс аккреции, который помог бы сформировать из пыли первоначальные планетезимали, ушло бы существенно больше нескольких десятков миллионов лет, так что, если только астрофизики не упустили что-то очень важное в понимании того, как именно в процессе аккреции пыль собирается в крупные структуры, нам требуется иной механизм образования

планетезималей, который более красиво впишется в имеющиеся у нас временные рамки.

Другой гипотетический механизм опирается на огромные воронки, в которые частицы межзвездной пыли улетают целыми тучами и очень стремительно прямо навстречу их счастливому объединению в более крупные структуры. Так как сжимающееся облако газа и пыли, которому в конце концов предстояло превратиться в Солнце и его планеты, в процессе трансформации приобрело вращающий момент, оно вскоре изменило свою общую форму со сферической на тарелкообразную, оставив формирующееся Солнце в виде относительно плотной сжимающейся сферы в своем центре и окружив его сильно сплюснутым диском материала, вращающегося вокруг этой самой сферы. На сегодняшний день орбиты всех планет Солнца, которые движутся в одном и том же направлении и располагаются фактически в одной плоскости, служат доказательством в пользу теории о дискообразном распределении вещества и формировании из него планетезималей и планет. Внутри такого вращающегося диска астрофизики наблюдают появление «нестабильных участков», словно подернутых рябью, что отражает собой чередование регионов с большей и меньшей плотностью вещества. Более плотные регионы вбирают в себя как газ, так и пыль, парящую внутри этого газа. Через несколько тысяч лет такие нестабильные участки превратятся в закрученные воронки, которые смогут сгонять относительно большие партии пыли в одно место и сжимать их до относительно небольших и плотных объемов.

Эта модель воронкообразного формирования планетезималей выглядит многообещающе, хотя пока ей не удалось завоевать сердца тех, кто продолжает искать объяснение тому, как Солнечная система произвела на свет все необходимое для юных планет. После тщательного анализа становится ясно, что модель предлагает более удачную трактовку процессов формирования ядер Юпитера и Сатурна, чем Урана и Нептуна. Так как у астрономов нет возможности доказать, что те нестабильные участки, без которых модель становится голословной, действительно когда-то существовали, нам тоже следует воздержаться

от каких-либо личных суждений. Существование бесчисленных малых астероидов и комет, которые своими размерами и составом весьма напоминают планетезимали, поддерживает идею о том, что миллиарды лет назад из миллионов планетезималей образовались многочисленные планеты. Так что давайте относиться к образованию планетезималей как к установленному, пусть и не до конца понятному, явлению, которое каким-то образом заполняет зияющий пробел в наших знаниях, и перейдем к следующему развлечению: рассмотрим, что происходит, когда планетезимали сталкиваются.

После того как из окружающих Солнце газа и пыли сформировалось несколько миллиардов планетезималей, все эти объекты принялись сталкиваться друг с другом, соединяться и создавать более крупные объекты, чтобы в конце концов образовать собой четыре внутренние планеты Солнечной системы и ядра ее четырех внешних планет-гигантов. Нельзя забывать и о лунах планет — более скромных в размере объектах, что вращаются вокруг каждой планеты Солнца за исключением самых близких к нему: Меркурия и Венеры. Самые крупные из этих лун, диаметры которых составляют от нескольких сотен до нескольких тысяч миль, вроде бы аккуратно вписываются в созданную нами модель: предположительно они образовались вследствие тех самых столкновений планетезималей. Образование лун завершилось тогда, когда в результате столкновений миры-спутники доросли до своих сегодняшних размеров, потому что (позволим себе предположить) к тому времени близлежащие планеты с их более сильной гравитацией присовокупили к себе большинство расположенных рядом планетезималей. В эту картину надо не забыть включить сотни тысяч астероидов, что вращаются вокруг Марса и Юпитера. Самые большие из них достигают в диаметре нескольких сотен миль, и они тоже наверняка выросли за счет столкновений планетезималей — правда, в какой-то момент обнаружили, что расти и дальше им уже не дает гравитационное вмешательство близлежащего гиганта Юпитера. Самые мелкие астероиды, менее километра в ширину, вполне могут представлять собой обнаженные планетезимали — объекты,

образовавшиеся из пыли, но ни разу не столкнувшиеся с себе подобными — опять же благодаря влиянию Юпитера, — после того как они достаточно выросли, чтобы участвовать в гравитационном взаимодействии.

Для спутников гигантских планет такой сценарий вполне подходит. У всех четырех гигантских планет есть семейства спутников, размеры которых варьируются от огромных и невероятно огромных (вплоть до размеров Меркурия!) до маленьких и даже крошечных. Самые маленькие из таких лун, менее мили в диаметре, тоже могут оказаться обнаженными планетезималями, лишенными вследствие близости других объектов, которые уже успели вырасти в разы крупнее, каких-либо возможностей дальнейшего роста за счет столкновений. В каждом из этих четырех семейств спутников почти все наиболее крупные луны вращаются вокруг своих планет в одном и том же направлении и делают это практически в одной и той же плоскости. Трудно удержаться от того, чтобы не объяснить этот факт так же, как и в случае с планетами, которые вращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении и примерно в одной плоскости: вокруг каждой из этих планет вращалось когда-то облако газа и пыли, из которого потом сформировались «комки» вещества, позднее выросшие до размеров планетезималей, а затем и лун.

Во внутренней Солнечной системе только у нашей Земли есть луна значительного размера. У Меркурия и Венеры лун нет, а две картофелеобразные луны Марса — Фобос и Деймос — насчитывают всего несколько миль в ширину каждая, из чего следует, что они представляют собой более ранние стадии формирования более крупных объектов из имеющихся уже планетезималей. Некоторые теории приписывают происхождение этих лун астероидному поясу, а их сегодняшние орбиты — воздействию гравитации Марса, которому удалось с успехом подтянуть два этих бывших астероида к себе поближе.

Диаметр нашей Луны составляет более 2000 миль, и крупнее ее из всех лун Солнечной системы лишь Титан, Ганимед, Тритон и Каллисто; в целом по размеру наша Луна сравнима с Ио и Европой. Так является

ли Луна продуктом столкновений планетезималей, как и четыре внутренние планеты нашей системы?

Пока человек не привез на Землю образцы лунных пород, эта теория казалась вполне состоятельной. Более 30 лет назад химический состав этих образцов, доставленных на Землю по итогам успешного возвращения из космоса «Аполлона», наложил сразу два ограничения на вероятное происхождение Луны. С одной стороны, состав лунного камня настолько сильно напоминает земные породы, что предположение о формировании Луны независимо от нашей планеты более не кажется приемлемым. С другой — состав лунного камня достаточно отличается от состава коры Земли, чтобы стало очевидным: спутник Земли не целиком образовался из того же земного материала, что и сама планета. Но если Луна сформировалась где-то рядом с Землей и при этом не из аналогичного источника материала, то как и откуда она тогда взялась?

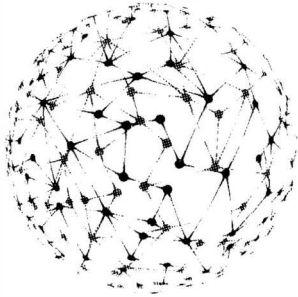
Принятый сегодня ответ на этот непростой вопрос, на первый взгляд вызывающий изумление, строится на когда-то популярной гипотезе о том, что Луна сформировалась в самом начале истории Солнечной системы вследствие какого-то колоссального по силе внешнего воздействия, которое «вычерпнуло строительный материал» со дна Тихого океана и закинуло его в космос, где он сжался в единый объект и образовал нашу Луну. Согласно этой новой версии, которая уже обрела довольно широкое признание как наиболее качественное из доступных человеку объяснений, Луна действительно сформировалась после того, как о Землю ударился гигантский небесный объект, но его размер был настолько велик — практически размером с Марс, — что часть его собственного вещества естественным образом добавилась к веществу, отброшенному с Земли в космос. Большая часть материала, отбившего в космос в результате этого происшествя, могла разлететься достаточно далеко, но все же материала осталось достаточно для того, чтобы образовать нашу Луну, сделанную из земного вещества с добавлением неземного. Все это произошло примерно 4,5 миллиарда

лет назад, в первые 100 миллионов лет после того, как началось образование планет Солнечной системы.

Если предмет размером с Марс ударился о Землю в те незапамятные времена, то где же он сейчас? Удара вряд ли было бы достаточно для того, чтобы расколоть этот предмет на столь крохотные останки, что мы не могли бы их увидеть: наши лучшие телескопы способны обнаружить во внутренних областях Солнечной системы объекты не крупнее планетезималей. Ответ на это возражение предлагает нам полноценную новую картину всей Солнечной системы — картину, которая подчеркивает ее жестокую и склонную к столкновениям природу. Сам факт, что планетезимали способны были соединиться в один объект размером с Марс, еще не является гарантией того, что этот объект просуществовал достаточно долго. Вероятно, он не только столкнулся с Землей, но и разбросал свои куски в результате столкновения во все стороны по всей Солнечной системе, где они продолжали время от времени сталкиваться с самой Землей и другими внутренними планетами, друг с другом и с той же Луной (когда она закончила формироваться). Другими словами, во внутренней Солнечной системе на протяжении первых нескольких сотен миллионов лет царила ужасная сутолока, и те куски, что прикреплялись к планетам после столкновения с ними, становились частью этих планет. Встреча Земли с тем самым объектом размером с Марс — это не единственное, но всего лишь одно из самых крупных и мощных событий во время продолжительного дождя из падающих на Землю и ее соседей объектов и даже планетезималей самой разной величины, бомбардирующих всех и вся в эту эпоху разрушений.

Если взглянуть на все это под другим углом, такая смертельная бомбардировка лишь послужила очередной точкой отсчета, обозначая собой финальные стадии планетообразования. Кульминацией всего процесса стала Солнечная система — такая, какой мы видим ее сегодня, не слишком изменившаяся за последние четыре с лишним миллиарда лет. Одна обычная звезда, вокруг которой вращаются восемь планет (плюс льдистый Плутон, который все же больше сродни комете,

нежели планете), сотни тысяч астероидов, миллиарды метеоритов (мелкие дозы вещества, которые ежедневно тысячами падают на Землю) и множество комет — грязноватых снежков, которые образовались на расстоянии от Солнца, в десятки раз превышающем расстояние от него до Земли. Не будем забывать о спутниках планет, которые стабильно движутся по своим орбитам (за весьма редким исключением) с самого своего рождения, состоявшегося около 4,6 миллиарда лет назад. Так давайте поближе познакомимся со всем тем материалом, что продолжает двигаться в космическом пространстве вокруг нашего Солнца, — материалом, способным как дарить жизнь, так и уничтожать ее в мирах, подобных нашему.



Глава 12

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ИСТОРИИ

Со стороны наша Солнечная система смотрится пусто. Если поместить ее в шар такого размера, чтобы в него вписалась орбита Нептуна, то само Солнце со всеми своими планетами и их лунами займет внутри этого шара чуть больше одной триллионной доли всего пространства. Это если предположить, что межпланетное пространство по сути своей пустое. Однако при более близком рассмотрении оказывается, что между планетами можно найти самые разные предметы — крупные камни, камешки и каменную крошку, ледяные снежки, пыль, потоки заряженных частиц и даже созданные человеком и отправленные им далеко-далеко исследовательские станции. Межпланетное пространство также наполнено невероятно мощным гравитационным воздействием и пронизано магнитными полями, невидимыми в буквальном смысле этого слова, но способными оказывать существенное влияние на объекты в своем окружении. Такие сравнительно малые объекты и космические силовые поля представляют собой серьезную угрозу для каждого, кто надумает перемещаться с места на место по нашей Солнечной системе. Самые крупные из этих объектов могут угрожать и непосредственно жизни на Земле, если им доведется столкнуться

с нашей планетой — что они весьма редко, но все же делают — на скорости, насчитывающей множество миль в секунду.

Локальные регионы космоса настолько «непустые», что Земля, выполняя свое орбитальное путешествие вокруг Солнца со скоростью 30 км/с, вынуждена ежедневно прокладывать себе дорогу сквозь тонны самого разного межпланетного вещества, бóльшая часть которого представлена частицами размером не более песчинки. Почти все это вещество сгорает в верхних слоях атмосферы Земли, врезаясь в воздух с такой силой, что его частицы просто испаряются на месте. Хрупкие земные биологические виды появились и эволюционировали под защитой этого чудесного воздушного одеяла. Предметы размером с мячик для гольфа — космический мусор покрупнее — нагреваются очень быстро, но неравномерно; они часто разлетаются на более мелкие куски, прежде чем испариться. Еще более крупные объекты, будучи опаленными снаружи, как минимум частично прокладывают-таки себе путь дальше — в направлении Земли. Казалось бы, к сегодняшнему дню, после 4,6 миллиарда оборотов вокруг Солнца, Земля должна была бы уже расправиться со всем возможным межпланетным веществом, что только могло встретиться у нее на пути за все эти годы. Не сомневайтесь: здесь налицо явный прогресс — ведь когда-то все было еще хуже. В течение первого полумиллиарда лет после образования Солнца и его планет на Землю непрерывно падало столько всякого мусора, что суммарной энергии этих столкновений хватило на то, чтобы хорошенько разогреть атмосферу нашей планеты и стерилизовать ее поверхность.

Один ломоть космического мусора оказался столь огромным, что столкновение с ним привело к образованию Луны. Неожиданная скудность железа и других элементов с высокой массой на Луне, обнаруженная благодаря анализу образцов лунного камня, доставленного астронавтами корабля «Аполлон» на Землю, показывает: Луна с большой вероятностью состоит из вещества, выплеснутого с поверхности Земли (в составе коры которой довольно мало железа) и частично зачерпнутого из ее мантии в результате косо́го столкновения нашей планеты со сбившейся с пути протопланетой размером с Марс. Не-

которая часть отброшенных на орбиту обломков, оставшихся после этой космической аварии, сгруппировалась, чтобы образовать собой наш замечательный и не очень плотный спутник. Возможно, это наиболее достойное газетных передовиц происшествие из тех, что состоялись около 4,5 миллиарда лет назад. При этом в тот период основательной бомбардировки, который пришлось пережить Земле в годы своего младенчества, через подобное испытание прошли и все остальные планеты, а также другие крупные объекты нашей Солнечной системы. Всем им был нанесен ущерб; поверхности Луны и Меркурия, из-за отсутствия воздуха не подверженные естественной эрозии, все еще сохранили большинство особенностей рельефа, образовавшихся в те времена.

Вдобавок к беспорядку, оставшемуся в космосе после этой эпохи формирования, в межпланетном пространстве также имеются камни и обломки самых разных размеров, прилетевшие с Марса, Луны и, возможно, Земли в результате смещений вещества, вызванных воздействием интенсивной внешней нагрузки. Компьютерные симуляции метеоритных дождей приводят нас к заключению, что в таких случаях некоторые из камней, расположенные на поверхности объекта у самого эпицентра взрыва, в момент падения на него метеорита взмывают вверх со скоростью, достаточной для того, чтобы преодолеть силу притяжения. Изучив метеоритные дожди марсианского происхождения, выпадающие на Землю, мы можем заключить, что ежегодно на нашу планету в виде такого дождя прибывает примерно тысяча тонн каменных осадков с Марса. Возможно, примерно столько же вещества прилетает к нам и с Луны. Получается, было вовсе не обязательно летать на Луну, чтобы заполучить несколько кусков лунного камня — ведь десятки их сами прибыли к нам на Землю; правда, это сильно сузило бы наши возможности выбрать самый симпатичный камень для исследований... да и в любом случае — во время реализации программы «Аполлон» мы об этом еще и не подозревали.

Существовала ли когда-нибудь жизнь на Марсе? Если да, то, скорее всего, это было очень давно — несколько миллиардов лет назад, когда

по поверхности планеты еще свободно текли воды; тогда ничего не подозревающие бактерии, надежно упрятанные в полостях и трещинах (особенно трещинах) выброшенных с Марса камней, вполне могли добраться до нашей Земли «зайцами». Мы уже знаем, что определенные типы бактерий могут выживать в течение долгих периодов гибернации, а также способны переносить высокие дозы радиоактивного облучения, которое было бы неизбежно на пути от Марса к Земле. Космическая доставка бактерий с одной планеты на другую не является ни безумной идеей, ни выдумкой писателей-фантастов. У этого понятия даже есть очень важно звучащее название: панспермия. Если на Марсе жизнь образовалась раньше, чем на Земле, и если простейшие формы жизни проследовали с Марса на Землю, оседлав блудные марсианские камни, и оплодотворили ее, тогда все мы можем считать себя потомками марсиан. Кто-то может даже сказать: раз такое дело, то и не стоит больше волноваться за экологию планеты каждый раз, когда кто-нибудь из астронавтов случайно чихнет прямо на поверхность Марса, распространяя вокруг микробы и бактерии. Ну а если серьезно, то если все мы по происхождению марсиане — ученые многое отдали бы за то, чтобы отследить маршрут, которым жизнь прибыла с Марса на Землю. Так что и к чихающим астронавтам надо продолжать относиться строго.

Большинство астероидов Солнечной системы проживают и работают в «основном поясе» — относительно плоском регионе, окружающем Солнце где-то между орбитами Марса и Юпитера. По традиции открыватели астероидов могут называть их как им заблагорассудится. Художники нередко изображают пояс астероидов в виде захламленного каменистого региона в плоскости Солнечной системы, однако на самом деле каждый из них расположен в миллионах миль друг от друга и на самом разном расстоянии от Солнца; так или иначе, суммарная масса объектов астероидного пояса составляет менее 5 % массы Луны, которая, в свою очередь, с трудом переваливает за 1 % от массы Земли. На первый взгляд все это ничего не значит, однако астероиды тихо и ненавязчиво представляют собой настоящую космическую угрозу

нашей планете в долгосрочной перспективе. Накапливающиеся смещения их орбит постоянно образуют опасные совокупности астероидов — возможно, из нескольких тысяч объектов, — чьи вытянутые по форме маршруты проходят достаточно близко к Солнцу для того, чтобы рано или поздно они могли пересечься с земной орбитой, и тогда возникнет возможность столкновения. Ряд простейших подсчетов демонстрирует, что бóльшая часть этих астероидов действительно упадет на Землю в ближайшие несколько сотен миллионов лет. Объекты крупнее мили от края до края обладают достаточной энергией для того, чтобы дестабилизировать экосистему Земли и отправить бóльшую часть ее обитателей на грань вымирания. Как-то не очень хорошо получается.

В то же время астероиды — далеко не единственные космические объекты, которые представляют собой потенциальную угрозу Земле. Голландский астроном Ян Оорт первым догадался, что в холодной глубине межзвездного пространства, намного дальше от Солнца, чем любая из его планет, целые группы замороженных останков более ранних стадий формирования Солнечной системы все еще вращаются вокруг нашей звезды. Это облако Оорта, состоящее из мириад комет, простирается навстречу другим звездам, в тысячи раз превышая размеры планетной системы Солнца, — в некоторых местах его внешняя граница оказывается практически на полпути к ближайшим из этих звезд.

Современник Оорта, ученый голландско-американского происхождения Джерард Койпер, высказал предположение, что часть этих ледяных объектов когда-то входила в состав того диска вещества, из которого образовались планеты, и что теперь они вращаются вокруг Солнца на расстояниях, значительно превышающих расстояние от Солнца до Нептуна, но основательно не дотягивающих до исключительно далеких комет облака Оорта. Все вместе эти объекты образуют так называемый пояс Койпера. Он представляет собой широчайшую полосу, усыпанную кометами, которая начинается чуть далее внешней границы орбиты Нептуна, включает в себя Плутон и уходит еще дальше на расстояние, в несколько раз превышающее расстояние от

Нептуна до Солнца. Самый удаленный из известных нам объектов пояса Койпера называется Седна (в честь эскимосского божества) и насчитывает в диаметре примерно две трети диаметра Плутона. Так как поблизости от них нет больших планет, которые оказывали бы на них какое-либо воздействие, большинство комет пояса Койпера будут сохранять свои орбиты на протяжении многих миллиардов лет. Как и в астероидном поясе, определенные группы объектов пояса Койпера движутся по довольно эксцентричным орбитам, перебегающим иногда дорогу другим планетам. Так, орбита Плутона, который следует воспринимать как исключительно крупную комету, а также орбиты его младших братьев и сестер, которые все вместе называются плутино, пересекаются с орбитой, совершаемой Нептуном вокруг Солнца. Другие объекты пояса Койпера, смещенные со своих привычно широких орбит, иногда ныряют в самую глубину Солнечной системы, с нескрываемым азартом пересекая орбиты других планет. В эту группу шалунов входит среди прочих и комета Галлея — самая известная из них.

Облако Оорта отвечает за содержание так называемых долгопериодических комет — тех, что совершают свой полный оборот вокруг Солнца гораздо дольше, чем в среднем живет человек. В отличие от комет пояса Койпера кометы из облака Оорта могут проливаться ледяным дождем на внутренние области Солнечной системы под любым углом и в любом направлении. Самая яркая за последние 30 лет комета Хякутакэ в 1996 году прилетела из облака Оорта и пролетела высоко над плоскостью Солнечной системы. В ближайшее время она никоим образом не вернется в наши космические окрестности.

Если бы наши глаза могли видеть магнитные поля, Юпитер казался бы нам в десять раз крупнее полной Луны. Космические корабли, предназначенные для посещений Юпитера, должны быть построены таким образом, чтобы достойно противостоять его мощному магнитному излучению. Как обнаружил в 1831 году английский химик и физик Майкл Фарадей, если провести проволокой внутри магнитного поля, вдоль всей ее длины образуется разница в напряжении тока. Именно поэтому быстро движущиеся космические исследовательские станции, сде-

ланные из металла, способны генерировать электрический ток внутри самих себя. Эти электротоки взаимодействуют с локальным магнитным полем, замедляя скорость движения станции. Этим наверняка можно объяснить таинственное замедление двух кораблей «Пионер» в момент покидания ими Солнечной системы. Запущенные в 1970-х годах корабли «Пионер-10» и «Пионер-11» ушли не так далеко в космос, как должны были согласно прогнозам наших динамических моделей их путешествий. Приняв в расчет и воздействие космической пыли, с которой они встретились на своем пути, и сбой в работе кораблей в связи с подтекающими топливными баками, концепцию магнитного взаимодействия в нашем случае со стороны Солнца все же сочли наилучшим объяснением замедления движения обоих «Пионеров».

Усовершенствованные методы обнаружения и космические зонды увеличили количество известных нам планетных лун так быстро, что подсчитывать луны во Вселенной стало практически немодным и бессмысленным: кажется, они множатся даже сейчас, пока мы с вами тут общаемся. Но что важнее всего сегодня, так это понять: есть ли среди них такие луны, которые было бы действительно интересно посетить и изучить. В чем-то луны Солнечной системы даже интереснее планет, вокруг которых они вращаются. Две луны Марса, Фобос и Деймос, встречаются, к примеру (правда, под другими именами), в классическом романе Джонатана Свифта «Путешествия Гулливера», написанном в 1726 году. Правда, эти две маленькие луны были впервые обнаружены более века спустя; если только он не обладал телепатическими способностями, Свифт, вероятно, решил взять некое промежуточное число лун между одной уже известной земной и четырьмя известными тогда лунами Юпитера.

Диаметр нашей Луны составляет примерно $1/400$ диаметра Солнца, но и расстояние до нее от Земли равно примерно $1/400$ расстояния от нас до Солнца; потому-то Луна и Солнце и выглядят в небе одинаковыми по размеру — такого совпадения у других планет и их лун в нашей Солнечной системе больше не встречается, а ведь в результате его земляне могут, помимо прочего, наслаждаться исключительно зрелищными

полными солнечными затмениями. Земля также синхронизировала период вращения Луны, приравняв его к периоду одного полного оборота Луны вокруг самой Земли. Это произошло вследствие гравитационного воздействия Земли на Луну: оно с большей силой воздействует на более плотные части недр Луны, заставляя ее все время оборачиваться ими в сторону Земли и нейтрализуя ее собственное вращение. Когда бы и где бы это ни происходило — а с четырьмя крупными лунами Юпитера дела обстоят именно таким образом, — синхронизированная луна всегда смотрит на свою планету-хозяйку одной и той же стороной.

Астрономы были потрясены системой лун Юпитера, когда им впервые довелось ее хорошенько рассмотреть. Ио, крупная луна, расположенная ближе всего к Юпитеру, подверглась приливной синхронизации и структурному стрессу вследствие своих гравитационных взаимодействий с Юпитером и другими крупными лунами; эти взаимодействия накачали Ио достаточным количеством энергии (по размеру она примерно соответствует нашей Луне), чтобы ее каменистое нутро частично расплавилось. Из-за этого она является сегодня самым вулканически активным объектом Солнечной системы. Вторая по размеру крупная луна Юпитера — Европа — содержит в своем составе достаточно H_2O , чтобы ее внутреннее тепло, рождающееся вследствие тех же взаимодействий, что оказывают влияние и на Ио, растопило ее приповерхностный слой льда: из-за этого ее поверхность представляет собой плотную ледяную корку, под которой плещется океан.

Масштабные изображения поверхности Миранды, одной из лун Урана, демонстрируют рваные и несимметричные узоры, словно эту несчастную луну в свое время разорвали на части, а потом наспех склеили обратно. Происхождение этих экзотических свойств луны покрыто тайной, хотя в целом оно может быть результатом чего-то довольно простого — например, неравномерного вздымания ледяных пластин.

Одинокая луна Плутона — Харон — настолько большая по сравнению с ним и настолько близко к нему расположена, что Плутон и Харон синхронизировали свои приливные силы друг с другом: это озна-

чает, что у обоих объектов период вращения равен периоду обращения вокруг их общего центра тяжести. Так уж сложилось, что астрономы дают названия лунам планет, выбирая их из числа персонажей древнегреческой мифологии, сыгравших важную роль в жизни того божества, в честь которого названа сама планета (хотя, если быть точными, планеты получают названия по имени древнеримского божества, аналогичного древнегреческому, — вспомним тех же Юпитера и Зевса). Боги классической мифологии вели сложную и многогранную общественную жизнь, поэтому персонажей для их лун всегда оказывается более чем достаточно: выбирай любого!

Сэр Уильям Гершель был первым человеком, обнаружившим планету за пределами тех, что можно разглядеть невооруженным глазом, и он был преисполнен готовности назвать ее в честь короля, который поддерживал его научную деятельность. Если бы сэру Уильяму повезло, список наших планет тогда выглядел бы так: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн и... Георг. К счастью, светлые умы смогли переубедить его, и еще через несколько лет новая планета получила свое классическое имя Уран. Однако оригинальное предложение Гершеля называть луны этой планеты в честь персонажей пьес Шекспира и поэмы Александра Поупа «Похищение локона» было принято — и этой традиции придерживаются и сегодня. Среди 17 лун Урана у нас уже есть Ариэль, Корделия, Дездемона, Джульетта, Офелия, Порция, Пак и Умбриэль, а еще две новые луны — Калибан и Сикоракса — были открыты относительно недавно — в 1997 году.

Солнце теряет материал со своей поверхности со скоростью около 200 миллионов тонн в секунду (что, так уж вышло, практически соответствует скорости, с которой вода пересекает Амазонский бассейн). Он покидает Солнце в форме солнечных ветров, которые состоят из высокоэнергичных заряженных частиц. Путешествуя со скоростью до 1000 миль в секунду*, эти частицы текут сквозь межпланетное пространство, где многие из них постепенно отклоняются от курса под

* 1000 миль/с = 1609 км/с.

воздействием магнитных полей планет. Соответственно, такие частицы входят в штопор и устремляются к северному и южному магнитным полюсам планеты, сталкиваясь с молекулами атмосферного газа и вызывая красочное авроральное свечение (или, попросту говоря, полярное сияние). Космический телескоп Хаббла обнаружил такое свечение в районе полюсов Сатурна и Юпитера. На Земле северное и южное полярное сияние служат нам периодическим напоминанием о том, как это мило — иметь над головой защищающую тебя от самых разных бед атмосферу.

Технически говоря, атмосфера Земли простирается над ее поверхностью гораздо дальше, чем мы привыкли считать. Спутники на «низких околоземных орбитах» обычно передвигаются на высоте от 100 до 400 миль*, завершая полноценный оборот вокруг Земли за 90 минут. Хотя дышать на такой высоте невозможно, какое-то количество молекул атмосферы там все же имеется — и его достаточно для того, чтобы медленно поглощать орбитальную энергию ничего не подозревающих спутников. Чтобы противостоять этой утечке энергии, спутники на низких орбитах задействуют системы периодического ускорения; в противном случае они просто упадут обратно на Землю и сгорят в ее атмосфере. Самый разумный способ определить «край» атмосферы — задаться вопросом о том, на каком расстоянии от Земли плотность атмосферных газов падает до уровня плотности молекул газа в разреженном межпланетном пространстве. Исходя из данного принципа получается, что атмосфера Земли простирается ввысь на многие тысячи миль. На гораздо большей высоте — примерно на уровне 23 000 миль** над поверхностью Земли (это около одной десятой расстояния от нас до Луны) — вращаются телекоммуникационные спутники, обеспечивающие нас новостями и красивыми картинками «видов сверху». На этой особенной высоте спутнику не только нет дела до атмосферы Земли, но и оказывается, что за счет уменьшившегося земного притя-

* 100 миль — 160,9 км; 400 миль = 643,6 км.

** 23 000 миль = 37 015 км.

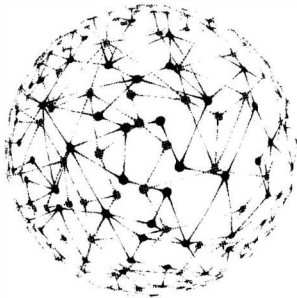
жения его орбитальная скорость падает до уровня, когда ему нужно целых 24 часа для того, чтобы завершить каждое вращение вокруг нашей планеты. Описывая орбиты, которые в точности соответствуют скорости вращения Земли, эти спутники, по сути, висают в одной и той же точке над экватором, что делает их идеальными посредниками для передачи сигналов от одного к другому.

Закон всемирного тяготения Ньютона утверждает, что, несмотря на ослабевание силы притяжения конкретной планеты по мере удаления от нее, нет такого расстояния, на котором сила гравитационного воздействия упала бы до нуля и что объект с огромной массой способен оказывать гравитационное воздействие даже на очень больших расстояниях. Планета Юпитер со своим мощным гравитационным полем обезвреживает множество комет, которые в противном случае бушевали бы во внутренних регионах Солнечной системы, нанося ей материальный ущерб. Таким образом, Юпитер выступает в качестве гравитационного щита для нашей Земли, обеспечивая ей (и нам!) долгие периоды относительного мира и спокойствия (от 50 до 100 миллионов лет). Без защиты Юпитера сложным формам жизни вряд ли удалось бы заделаться такими уж сложными, ведь они постоянно рисковали бы быть уничтоженными каким-то разрушительным воздействием прямо из космоса.

Мы эксплуатируем гравитационные поля планет практически при каждом запуске в космос исследовательского зонда. Например, исследовательская станция «Кассини», отправленная в космос для встречи с Сатурном ближе к концу 2004 года, была запущена с Земли 15 октября 1997 года и с тех пор испытала на себе вспомогательное влияние гравитации Венеры дважды, Земли — один раз (на обратном пути) и Юпитера (тоже один раз). Словно бильярдный удар с попаданием сразу в несколько лунок, построение траекторий объектов от одной планеты до другой с использованием таких гравитационных рогонок распространено довольно сильно. В противном случае нашим крошечным и храбрым космическим зондам не хватало бы скорости и энергии для того, чтобы добраться до своего пункта назначения.

Один из нас теперь в ответе за кусочек межпланетного вещества нашей Солнечной системы. В ноябре 2000 года астероид 1994КА из основного пояса, обнаруженный Дэвидом Леви и Кэролайн Шумейкер, получил название 13123 Тайсон. Это, конечно, довольно приятно, но особых причин зазнаваться все же нет; как-никак, огромное количество астероидов зовутся Джоди, Хэрриет или Томас. Есть и такие астероиды, которые называются Мерлин, Джеймс Бонд и даже Санта. Переваливая уже за 20 000 штук, список астероидов с устоявшимися орбитами (за что они и получают свои номера и имена) скоро основательно затруднит нам процесс их именованья. Дойдет до такого когда-нибудь или нет, неясно, но почему-то особенно приятно знать, что чей-то персональный объект космического хлама не одинок там, наверху, — ведь он изящно захламляет пространство между планетами в компании огромного количества других подобных объектов, получивших свои названия в честь реальных и вымышленных персонажей.

Насколько известно на данный момент, 13123 Тайсон направляется совсем не в нашу сторону, так что нельзя винить его в том, что он был началом или станет концом всей жизни на Земле.



Глава 13

СЛОЖЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ ИЗ МИРОВ. ПЛАНЕТЫ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Когда себя являет Бог в мирах,
Являет ли нам Бога здешний прах?
Кто видит сквозь невидимый покров
Сложение Вселенной из миров,
Другие солнца, коим счету нет,
В круговращении других планет,
Других созданий и других эпох,
Тот скажет нам, как сотворил нас Бог.

*Александр Поуп. Опыт о человеке.
(1733)**

Почти пять веков назад Николай Коперник возродил гипотезу, впервые предложенную еще древнегреческим астрономом Аристархом. Отнюдь не являясь центром Вселенной, заявил тогда Коперник, Земля — лишь одна из планет, что вращаются вокруг Солнца.

Правда, многим людям еще только предстоит признать это, ибо они до сих пор свято верят в то, что именно небеса вращаются вокруг нашей

* Поуп А. Поэмы / Пер. В. Микушевича. — М.: Художественная литература, 1988.

неподвижной Земли. Однако астрономы уже давно не скрывают ни от кого убедительных доказательств тому, что Коперник был тогда совершенно прав насчет нашего родного космического дома. Заключение о том, что Земля лишь одна из планет Солнца, позволяет немедленно предположить, что другие планеты очень похожи на нее и что на них вполне могут жить обитатели, обремененные, как и мы с вами, своими планами и мечтами, работой, играми и фантазиями.

На протяжении многих веков астрономам, которые пользовались телескопами для наблюдения за сотнями тысяч отдельных звезд, не хватало навыков и возможностей, чтобы определить, есть ли у этих звезд свои собственные планеты. Их наблюдения позволяли утверждать, что наше Солнце вполне себе среднестатистическая звезда и что ее братья и сестры, почти идентичные ей, в огромном множестве рассыпаны по галактике Млечный Путь. Если у Солнца есть свое семейство планет, то почему бы ему не быть и у других звезд? Получается, что такие планеты тоже вполне могли бы создавать условия для жизни самых разных существ. Джордано Бруно, к сожалению, выразил свою солидарность с этой мыслью в оскорбительной манере, подрывающей авторитет церкви, за что и угодил в 1600 году на костер. Сегодня любой турист, одолев толпы людей и столики уличных кафе на римской площади Кампо ди Фиори, может оказаться у подножия памятника Бруно и, возможно, поразмышлять немного о том, как сила его мыслей и идей (пусть и не его личная сила) одержала блестящий триумф над теми силами, что пытались подавить его.

Как наглядно демонстрирует судьба Джордано Бруно, сама идея жизни в других мирах — одна из самых сильных мыслей, на которую способен человеческий разум. Если бы это было не так, Бруно дожил бы до более зрелых лет, а NASA не на что было бы просить финансирование. Все эти разговоры о жизни в других мирах на протяжении всей истории — а NASA увлекается ими и сегодня — вертелись вокруг планет Солнечной системы. Однако в поисках внеземной жизни мы столкнулись с определенной проблемой: ни один из миров нашей Солнечной системы, за исключением Земли, не подходит для жизни.

Хотя этот вывод совершенно не отдает должное самому факту, что жизнь в принципе может зародиться и поддерживать себя миллионами возможных способов, все же доказательства налицо: наши первоначальные исследования Марса и Венеры, а также Юпитера и его наиболее крупных лун не смогли обнаружить на них сколько-нибудь убедительных признаков жизни. Скорее, наоборот: мы обнаружили множество аргументов в защиту утверждений о том, что на этих планетах и лунах условия категорически неблагоприятны для жизни в привычном для нас виде. Нам предстоит продолжать свои исследования еще очень долго, и, к счастью (в том числе для тех, кто любит обо всем этом поразмышлять), мы не прекращаем их ни на секунду — особенно в погоне за признаками жизни на Марсе. Тем не менее вероятность того, что финальный вердикт по наличию внеземной жизни в пределах Солнечной системы будет отрицательным, настолько велика, что многие умы уже переключились на поиски этой жизни за ее пределами, избрав своей целью те многочисленные миры, что вращаются не рядом с нашим Солнцем, но вокруг других звезд.

До 1995 года гипотезы о планетах на орбитах других звезд выдвигались практически вне контекста каких-либо признанных фактов. За исключением ряда объектов размером примерно с Землю, вращающихся вокруг останков взорвавшихся звезд, которые почти наверняка образовались только после взрыва сверхновой и едва ли могут считаться планетами, астрофизикам ни разу не удалось наткнуться на экзосолнечную планету, или просто экзопланету, — мир, вращающийся вокруг какой-то другой звезды. В конце 1995 года было сделано заявление о первом открытии подобного рода, несколько месяцев спустя было обнаружено еще четыре экзопланеты. И тогда словно прорвало плотину — обнаружение новых миров было практически поставлено на конвейер. Сегодня нам известно о более чем сотне экзопланет, вращающихся вокруг других звезд. В ближайшие годы это число непременно будет только расти.

Прежде чем описать эти обнаруженные миры-новинки и проанализировать их роль в наших поисках внеземной жизни, нам придется

столкнуться с фактом, поверить в который на первый взгляд трудно. Астрофизики утверждают, что не только знают достоверно, что эти планеты существуют, но и способы оценить их массу, удаленность от центральной звезды, период обращения и даже форму их орбит... Но никто никогда не видел и не сфотографировал ни одной из этих экзопланет.

Как такое возможно — знать так много о планете, которую никогда не видел? Предоставим ответить тем, кто занимается изучением звездного света. Разложив свет на все цвета его спектра (спектральные линии) и сравнивая их со спектрами тысяч звезд, профессионалы своего дела могут отличать друг от друга разные типы звезд исключительно по интенсивности отдельных цветов, составляющих собой звездный спектр. Давным-давно этим астрофизикам приходилось фотографировать спектры звезд, но сегодня у них есть в разы более чувствительные приборы, которые регистрируют на цифровой носитель данные о том, сколько звездного света каждого конкретного цвета достигает Земли. Хотя звезды находятся от нас в миллиардах миль, их фундаментальная природа уже давно для нас словно открытая книга. Теперь астрофизики могут с легкостью определять, просто измеряя спектр звездного света, какие из этих звезд больше всего напоминают Солнце, какие более горячие и яркие, а какие более прохладные и заметно бледнее.

Но они могут не только это. Ознакомившись как следует с распределением цветов в спектре разных типов звезд, астрофизики теперь могут быстро идентифицировать знакомые закономерности в интересующем их спектре конкретной звезды: как правило, в спектре мало или совсем нет определенных оттенков. Характерное соцветие спектра узнается часто, но ученые обнаруживают, что все составляющие его цвета были немного смещены в сторону красного или фиолетового сегмента спектра и потому все привычные ориентиры приобрели более красный или фиолетовый оттенок, чем считается нормальным.

Ученые характеризуют эти цвета по длине волн, которая отражает расстояние между двумя вершинами («гребнями») вибрирующей световой волны. Так как они соответствуют цветам, которые могут воспринимать наши глаза и мозг, назвать конкретную длину волны — это

то же самое, что и назвать определенный цвет, только еще более точно. Когда астрофизики обнаруживают знакомую интенсивность света, разложенную на тысячи разных оттенков, но замечают, что все волны на этом участке (к примеру) на 1 % длиннее, чем обычно, они заключают, что спектр звездного света изменился вследствие эффекта Доплера, который описывает, что именно происходит, когда мы наблюдаем приближающийся к нам или удаляющийся от нас объект. Если, например, объект движется к нам навстречу (или мы сами движемся ему навстречу), мы получим более *короткие* волны, чем если бы аналогичный объект не двигался относительно нас в пространстве. Если объект от нас удаляется — или мы удаляемся от него, — волны его излучения будут *длиннее*, чем волны излучения такого же статичного относительно нас объекта. Разница в длине волны в обоих случаях зависит от относительной скорости отдаления или сближения источника света и стороннего наблюдателя. Для скоростей, существенно недотягивающих до скорости света (186 000 миль в секунду), фракционное изменение длин всех световых волн, которое называется доплеровским смещением, равняется отношению скорости приближения или удаления к скорости света.

В течение 1990-х годов две команды астрономов, одна в США и другая в Швейцарии, посвятили себя тому, чтобы научиться еще более точно измерять воздействие эффекта Доплера на звездный свет. Они занялись этим не только потому, что ученые в принципе любят производить как можно более точные измерения, но и потому, что у них была весьма конкретная цель: обнаружить *планеты* с помощью изучения света звезд.

Зачем же идти столь откровенно в обход на пути к обнаружению экзопланет? На самом деле это единственный эффективный способ их обнаружить. Судя по Солнечной системе, расстояния от звезд до вращающихся вокруг них планет можно назвать совершенно незначительными по сравнению с тем, как далеко друг от друга расположены сами звезды. Ближайшие звезды-соседки Солнца находятся примерно в полмиллиона раз дальше от нас, чем самая внутренняя планета Солнечной системы Меркурий — от Солнца. Даже расстояние между Плутоном

и Солнцем составляет менее одной пятитысячной доли расстояния от нас до Альфы Центавра, ближайшей к нам звездной системы. Эти астрономически ничтожные расстояния между звездами и их планетами в сочетании с бледностью света, который исходит от планет (будучи, соответственно, отраженным светом от ее звезды), делают почти невозможным увидеть воочию одну из планет за пределами Солнечной системы. Представьте себе, допустим, одного астрофизика на планете, вращающейся вокруг одной из звезд Альфы Центавра. Этот астрофизик направляет свой телескоп в сторону Солнца и пытается разглядеть в него самую крупную планету — Юпитер. Расстояние от Солнца до Юпитера составит всего лишь одну пятидесятитысячную долю расстояния от астрофизика до Солнца, при этом звезда будет сиять в миллиард раз ярче, чем ее планета. Астрофизики любят проводить аналогию с тем, как трудно разглядеть светлячка в свете мощного фонарика. Когда-нибудь, возможно, нам это и удастся, но пока крестовый поход за экзопланетами сводится лишь к изучению спектра звездного излучения; нам пока не хватает технических возможностей делать что-то еще.

Эффект Доплера предлагает альтернативный способ, доступный нам уже сегодня. Изучив звезду подробно, мы можем тщательно замерить любые изменения в доплеровском смещении излучения этой звезды. Они могут появляться вследствие изменения скорости, с которой звезда к нам приближается или от нас удаляется. Если изменения оказываются циклическими, то есть скорость с определенной регулярностью демонстрирует максимальное значение, затем минимальное, затем снова максимальное и т. д., тогда мы можем совершенно справедливо утверждать, что эта звезда перемещается по определенной орбите, которая заставляет ее водить хороводы в космосе вокруг одной конкретной точки.

Что может заставить звезду исполнять такой танец? Только гравитационное воздействие других объектов. Нет никаких сомнений в том, что планеты по определению обладают массами, существенно меньшими, чем звезды, поэтому их гравитационное влияние весьма скромно. Когда они тянут к себе близлежащую звезду, чья масса в разы превышает их собственную, они навязывают ей лишь незначительные изме-

нения в скорости движения. Юпитер, к примеру, меняет скорость Солнца примерно на 40 футов* в секунду, что, конечно, побольше скорости самого первоклассного бегуна на короткие расстояния. В то время как Юпитер совершает свое обращение вокруг Солнца на протяжении 12 лет, сторонний наблюдатель, расположившийся где-то вдоль плоскости его орбиты, может измерить величину доплеровского смещения в излучении Солнца. Полученные им результаты покажут, что в определенный момент времени скорость Солнца относительно самого наблюдателя окажется на 40 футов в секунду выше своего среднего значения. Шесть лет спустя тот же наблюдатель обнаружит, что скорость Солнца упала на 40 футов ниже средней скорости его движения. В течение этого шестилетнего промежутка относительная скорость будет плавно проходить переменный путь от одного экстремального значения к другому. Пронаблюдав за этим однообразным циклом несколько десятков лет, наблюдатель будет вправе заявить, что у Солнца есть планета, описывающая вокруг него один оборот за 12 лет и являющаяся причиной изменений в скорости самой звезды, которые, в свою очередь, рождаются в результате этого движения. Размер орбиты Солнца, в сравнении с орбитой Юпитера, равен обратному отношению масс двух объектов. Так как масса Солнца в тысячу раз больше массы Юпитера, орбита Юпитера вокруг их общего центра тяжести оказывается в тысячу раз *больше* орбиты Солнца. Это лишнее доказательство тому, что сдвинуть с места Солнце в тысячу раз труднее, чем Юпитер.

Конечно, у Солнца есть не одна, а несколько планет, каждая из которых одновременно тянет его к себе с помощью своей гравитации. Суммарная динамика движений Солнца, таким образом, представляет собой наложение подобных орбитальных танцев, у каждого из которых разный период повторения. Так как Юпитер — самая крупная и массивная планета Солнца — оказывает на него наибольшее гравитационное воздействие, следы танцевальных уроков Юпитера преобладают в сложном комплексе движений и колебаний Солнца в космосе.

* 40 футов = 1219,20 см.

Когда астрофизики решили заняться поиском экзопланет, наблюдая за колебаниями звезд, они поняли: чтобы найти сравнимую с Юпитером планету, расположенную на расстоянии от своей звезды, сопоставимом с расстоянием от Юпитера до Солнца, им понадобится измерить доплеровские смещения с точностью, достаточной для того, чтобы затем отследить изменения в относительной скорости изучаемого объекта, составляющие примерно 40 футов в секунду. В земных условиях это весьма немалая скорость (около 27 миль в час^{*}), но с точки зрения астрономии она не составляет даже одной миллионной доли скорости света, а также равняется примерно одной тысячной доле той скорости, с которой звезды, как правило, движутся в нашем направлении или от нас. Таким образом, чтобы обнаружить вызванное изменением скорости источника излучения доплеровское смещение, чей размер составляет не более одной миллионной доли скорости света, астрофизикам нужно измерять разницу в длинах волн, то есть в палитре звездного света, составляющую одну часть на миллион.

Такая точность дала научному миру не просто возможность обнаруживать планеты. Так как подобная схема обнаружения основана на анализе и выявлении циклических повторений в изменении скорости движения звезды, продолжительность каждого из этих циклов напрямую отражает период обращения планеты, которая является причиной этих изменений. Если звезда танцует согласно определенным образом повторяющемуся циклу, значит, планета танцует с идентичным периодом кругового движения, только на гораздо более широкой орбите. Этот период обращения, в свою очередь, позволяет оценить расстояние от этой планеты до ее звезды. Исаак Ньютон давно доказал, что объект, вращающийся вокруг звезды, тем быстрее будет завершать одно полное вокруг нее обращение, чем ближе он к этой звезде расположен и тем медленнее, чем он дальше. Каждый период обращения соответствует конкретному значению величины среднего расстояния между звездой и объектом на ее орбите. Так, в Солнечной системе однолетний период обращения подразумевает, что такой объект находится на том же

* 27 миль/ч = 43,45 км/ч.

расстоянии от Солнца, что и Земля, а период обращения 12 лет означает, что этот объект находится на расстоянии в 5,2 раза больше расстояния от Солнца до Земли — как Юпитер, соответственно. Поэтому исследователи смогли объявить, что не только обнаружили планету как таковую, но и вычислили ее период обращения и то среднее расстояние, что отделяет ее от своей звезды.

Но о планете можно узнать еще больше. Двигаясь на определенном расстоянии от своей звезды, планета, точнее, ее гравитация притягивает к себе звезду с силой, которая зависит от ее массы. Более массивные планеты оказывают большее воздействие, из-за чего и звезда «танцует» быстрее. Вычислив расстояние от звезды до планеты, команда ученых смогла определить и *массу* такой планеты, добавив ее в список характеристик, полученных ранее методом тщательных наблюдений и вычислений.

Надо признать, что вычисление массы планеты с помощью наблюдений за перемещениями ее звезды в определенной мере слагает с нас ответственность. Астрономы не могут знать наверняка, изучают ли они такую танцующую звезду с луча зрения, полностью совпадающего с плоскостью, в которой лежит орбита планеты, или с луча зрения выше плоскости орбиты (в таком случае им нужно измерять нулевую скорость звезды), или с луча зрения, идущего и не вдоль плоскости, и не перпендикулярно ей (наверняка это почти всегда именно так). Плоскость, где лежит орбита интересующей нас планеты, которую та описывает вокруг звезды, накладывается на плоскость движения звезды в ответ на гравитационное воздействие планеты. Получается, что мы наблюдаем полные орбитальные скорости только в том случае, если наш луч зрения при взгляде на звезду полностью совпадает с плоскостью орбиты этой планеты вокруг своей звезды. Попробуем вообразить аналогичную ситуацию в более понятных декорациях: вы на бейсбольном матче и можете измерить скорость мяча, брошенного питчером, в тот момент, когда он летит прямо на вас или от вас, но не скорость, с которой такой мяч пересекает ваше поле зрения. Если вы приехали на поиски талантливых спортсменов, лучше всего садитесь сразу за

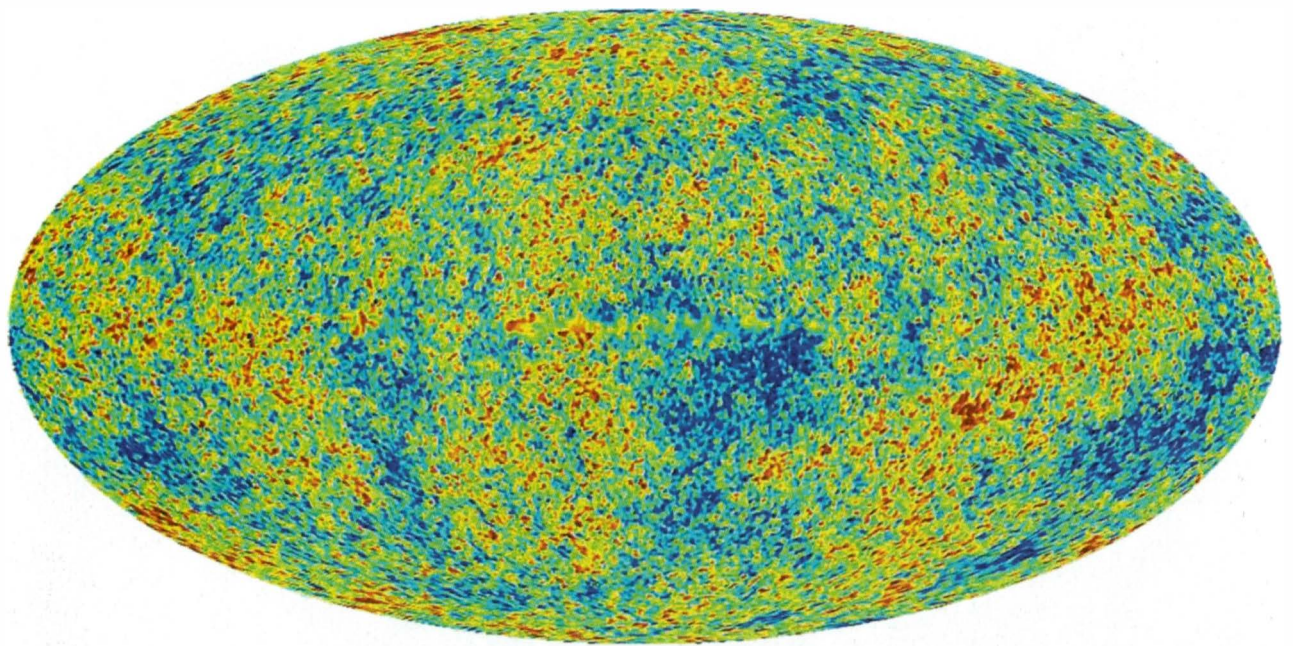
основной базой, где стоит игрок с битой — на одной линии с траекторией полета бейсбольного мяча. Но если вы будете смотреть игру с первой или третьей базовой линии, тогда брошенный питчером мяч по большей части не полетит ни на вас, ни от вас и измеренная вами скорость движения мяча по вашему лучу зрения будет практически равна нулю.

Из-за того что эффект Доплера измеряет только ту скорость, с которой звезда приближается к нам или удаляется от нас, но не ту скорость, с которой звезда пересекает наш луч зрения, как правило, мы не можем определить, насколько наш луч зрения в сторону звезды совпадает с плоскостью звездной орбиты. Это говорит о том, что те значения, которые были получены нами с помощью этой методики для масс экзопланет, являются *минимальными*: они окажутся в полном соответствии с реальной массой этих планет только в том случае, если мы действительно все это время смотрели на их звезды вдоль плоскости их орбит. В среднем фактическая масса экзопланеты в два раза больше полученной путем наблюдений за ее звездой минимальной величины, но нам неоткуда знать, какие из уже обнаруженных нами экзопланет окажутся по факту крупнее более чем в два раза, а какие — менее.

Астрофизики способны не только определять орбитальный период и размер орбиты планеты, а также ее минимальную массу. Астрофизики, изучающие «танцы» звезд с помощью эффекта Доплера, достигли еще одного успеха: они умеют определять форму орбиты планеты. Для некоторых орбит, как в случае с Венерой и Нептуном относительно Солнца, характерна почти совершенная круглая форма. Но другие орбиты — Меркурия, Марса и Плутона — существенно вытянуты по форме, из-за чего в какие-то периоды времени такие планеты проходят гораздо ближе к Солнцу, чем в остальное время. Так как планета всегда движется быстрее, когда находится ближе к своей звезде, скорость самой звезды в такие периоды более тесного контакта тоже изменяется заметнее. Если астрономы наблюдают за звездой, скорость которой меняется с постоянной интенсивностью на протяжении всего ее цикла вращения, они делают вывод, что эти изменения скорости вызывает планета, вращающаяся вокруг этой звезды по округлой орбите.



Изображение Ultra Deep Field (область глубокого обзора), полученное космическим телескопом Хаббла в 2004 году, позволило увидеть самые тусклые космические объекты из когда-либо обнаруженных. Почти каждый объект на фотографии, каким бы маленьким он ни был, — это галактика, расположенная на расстоянии от 3 до 10 миллиардов световых лет от нас. Поскольку излучаемый ими свет шел до телескопа несколько миллиардов лет, мы с вами видим их не такими, какие они в настоящее время, а такими, какими они были все эти миллиарды лет назад — от первых стадий формирования до более поздних: мы можем наблюдать сам процесс эволюции галактик.



Эта пестрая карта распределения реликтового излучения была создана спутником WMAP (от англ. *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* – «микроволновый анизотропный зонд Уилкинсона»), выведенным на орбиту усилиями NASA. Красный цвет соответствует более теплым участкам неба, а голубой – более холодным. Эти расхождения в температуре излучения с его средним значением выдают неравномерность распределения вещества во Вселенной в первые годы ее существования. Галактические суперкластеры обязаны своим возникновением как раз таким более плотным регионам космоса – регионам красного цвета на этой тепловой фотографии новорожденной Вселенной.

Квазар, значащийся в каталоге под названием PKS 1127-145, расположен примерно в 10 миллиардах световых лет от Млечного Пути. На левом изображении видимого света, сделанном космическим телескопом Хаббла, квазар – это яркий объект в правом нижнем углу. Собственно, сам квазар занимает только центральную область этого объекта; его невероятная выработка энергии – результат поглощения раскаленного вещества гигантской черной дырой. На правом изображении тот же самый участок неба представлен рентгеновским снимком, сделанным в космической обсерватории «Чандра». «Хвост» от квазара – это струя вещества, испускающего рентгеновское излучение, длиной миллион с лишним световых лет.



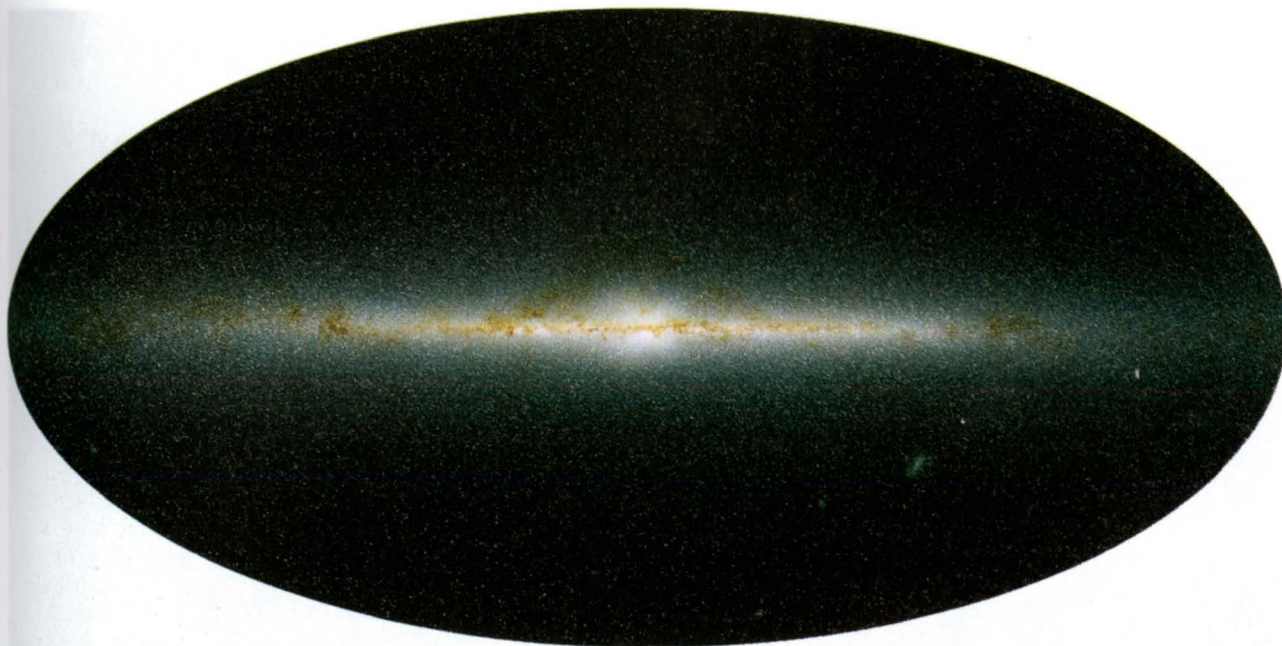
Этот огромный галактический кластер, который астрономы назвали A2218, лежит примерно в 3 миллиардах световых лет от Млечного Пути. За галактиками, составляющими этот кластер, расположены еще более дальние галактики, чей свет преломлен и искажен преимущественно гравитационным воздействием темной материи и тех крупных галактик, что входят в состав A2218. В результате этого преломления получаются продолговатые светящиеся дуги, которые также можно видеть на этом снимке, сделанном космическим телескопом Хаббла.





В марте 1994 года астрономы открыли сверхновую звезду 1994D в составе спиральной галактики NGC 4526, одной из тысяч галактик скопления Девы, расположенного примерно в 60 миллионах световых лет от нас. На этом изображении, полученном космическим телескопом Хаббла, сверхновая звезда 1994D – яркий объект в его нижней левой части, чуть ниже целого пояса поглощающей свет пыли в центральной плоскости галактики. 1994D не только обогащает свое окружение разнообразными химическими элементами, но и является наглядным примером сверхновой звездой типа Ia – «свечи», при помощи которой ученые изучают ускорение расширения Вселенной.

При взгляде на эту спиральную галактику NGC 4631, расположенную примерно в 25 миллионах световых лет от нас, в глаза бросается край галактического диска, из-за чего нам не удастся рассмотреть ее спиральную структуру. Содержащаяся в диске космическая пыль скрывает большую часть излучения входящих в состав галактики звезд. Красноватый участок слева от ее центра – это «ясли», кузница новорожденных звезд. Чуть выше галактики NGC 4631 расположена эллиптическая галактика поменьше, вращающаяся вместе со своей гигантской спиральной соседкой.



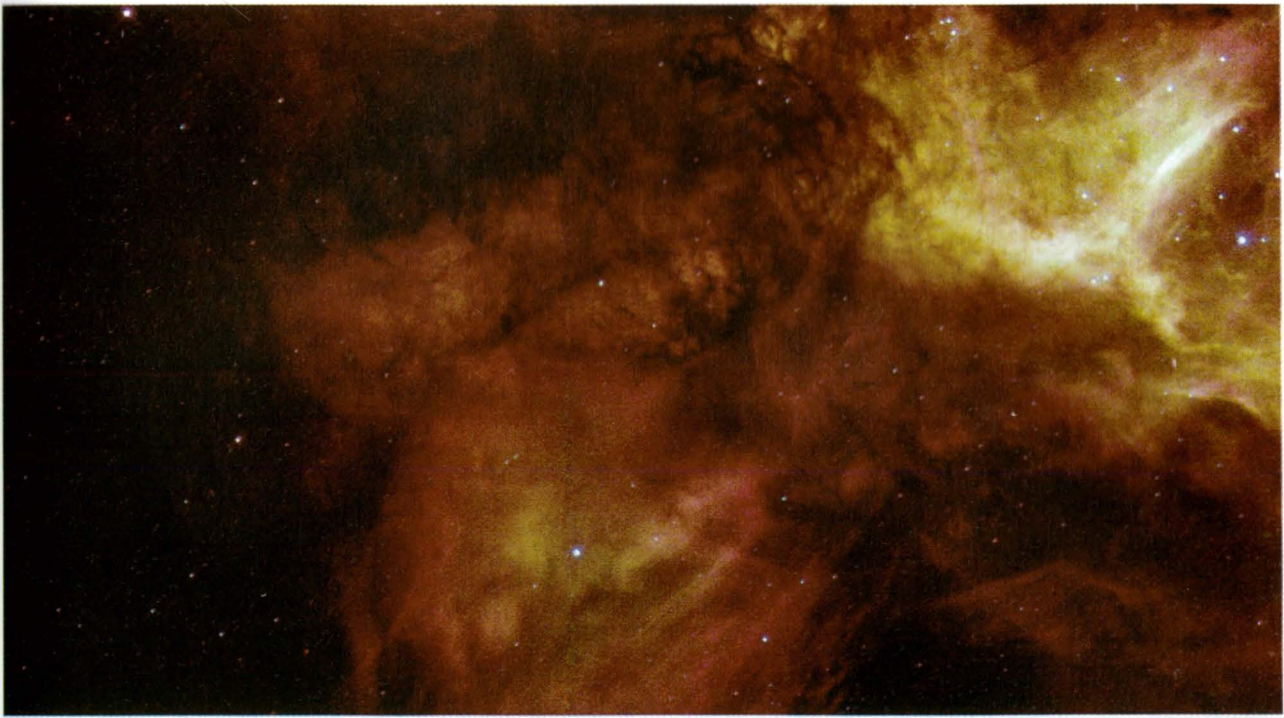
Исследование инфракрасного спектра небесного излучения показывает, что мы живем внутри уплощенного диска спиральной галактики, который простирается на этом снимке по правую и левую руку от центрального региона Млечного Пути. Частицы пыли поглощают определенную дозу излучения этой области, как это происходит и в других, более далеких спиральных галактиках. Ниже плоскости нашей галактики видны две неправильные галактики-спутника Млечного Пути: Большое и Малое Магеллановы Облака.



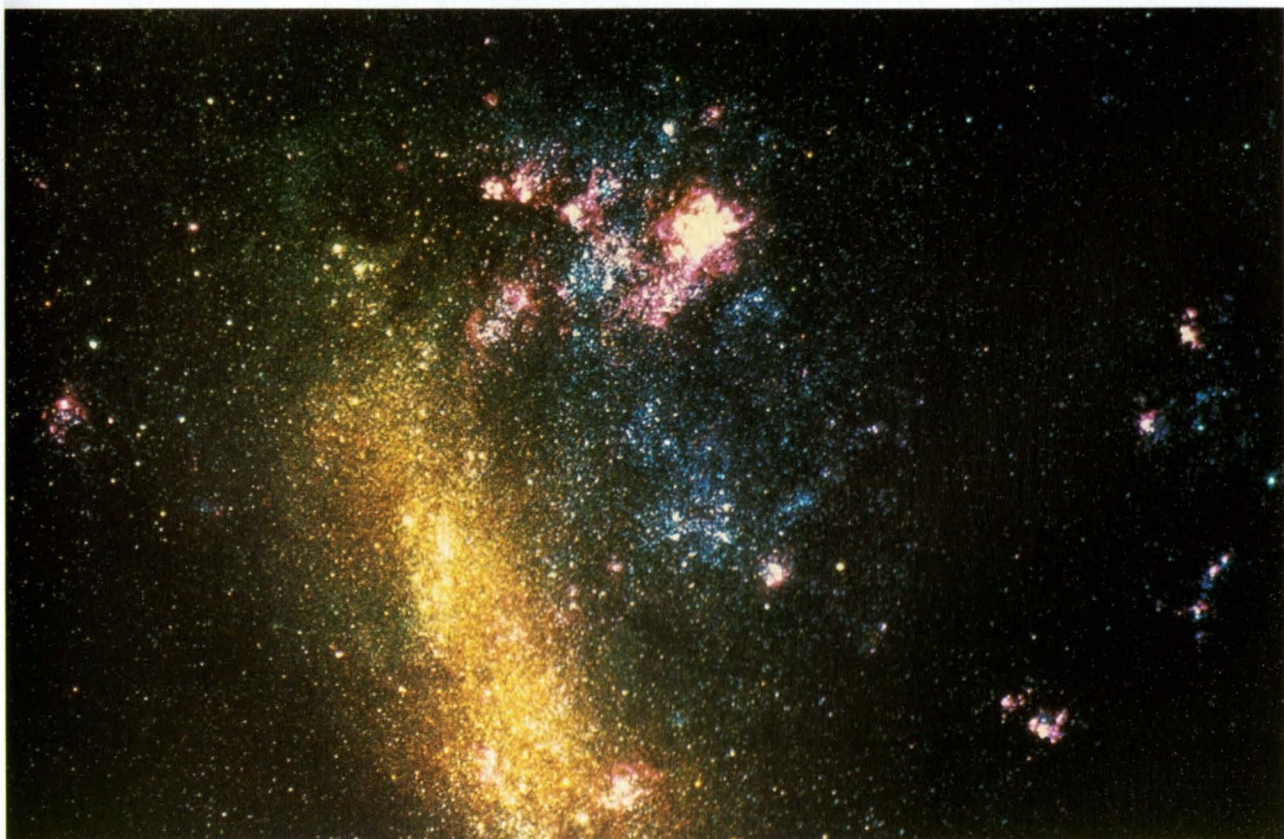


В центральном регионе галактического скопления Девы, расположенного всего-то в 60 миллионах световых лет от Млечного Пути, обнаружены десятки галактик самых разных типов, включая гигантские эллиптические в верхних левой и правой частях изображения. Спиральные галактики также представлены на этом снимке, сделанном в обсерватории Мауна-Кеа с помощью телескопа CFHT (англ. Canada-France-Hawaii Telescope – телескоп «Канада-Франция-Гавайи»). Вследствие относительной близости нашей галактики Млечный Путь к скоплению Девы огромная сила гравитации последнего оказывает существенное влияние на движение Млечного Пути в космическом пространстве. Более того, Млечный Путь и скопление Девы вместе входят в еще более крупную единую систему галактик – в сверхскопление (или суперкластер) Девы.

У галактики Млечный Путь есть две крупные неправильные галактики-спутника: они называются Большим и Малым Магеллановыми Облаками. На этом снимке изображено Большое Магелланово Облако – широкая «полоса» звезд слева; правее расположены многочисленные дополнительные звезды и регионы звездообразования. Яркая туманность Тарантул, получившая такое название благодаря своей форме, находится в верхней центральной части снимка: это самый крупный регион звездообразования в этой галактике.



Этот регион звездообразования называется туманностью Бабочка: он действительно внешне напоминает бабочку и входит в состав Большого Магелланова Облака – самой крупной галактики-спутника Млечного Пути. Молодые звезды освещают туманность изнутри и возбуждают атомы водорода, вследствие чего излучение приобретает характерный красноватый оттенок, что хорошо отражено на этом снимке, сделанном космическим телескопом Хаббла.

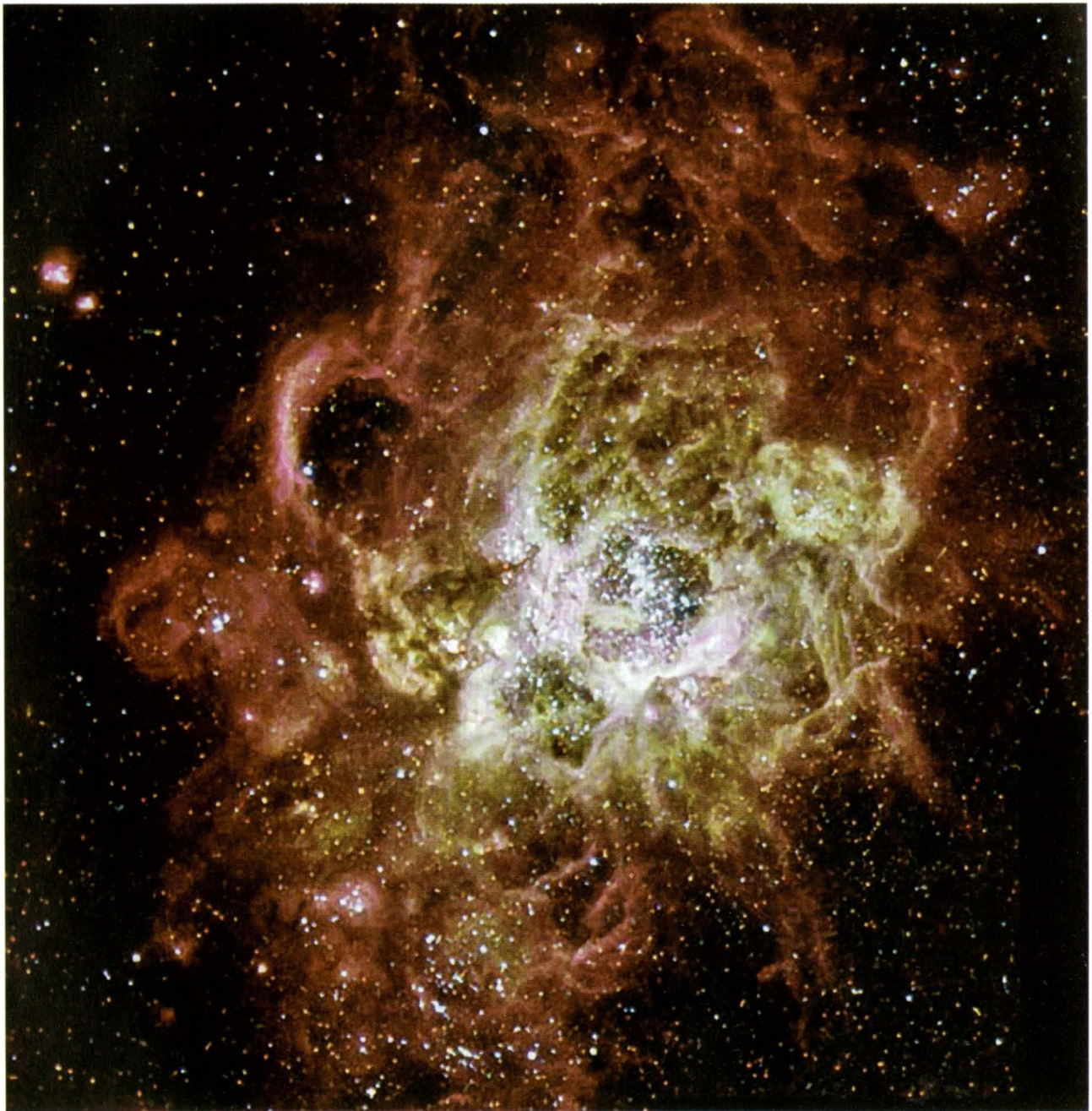




У этой пары взаимодействующих галактик, которая называется Arp 295 – по номеру соответствующей записи в «Атласе пекулярных галактик» Хэлтона Арпа, – сформировались длинные «нити», состоящие из собственных звезд и газа и протянувшиеся на четверть миллиона световых лет. Эти две галактики расположены примерно в 270 миллионах световых лет от Млечного Пути.



Гигантская спиральная галактика, похожая на наш родной Млечный Путь, является главным украшением этой фотографии, сделанной телескопом VLT (англ. Very Large Telescope – «Очень большой телескоп») в Чили. Такое изображение «анфас» этой галактики под названием NGC 1232, расположенной где-то в сотне миллионов световых лет от Млечного Пути, позволяет наблюдать как желтоватое свечение относительно старых звезд в самом ее центре, так и голубоватое сияние огромных раскаленных и еще совсем юных звезд, которых так много в охватывающих ее спиральных ответвлениях. Астрофизикам также удалось обнаружить в этих ответвлениях внушительные объемы твердых частиц межзвездной пыли. Слева от гигантской спиральной галактики можно увидеть соседку NGC 1232 поскромнее – спиральную галактику с перемычкой в центре.



Относительно недалеко от Млечного Пути, примерно на том же расстоянии, что и галактика Андромеды (2,4 миллиона световых лет), расположена спиральная галактика М33 более скромных размеров: ее основной регион звездообразования изображен на этом снимке, сделанном космическим телескопом Хаббла. Самые крупные звезды этого региона уже взорвались, превратившись в сверхновые и обогатив свое окружение тяжелыми химическими элементами, в то время как другие звезды являются источниками мощного ультрафиолетового излучения, выбивающего электроны из окружающих их атомов.

В этой небольшой неправильной галактике, которая называется NGC 1569 и расположена всего в 7 миллионах световых лет от нас, активное звездообразование началось около 25 миллионов лет назад. Его все еще можно наблюдать — именно оно является основным источником светимости галактики. Обратите внимание на два крупных звездных скопления в центральной левой части этой фотографии, сделанной космическим телескопом Хаббла.



Эта спиральная галактика называется NGC 3370 и находится примерно в 100 миллионах световых лет от Млечного Пути. Она довольно сильно напоминает нашу родную Галактику своими размером, формой и массой. Фотография, сделанная космическим телескопом Хаббла, позволяет хорошо рассмотреть ее сложное спиральное строение, словно вычерченное молодыми и горячими звездами с высокой светимостью. От края до края размер этой галактики составляет около ста тысяч световых лет.





Галактика Андромеды – ближайшая к Млечному Пути крупная галактика – расположена примерно в 2,4 миллиона световых лет от нас и при обзоре с Земли занимает на небе участок в несколько раз больше, чем полная Луна. На этом снимке, сделанном астрономом-любителем Робертом Гендлером, можно увидеть две эллиптические галактики – спутники Андромеды: одну, более яркую, ниже и левее центра изображения, а другую, более бледную – выше и правее. Все остальные небольшие яркие объекты на снимке – это отдельные звезды Млечного Пути: они практически «сидят у нас на носу», если учесть, что расстояние до них составляет менее одной сотой расстояния до Андромеды.



Здесь изображено скопление галактик Кома, в котором почти все едва заметные объекты на самом деле представляют собой отдельные галактики, в каждой из которых более сотни миллиардов звезд. Диаметр этого, расположенного примерно в 325 миллионах световых лет от Млечного Пути кластера, составляет несколько миллионов световых лет и состоит из тысяч отдельных галактик, вращающихся относительно друг друга в космическом танце, главным хореографом которого выступает гравитация.



Еще один гигантский кластер галактик A1689, расположенный примерно в 2 миллиардах световых лет от нас, тоже преломляет излучение других, более далеких галактик: мы видим это преломление в форме ярких светящихся дуг. Фиксируя особенности этих дуг, которые они изучали по полученным телескопом Хаббла изображениям, астрономы смогли определить, что большую часть массы этого кластера составляет темная энергия.

Когда мы смотрим на центральную часть нашей родной галактики Млечный Путь, расположенную примерно в 30 тысячах световых лет от Солнечной системы, огромные плотные облака пыли мешают нам разглядеть видимый свет. Однако инфракрасное излучение куда эффективнее преодолевает пылевой барьер; на этом снимке, полученном благодаря проекту 2MASS (англ. Two-Micron All-Sky Survey – «Масштабное исследование неба на длине волны 2 микрометра»), вы видите инфракрасную картину излучения в районе центра Галактики – наиболее яркого пятна изображения, где, вполне вероятно, сверхмассивная черная дыра активно поглощает вещество.





Крабовидная туманность расположена примерно в 7 тысячах световых лет от Солнечной системы; она образовалась вследствие взрыва звезды, свет от которой достиг Земли 4 июля 1054 года. На этом изображении, полученном телескопом CFHT обсерватории Мауна-Кеа, ее красноватые «нити» состоят преимущественно из расширяющегося водородного газа, постепенно удаляющегося от центрального региона взрыва. Источник беловатого сияния — электроны, перемещающиеся почти со скоростью света внутри мощных магнитных полей. Подобные остатки сверхновых звезд — источник отработанного материала, пополняющего собой межзвездные облака пыли и газа. В таких облаках рождаются новые звезды, в состав которых входит больше тяжелых химических элементов: углерода, азота, кислорода и железа — по сравнению с более старыми (образовавшимися раньше) звездами.



Эта туманность называется NGC 2440 и окружает собой истощенное, но все еще горячее ядро существовавшей здесь когда-то звезды. Этот белый карлик на данном снимке космического телескопа Хаббла – яркое пятно света примерно в середине изображения. В течение недолго времени газ, окружающий этот объект примерно в 3,5 тысячи световых лет от Солнечной системы, испарится в космос, оставляя постепенно охлаждающегося и бледнеющего белого карлика в гордом одиночестве.



Внутри региона звездообразования нашей Галактики звездный свет поглощается относительно прохладным и плотным облаком газа и пыли, в результате чего образуется метко названная туманность Конская Голова, изображенная на этом снимке телескопа CFHT обсерватории Мауна-Кеа. Это облако пыли, расположенное примерно в 1,5 тысячи световых лет от Солнечной системы, входит в состав гораздо более крупного темного и прохладного межзвездного облака; часть его видна на этом снимке в качестве темной области непосредственно под «головой коня».



Этот удивительный объект, открытый знаменитым астрономом Уильямом Гершелем в 1787 году, называется туманностью Эскимос. С Земли она чем-то напоминает человеческое лицо, выглядывающее из капюшона с меховой опушкой, и находится примерно в 3 тысячах световых лет от нас. Эскимос состоит из газа, выброшенного в космос стареющей звездой и подсвеченного ее ультрафиолетовым излучением. Поверхность этой звезды настолько раскалена, что излучает больше света в ультрафиолетовом спектре, чем в видимом. Как и Гершель, астрономы называют подобные объекты «планетными туманностями», потому что в небольших телескопах они, как и планеты, отображаются в виде обычных дисков, лишенных каких-либо особенностей. Зато на этом снимке, сделанном космическим телескопом Хаббла, видно множество визуальных подробностей, характерных для удаляющихся от центральной звезды газовых масс.

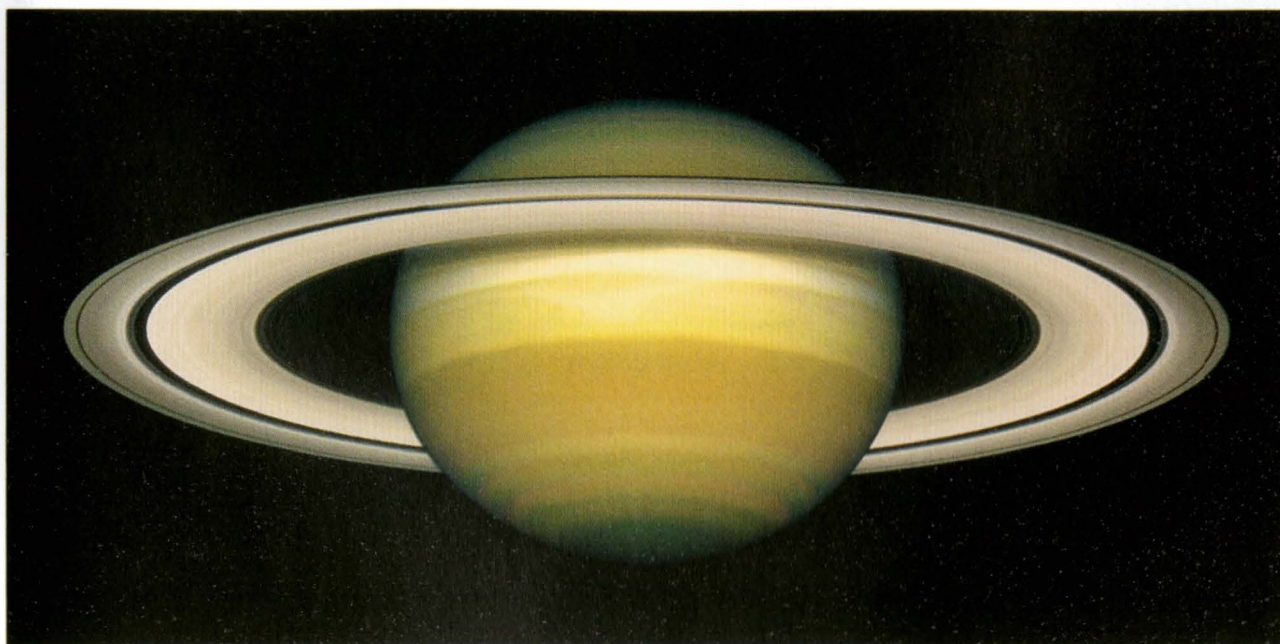


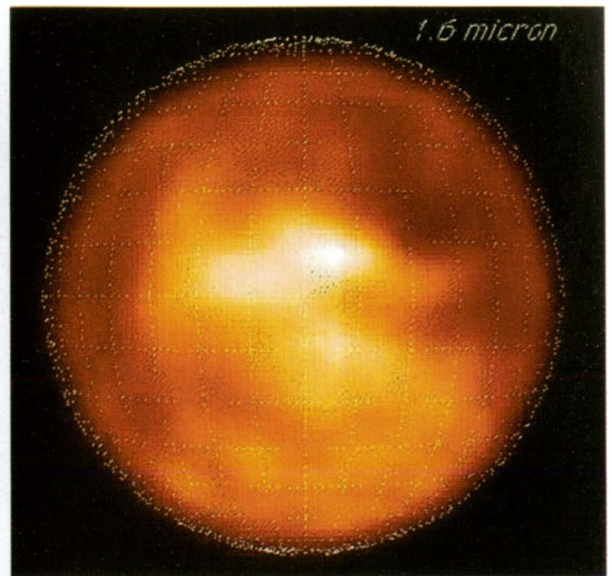
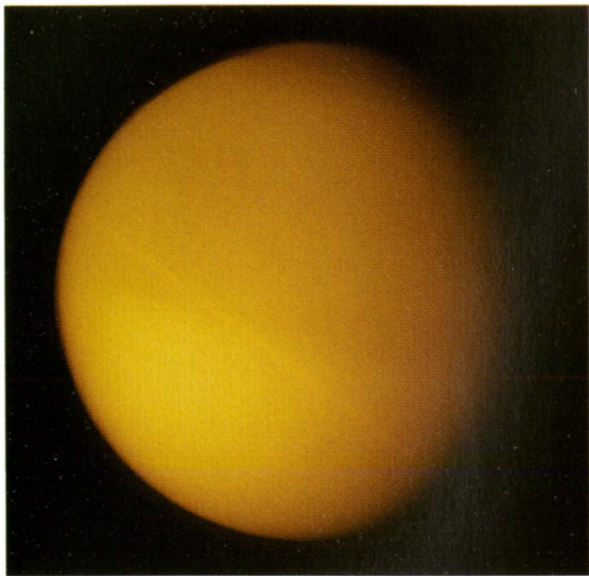
Этот расширяющийся газовый регион, который астрономы назвали IC 443, представляет собой остатки сверхновой звезды, расположенной где-то в 5 тысячах световых лет от Солнечной системы. Она взорвалась примерно за 30 тысяч лет до того, как с помощью телескопа CFHT в обсерватории Мауна-Кеа был сделан этот снимок излучения, источником которого стали остатки звезды.

Сатурн, вторая по размеру планета Солнечной системы, украшен красивыми кольцами, запечатленными во всем своем великолепии космическим телескопом Хаббла. Как и более скромные системы колец Юпитера, Урана и Нептуна, кольца Сатурна представляют собой вихри миллионов крошечных частиц, вращающихся вокруг планеты.



На этой фотографии, сделанной астрономом-любителем Риком Скоттом в 2003 году с помощью широкоугольного объектива, небо пересекает яркий след от одного из метеоров ежегодного звездопада Персеид, приходящегося на середину августа. В это время мимо Земли традиционно проносится больше небесных объектов, чем обычно. Двигаясь со скоростью много миль в секунду, каждый такой метеороид пересекает атмосферу Земли вплоть до момента своего полного или частичного испарения вследствие накаливания и перехода в газообразное состояние. На этой фотографии можно увидеть галактику Андромеды (левее середины снимка) на расстоянии, в миллион триллионов раз превышающем высоту прохода самого метеора над земной поверхностью (примерно 40 миль/64 км).





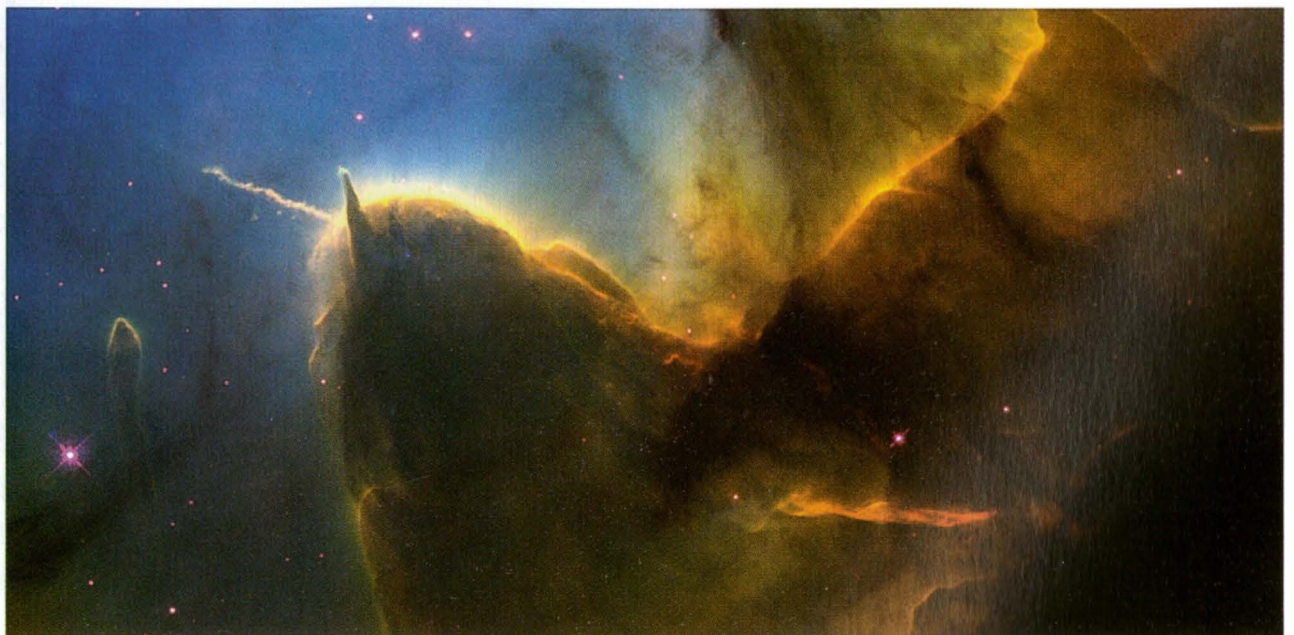
Плотная атмосфера Титана, самой большой луны Сатурна, состоит преимущественно из молекул азота, но также насыщена смогообразными частицами, которые постоянно скрывают от нас обзор его поверхности в видимом спектре света (см. левый снимок, сделанный космическим зондом «Вояджер-2» в 1981 году). Однако на снимке, сделанном в инфракрасном спектре телескопом CFHT обсерватории Мауна-Кеа (см. справа), можно разглядеть особенности поверхности Титана: это вполне могут быть резервуары жидкости, регионы скальных отложений и даже ледники замороженного углеводорода.



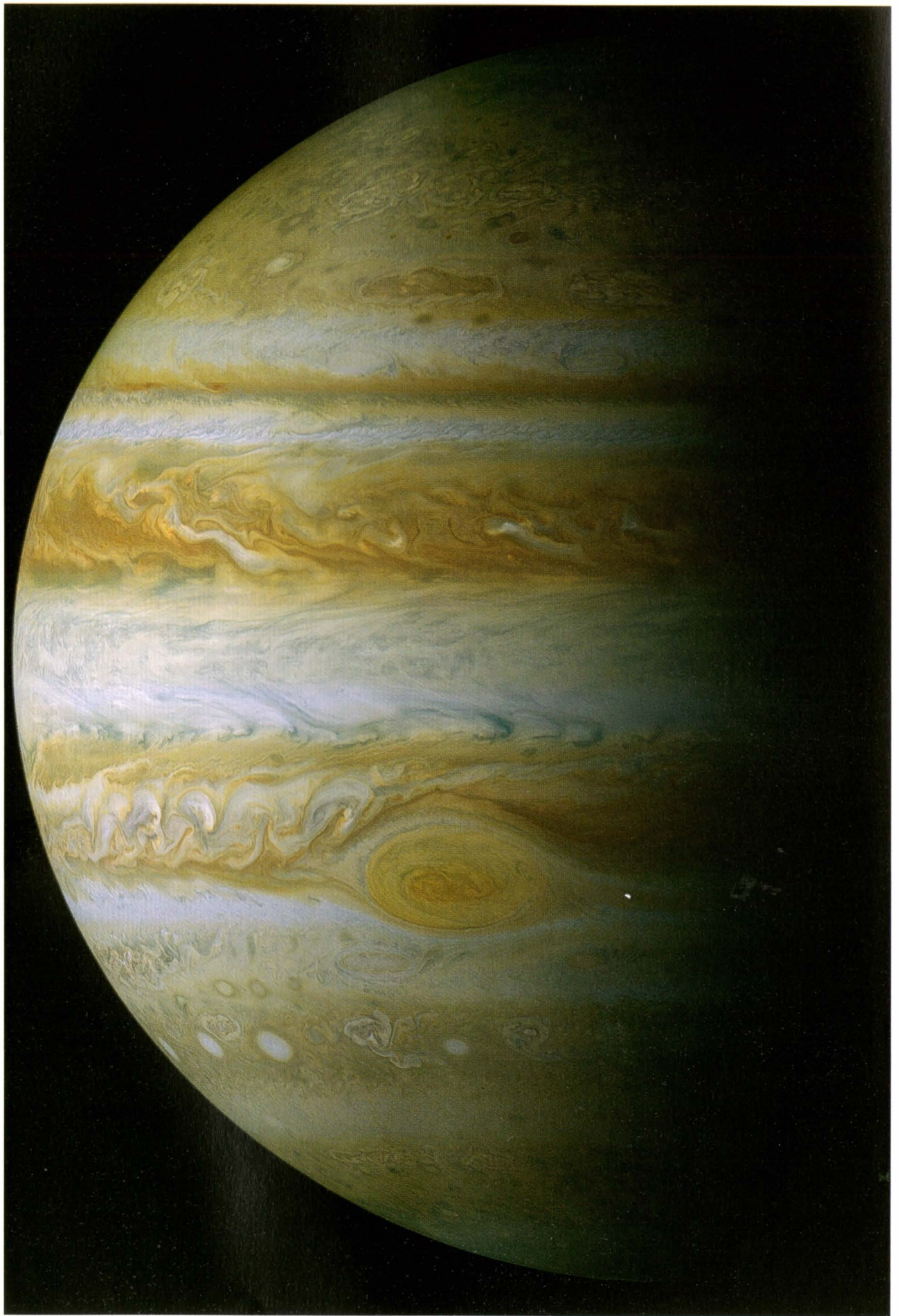
Диаметр Европы, одной из четырех крупных лун Юпитера, приблизительно равен диаметру нашей Луны; на ее поверхности четко различимы длинные прямые линии, которые могут оказаться глобальными трещинами в покрывающей ее льдистой корке (см. снимок слева). Зафиксировав Европу с одного расстояния, зонд «Галилей» пошел на сближение с ней, сделав правый снимок с расстояния 350 миль (563 км). На этом крупном изображении Европы мы видим ледяные возвышенности и прямые борозды, между которыми различимо некое подобие кратеров. Широко распространено мнение, что слой льда на поверхности Европы, достигающий, возможно, полумили в толщину, может скрывать под собой всемирный океан, в котором вполне могут существовать примитивные формы жизни.



В 1971 году астронавты миссии «Аполлон-15» впервые в истории человечества использовали транспортное средство для исследования поверхности другого мира – Луны – в поисках ответов на вопросы о его происхождении.



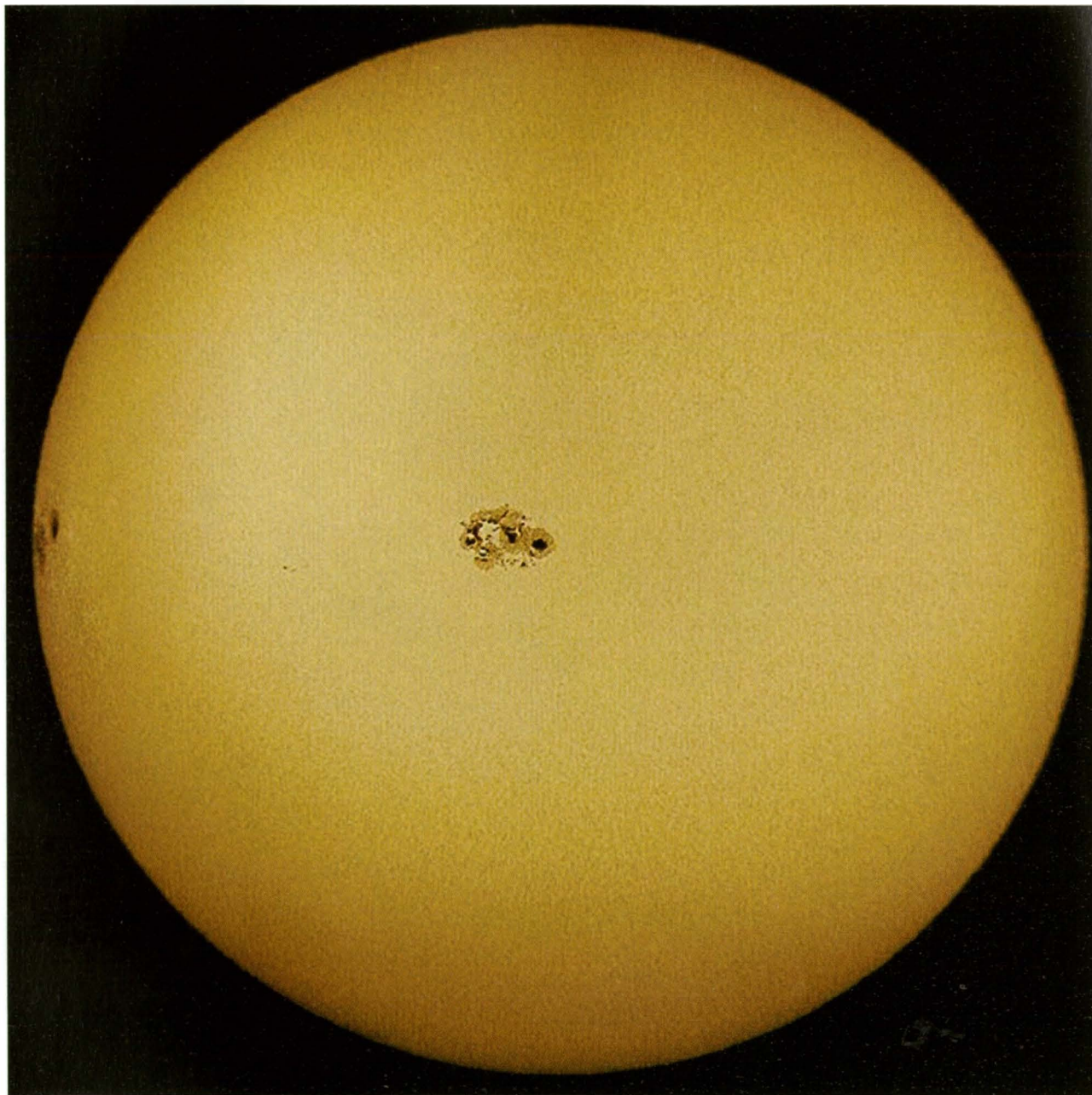
Эти «кочья» газа в Трехдольной туманности, расположенной примерно в пяти тысячах световых лет от нас, были запечатлены объективом космического телескопа Хаббла с высоким разрешением. Газ внутри этих образований плотнее, чем газ в их окружении, которое сильно разрежено под влиянием излучения молодых раскаленных звезд, обитающих неподалеку.



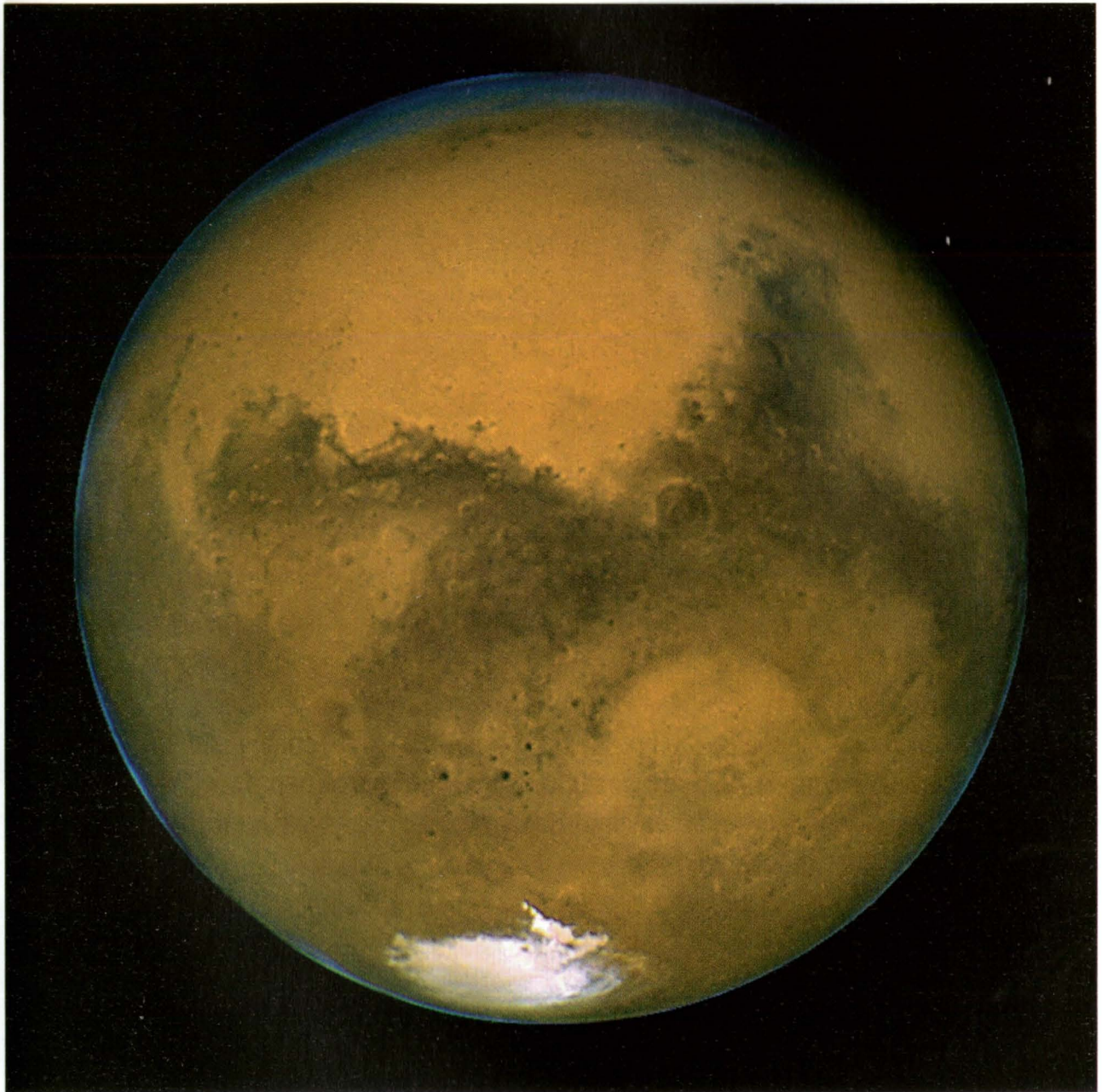


В начале 1990-х годов радиоволны вращающегося вокруг Венеры зонда «Магеллан», способные проникать в непрозрачную атмосферу планеты, помогли астрономам сделать этот радарный снимок поверхности Венеры. На нем можно разглядеть многочисленные крупные кратеры, а широкий яркий регион — это самое большое высокогорье планеты.

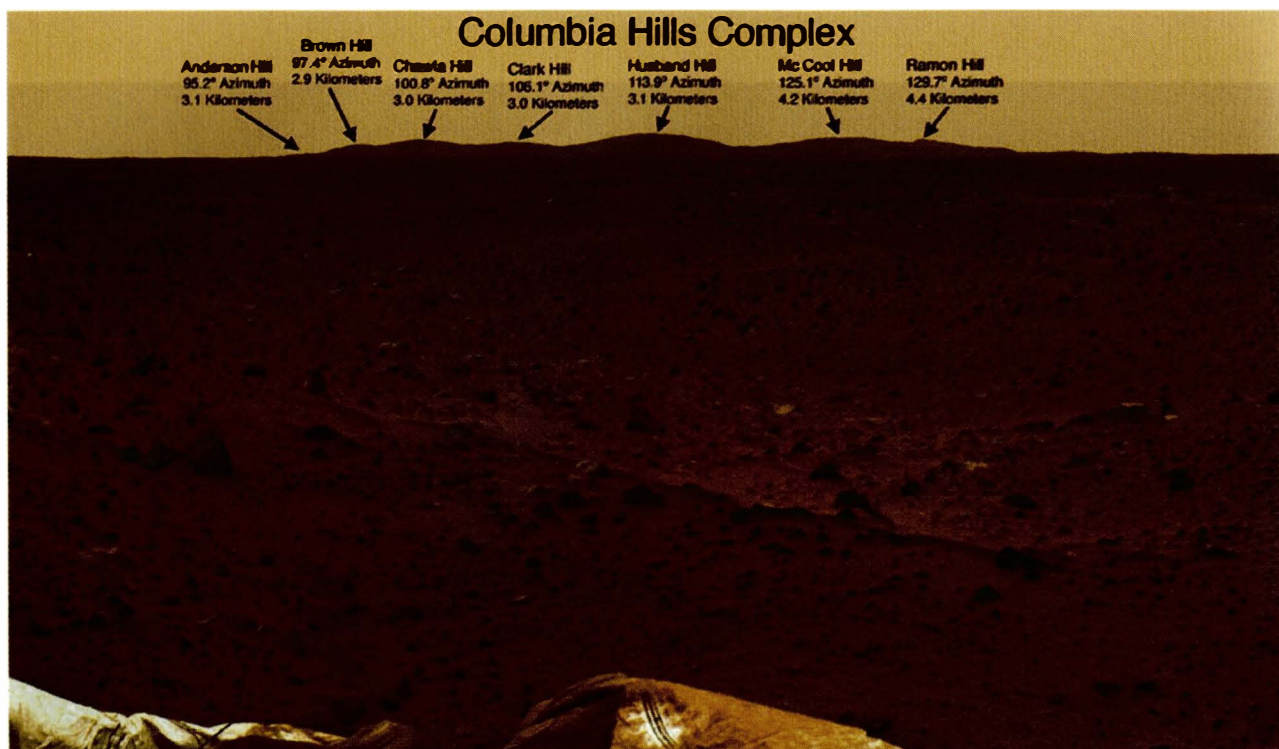
В декабре 2000 года, когда космическая станция «Кассини» прошла мимо Юпитера, направляясь на назначенное на 2004 год рандеву с Сатурном, она сфотографировала внешние слои этой крупнейшей планеты Солнечной системы. Юпитер представляет собой твердое ядро, окруженное слоями газа в тысячи миль толщиной. Эти газы, в состав которых входят в основном соединения водорода с углеродом, азотом и кислородом, закручиваются вокруг Юпитера под воздействием его быстрого вращения вокруг своей оси. Самые мелкие объекты из различных на этой фотографии составляют примерно 40 миль (64 км) в диаметре.



В октябре 2003 года два крупных комплекта солнечных пятен, каждый из которых в несколько раз превышает собой размеры Земли, появились на поверхности Солнца и были запечатлены астрономом-любителем Хуаном-Карлосом Касадо. Вращаясь вместе с нашей звездой, они постепенно бледнеют, и у них уходит около месяца на то, чтобы пересечь поверхность Солнца и вернуться на исходные позиции. Относительно темный тон солнечных пятен связан с их более низкой температурой (около 8000 градусов по шкале Фаренгейта при средней температуре поверхности Солнца 10 000 градусов). Понижение температуры вызвано влиянием магнитных полей, чья активность, в свою очередь, связана с мощными взрывами на поверхности Солнца. Эти взрывы могут стать источниками потоков заряженных частиц, вмешивающихся в радиокommunikации на Земле и негативно влияющих на здоровье космонавтов.

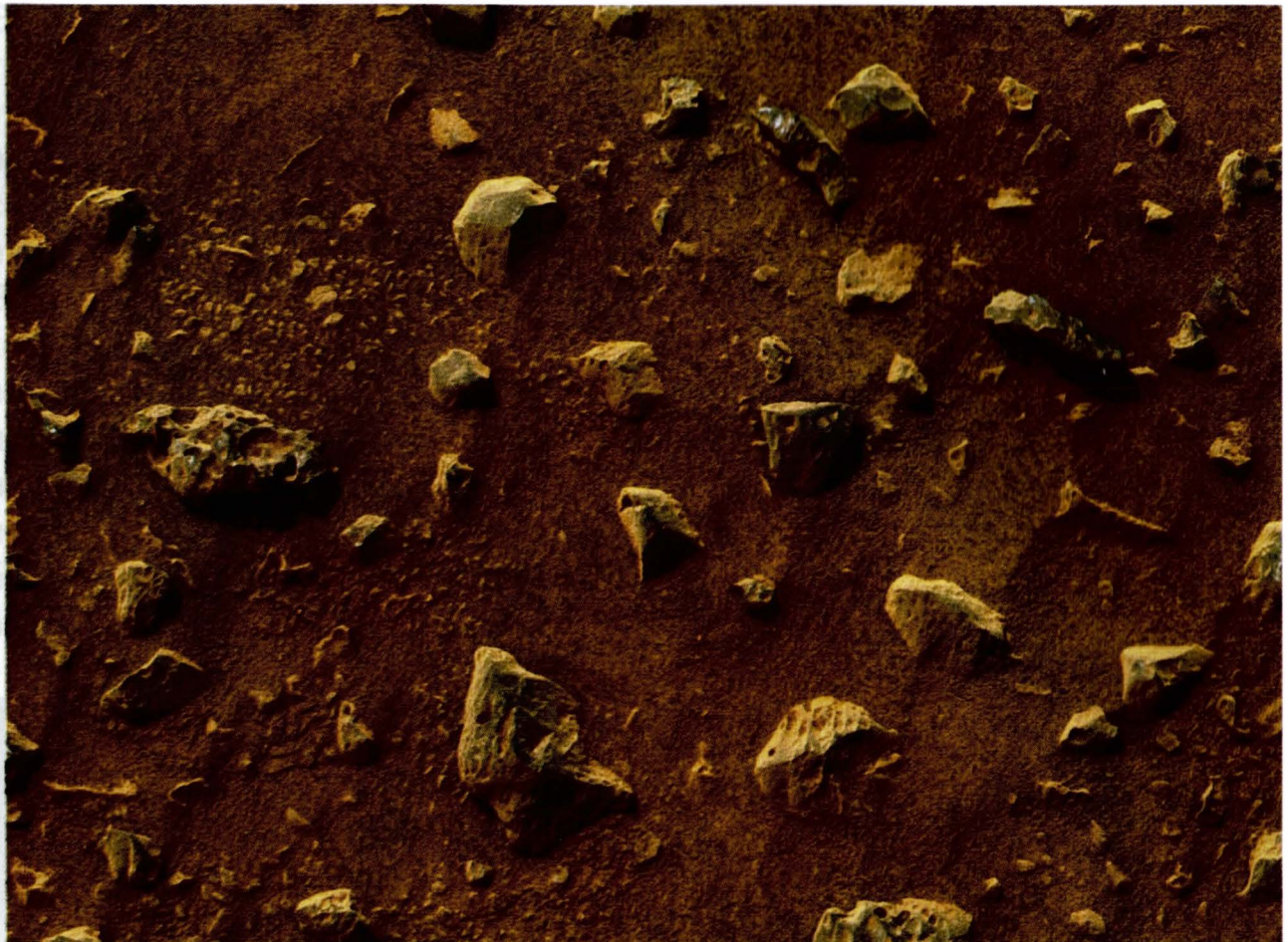


На этом снимке Марса, сделанном космическим телескопом Хаббла во время сближения планеты с Землей в 2003 году, внизу можно увидеть южную полярную шапку, состоящую в основном из замороженного углекислого газа. Обратите внимание на крупный округлый объект справа внизу: это равнина Эллада. Множество кратеров поменьше украшают собой светлые нагорья Марса; более темные участки поверхности — его низменности.



На этой фотографии поверхности Марса, сделанной в январе 2004 года марсоходом «Спирит», на горизонте различимы холмы в нескольких милях от объектива камеры. Семь из них были названы NASA в честь астронавтов, погибших в результате крушения космического корабля «Колумбия» 1 февраля 2003 года. Как и зонд «Викинг», совершивший посадку на Марс в двух разных местах в 1976 году, в 2004 году марсоходы «Спирит» и «Оппортьюнити» высадились на безжизненную каменистую поверхность, простирающуюся от них во все стороны.





На крупном изображении непосредственных окрестностей марсохода «Спирит» – возможное древнее скальное основание поверхности, а также более молодые скальные породы, богатые соединениями, которые на Земле, как правило, формируются под водой. Преобладающий красноватый оттенок – следствие наличия оксидов железа (ржавчины) в камнях и почве поверхности Марса.

Профессор биологии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Кен Нилсон в Долине смерти на съемках спецвыпуска *Origins* («Происхождение») в рамках научного сериала *NOVA* телеканала PBS с одним из авторов книги (Нилом Деграссом Тайсоном). Как эксперт в области существующих в условиях геологического напряжения микроорганизмов, Нилсон знает, что эта жаркая, безводная и во всех других смыслах неприветливая среда обитания служит прекрасной экосистемой для жизни бактерий, которые превосходно чувствуют себя внутри скальных трещин или под камнями, скрытые от раздражающего их солнечного света. Красноватый оттенок скальных пород Долины смерти напоминает поверхность Марса.



Этo скальное образование (изображено в вертикальном разрезе) было взято у подводного тихоокеанского хребта в проливе Хуан-де-Фука, поблизости которого бьет так называемый «черный курильщик» — глубоководный гидротермальный источник; сегодня это один из экспонатов Зала Земли в Американском музее естественной истории в Нью-Йорке. Вдоль среднеокеанических хребтов вода может просачиваться сквозь земную кору, где она нагревается до очень высоких температур, за счет чего обретает способность растворять минералы. В тех местах, где такая вода ключами бьет со дна, возвращаясь в океан, мы обнаруживаем колоннообразные структуры, которые формируются из минеральных осадков охлаждающейся воды. Пористость этих структур и характерные для них химические и температурные перепады позволяют существовать на них и внутри них целым экосистемам, которые черпают энергию из геотермальных и геохимических процессов и совершенно не нуждаются в Солнце как источнике энергии для поддержания жизни. Стойкость некоторых недавно обнаруженных бактерий и других форм жизни на Земле позволила дополнить список возможных сред обитания, в которых мы смеем надеяться найти жизнь в нашей Вселенной.



Доктор Сет Шостак из Института поиска внеземного разума SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence) и один из авторов книги (Нил Деграсс Тайсон) позируют в перерывах между работой над спецвыпуском Origins («Происхождение») в непосредственной близости от радиотелескопа обсерватории «Аресибо» в Пуэрто-Рико. Шостак использовал этот крупнейший в мире телескоп, чтобы «прислушиваться» к возможным разумным сигналам далеких внеземных цивилизаций. Телескоп «Аресибо» размещен в известняковом кратере естественного образования. Шостака и Тайсона снимали прогуливающимися и разговаривающими под огромной антенной из проволочной сетки, которая сама по себе является конфигурацией не от мира сего.



Когда земной день не задался. Видение Дона Дэвиса — художника, рисующего космос, — момента столкновения между астероидом и Землей 65 миллионов лет назад, который предварил собой вымирание нептицеобразных динозавров, а также 70 % всех земных видов жизни, включая всех животных размером с хлебницу и крупнее. Экологические ниши, образовавшиеся в природе с уходом динозавров, позволили оставшимся животным эволюционировать из, скажем, тупай обыкновенных, до этого бывших лишь закуской для динозавров, в то множество видов и семейств млекопитающих, которое мы имеем удовольствие наблюдать сегодня.

Если же, наоборот, они видят, что скорость звезды изменяется то быстрее, то медленнее, ученые могут утверждать, что являются свидетелями воздействия на звезду планеты с вытянутой орбитой. Более того, они даже могут вычислить степень этого растяжения — то, насколько форма орбиты отходит от идеального круга, — измерив разницу в темпе, с которым скорость звезды меняется на протяжении всего ее орбитального цикла.

Итак, демонстрируя настоящее торжество точности наблюдений в сочетании с точностью вычислений над тайнами Вселенной, изучающие экзопланеты астрофизики могут предоставить данные о четырех ключевых характеристиках любой обнаруженной ими планеты: период обращения, среднее расстояние до своей звезды, минимальную массу и степень вытянутости орбиты по форме. И все это астрофизикам удастся благодаря исследованию всей палитры света звезд, которые лежат в сотнях миллиардов миль от Солнечной системы, и умению измерять крошечные изменения в характеристиках этой палитры цветов с точностью до одной миллионной доли и даже еще точнее. Что это, если не новая и значительнейшая покоренная вершина знаний об устройстве Вселенной в поисках родных и двоюродных братцев и сестриц Земли?

Остается только одна проблема. Многие из обнаруженных за последнее десятилетие экзопланет вращаются вокруг своих звезд на расстояниях, гораздо меньших, чем расстояние от Солнца до какой-либо из его планет. Проблема эта немаленькая, потому что все на данный момент обнаруженные экзопланеты обладают массой, сравнимой с массой Юпитера — гигантской планеты, которая вращается вокруг Солнца на расстоянии, в пять с лишним раз превышающем расстояние от него до Земли. Давайте еще раз пройдемся по всем фактам, прежде чем выразить восхищение тем, как ловко астрофизики объясняют, как так вышло, что эти крупные планеты занимают орбиты в разы меньше тех, что мы привыкли наблюдать в своей Солнечной системе.

Каждый раз, когда мы прибегаем к методике «звездных танцев», чтобы искать и находить планеты, вращающиеся вокруг других звезд, мы не должны забывать о заложенных в нее погрешностях. Во-первых,

чем ближе расположены планеты к своей звезде, тем меньше времени им нужно на то, чтобы совершить вокруг нее полное обращение. Так как у астрофизиков есть лишь ограниченное количество времени на то, чтобы наблюдать Вселенную, они, безусловно, в первую очередь будут обнаруживать планеты, скажем, с шестимесячным периодом обращения, а не те, которым требуется 10–12 лет на то, чтобы совершить один оборот. В обоих случаях, однако, астрофизикам так или иначе нужно выжидать как минимум пару полноценных орбитальных циклов, чтобы убедиться в том, что они обнаружили повторяющееся поведение скорости звезды. Получается, что на обнаружение планеты с периодом обращения, сравнимым с юпитерианскими 12 годами, может уйти бóльшая часть чьей-то карьеры.

Во-вторых, планеты оказывают тем большее гравитационное воздействие на свои звезды, чем ближе к ним они вращаются. Такое повышенное воздействие заставляет звезды «танцевать» быстрее, результатом чего становится более ощутимое доплеровское смещение в спектре их излучения. Так как обнаружить явное смещение проще, чем незначительное, более близкие к своим звездам планеты привлекают больше внимания — и делают это быстрее, чем более удаленные от звезды планеты. Однако на каком бы расстоянии от звезды она ни находилась, любая экзопланета должна примерно соответствовать по массе Юпитеру (а это в 318 раз больше массы Земли), чтобы ее можно было обнаружить с помощью доплеровского смещения. Планеты с гораздо меньшей массой не в состоянии заставить свои звезды «танцевать» достаточно заметно для того, чтобы современные технологии позволили нам запечатлеть их танцевальные па.

Таким образом, нет ничего удивительного в том, что из первых обнаруженных экзопланет все обладают массой, сравнимой с массой Юпитера, и все вращаются близко к своим звездам. Удивительно то, насколько близко к своим звездам подобрались эти планеты. Так близко, что им не требуется нескольких месяцев и тем более лет для того, чтобы завершить каждый полный оборот вокруг своей звезды, что характерно для планет Солнца, им хватает... всего нескольких дней.

На сегодняшний день астрофизики нашли уже более дюжины планет, которые совершают полное обращение вокруг своей звезды менее чем за неделю, а одна рекордсменка проделывает это всего за два с половиной дня! Эта планета, вращающаяся вокруг солнцеподобной звезды под названием HD73256, обладает массой, превышающей массу Юпитера не менее чем в 1,9 раза, и движется по слегка вытянутой орбите на среднем расстоянии от своей звезды, составляющем всего 3,7 % расстояния, разделяющего Солнце и Землю. Другими словами, эта гигантская планета обладает массой, более чем в 600 раз превышающей массу Земли, и при этом находится на расстоянии от своей звезды, составляющем менее одной десятой расстояния от Солнца до Меркурия.

Меркурий состоит из камня и металла, запеченных при температуре во много сотен градусов с повернутой к Солнцу стороны. В отличие от него Юпитер и другие гигантские планеты Солнечной системы (Сатурн, Уран и Нептун) представляют собой огромные газовые шары, внутри которых находятся твердые ядра, составляющие лишь несколько процентов от общей массы каждой из планет. Согласно всем теориям планетообразования, планета с массой, сопоставимой с массой Юпитера, не может быть твердой, как Меркурий, Венера и Земля, поскольку в первичном облаке, из которого все планеты сформировались, было слишком мало вещества, которое могло бы собраться в твердый комок, превратившийся потом в планету, масса которой более чем в несколько десятков раз превышает земную. Из этого следует заключение — и оно приближает нас еще на один шаг к разгадке фантастически увлекательного детектива об экзопланетах, — что все обнаруженные на сегодня экзопланеты (так как они сопоставимы по массе с Юпитером) должны также представлять собой огромные газовые шары.

Сразу хочется задать два вопроса. Первый: как могут эти гигантские планеты, подобные Юпитеру, вращаться так близко от звезд? Второй: раз они вращаются так близко, почему их газовая оболочка не испарилась под воздействием мощной тепловой энергии звезды? На второй

вопрос можно ответить относительно просто: огромная масса планет способна удерживать рядом с собой даже самые легкие газы, нагретые до сотен градусов, так как гравитация планет способна преодолеть склонность атомов и молекул газа отбиваться от своего стада и уплывать в космос. В самых экстремальных условиях, правда, в этом поединке гравитация ведет лишь с минимальным перевесом, а планеты в таких случаях вращаются буквально на границе с самыми внутренними областями звездной системы, окажись они внутри их, действительно растеряли бы свой газ в процессе испарения под влиянием тепла звезды.

Первый же вопрос о том, как могут такие громадные планеты вращаться так близко к солнцеобразным звездам, приводит нас к фундаментальной особенности самого планетообразования. Как мы уже установили в главе 11, теоретики приложили много усилий к тому, чтобы хоть что-нибудь понять о процессах образования планет в нашей Солнечной системе. Они пришли к заключению, что планеты Солнца формировались постепенно, из маленьких комков вещества, разрастаясь все больше и больше, и все это происходило внутри блинообразного облака газа и пыли. Внутри этой плоской вращающейся массы вещества, окружавшей Солнце, начали формироваться отдельные скопления материала — сначала в произвольном порядке, а затем уже на основе этих самых первичных формирований, которые за счет своей плотности уже обладали большей суммарной гравитацией по сравнению с другими разбросанными по облаку независимыми частицами. На финальных стадиях этого процесса Земля и другие планеты пережили активную бомбардировку оставшимися не у дел крупными кусками материала.

Пока разворачивался этот процесс всеобщего объединения, начало сиять Солнце, испаряя самые легкие элементы, такие как водород и гелий, в своем ближайшем окружении и оставляя в составе четырех своих ближайших планет (Меркурия, Венеры, Земли и Марса) практически сплошь тяжелые элементы: углерод, кислород, алюминий и железо. В то же время все сгустки вещества, которые сформировались на расстоянии от Солнца, многократно превышающем расстояние от него

до Земли — от 5 до 30 раз, — оставались в относительной прохладе, что позволило им сохранить основательные запасы водорода и гелия в своем окружении. Так как два этих самых легких химических элемента еще и самые распространенные во Вселенной, в итоге в этих регионах Солнечной системы образовались четыре гигантские планеты, во много раз превышающие по массе Землю каждая.

Плутон не принадлежит ни к классу каменных внутренних планет, ни к категории внешних газовых гигантов. Вместо этого он, все еще не изученный ни одним земным космическим кораблем, напоминает огромную комету, сделанную из камня и льда. Кометы обычно насчитывают в диаметре от 5 до 50 миль*, в то время как в Плуtone все 2000 миль** от края до края. Кометы считаются одними из первых «существенных» с точки зрения размера объектов, сформировавшихся в ранние эпохи становления Солнечной системы. По возрасту тягаться с ними могут разве что самые старые метеориты — осколки камня, металла или сплавов камня и металла, которые когда-то падали на поверхность Земли и были рассекречены теми, кто умеет отличать космический метеорит от обычного садового булыжника.

Таким образом, планеты образовались из вещества, как и кометы с метеоритами, причем газовые гиганты воспользовались своими твердыми ядрами для того, чтобы притянуть и удержать около себя этот самый газ. Датирование радиоизотопами содержащихся в метеоритах минералов показало, что наиболее старым из них может быть до 4,55 миллиарда лет — а это гораздо больше, чем самым древним камням из найденных на Луне (4,2 миллиарда лет) или на Земле (чуть меньше 4 миллиардов лет). Рождение Солнечной системы, которое состоялось примерно за 4,55 миллиарда лет до н. э., в самом буквальном смысле привело к сегрегации планетных миров на две группы: относительно малых и твердых внутренних планет и гораздо более крупных и по большей части газовых планет-гигантов. Четыре внутренние планеты

* 5 миль = 8,05 км; 50 миль = 80,5 км.

** 2000 миль = 3218,7 км.

вращаются вокруг Солнца на расстоянии, составляющем от 0,37 до 1,52 астрономической единицы, в то время как четыре гиганта расположились на гораздо более серьезных расстояниях от нашей звезды: оно составляет от 5,2 до 30 астрономических единиц. Именно это и позволило им разрастись до своих гигантских размеров.

Это описание того, как образовались планеты Солнечной системы, выглядит довольно стройным — в пору испытать раздражение от того, что нам удалось обнаружить столько примеров объектов, по массе сопоставимых с Юпитером и при этом расположенных намного ближе к своим звездам, чем расстояние от Меркурия до Солнца. Действительно, из-за того, что все наиболее рано обнаруженные экзопланеты оказались на столь малых расстояниях от своих звезд, какое-то время принято было считать, что наша Солнечная система скорее исключение из вселенских правил, чем образцовый пример планетообразования, как предполагали теоретики в те далекие дни, когда у них не на чем больше было основывать свои догадки и теории. Осознав погрешность, заложенную в той относительной легкости, с которой им удавалось обнаруживать расположенные близко к звездам планеты, они ободрились и в скором времени нашли (с немалой точностью) еще ряд газовых гигантов на гораздо больших расстояниях от их звезд.

Сегодня список из более сотни экзопланет, систематизированных в порядке возрастания их расстояний от своих звезд, начинается с уже упомянутой выше планеты — той, у которой уходит всего 2,5 дня на то, чтобы совершить вокруг своей звезды полный оборот; завершается этот список звездой 55 Рака (55 Cancri) — вокруг нее вращается планета, по массе своей не менее чем в четыре раза превышающая Юпитер, и одно обращение вокруг своей звезды у нее занимает 13,7 года. Исходя из периода обращения этой планеты, астрофизики могут определить, что она находится от своей звезды на расстоянии, в 5,9 раза превышающем расстояние от Земли до Солнца или в 1,14 — расстояние от Солнца до Юпитера. Это первая планета в списке всех обнаруженных экзопланет, что расположена от своей звезды на большем расстоянии, чем Юпитер от Солнца, за счет чего она производит впечатление

планетарной системы, в широком смысле сопоставимой с нашей собственной Солнечной, по крайней мере с точки зрения тандема «звезда плюс ее самая крупная планета».

Однако это все же не совсем так. Планета, вращающаяся вокруг звезды 55 Рака в 5,9 раза дальше, чем расстояние от Земли до Солнца, является не первой, но *третьей* из обнаруженных на орбите этой звезды. На сегодняшний момент астрономы собрали уже достаточно данных и обрели столь внушительную сноровку по интерпретации доплеровских смещений, что им удастся распутывать сложную хореографию звезд, образованную при гравитационном воздействии на них двух или более планет. Каждая из них стремится задать «танцу» свой собственный ритм с периодом повтора, равным охвату орбиты планеты, описываемой ею вокруг звезды. Наблюдая за звездой в течение достаточно продолжительного времени и подключая к работе компьютерные программы, которые не боятся никаких вычислений и расчетов, охотники за планетами способны выделить из замысловатых танцев отдельные шаги, которые задают звезде отдельные планеты. В случае с 55 Рака, скромной звездой из созвездия Краба, сначала были обнаружены две другие более близкие к ней звезды с периодами обращения в 42 и 89 дней и минимальными массами в размере 0,84 и 0,21 массы Юпитера соответственно. Планета с минимальной массой, равной «всего» 0,21 массы Юпитера (это как 67 планет Земля), входит в число экзопланет с наименьшими массами из обнаруженных на сегодня. Рекорд пока принадлежит одной экзопланете, чья масса составляет 35 масс Земли, — и это все еще настолько крупнее нашей голубой планеты, что есть некоторая вероятность, что скорее тот самый рак на горе свистнет, чем астрономы смогут найти в нашей Галактике хотя бы одного двойника Земли.

Можно ходить вокруг да около, но проблема от этого не исчезнет. Изучив, помимо прочего, планеты, вращающиеся вокруг звезды 55 Рака, нам все еще необходимо объяснить, как могут экзопланеты с массами, сопоставимыми с Юпитером, вращаться столь близко от своих звезд? Сколько таких планет вообще? Любой эксперт скажет вам, что планета, сравниваемая по массе с Юпитером, не может сформироваться

на расстоянии от солнцеподобной звезды, которое было бы меньше, чем три-четыре расстояния от Земли до Солнца. Если допустить, что экзопланеты подчиняются этому правилу, то остается только предположить, что они переместились существенно ближе к своим звездам уже после того, как закончили формироваться. Подобное заключение, если принять его как приемлемое, приводит к трем новым вопросам.

1. Что заставило эти планеты разменять свои орбиты на более скромные после того, как они сформировались?
2. Что помешало им приблизиться к своим звездам вплотную и в итоге погибнуть, упав прямо на звезду?
3. Почему это произошло в множестве других планетных систем, но не в нашей Солнечной системе?

На эти вопросы у нас есть ответы, предоставленные теми светлыми умами, для которых обнаружение экзопланет послужило отличным стимулом к дальнейшим исследованиям. Можем подытожить самую популярную на сегодня версию экспертов ниже.

1. Планетная миграция произошла потому, что существенный объем материалов, оставшихся после процессов формирования планет, продолжал вращаться вокруг звезды в рамках орбит новообразованных планет-гигантов. Этот материал систематически отбрасывается гравитацией большой планеты на более далекие орбиты, что, в свою очередь, заставляет саму большую планету подбираться все ближе к звезде.
2. Когда планеты приблизились к своим звездам гораздо ближе, чем они были в начале своего пути, приливные силы звезды синхронизировали их и зафиксировали на новых местах. Эти силы, сопоставимые с приливными силами Солнца и Луны, способными поднимать воды земных океанов, синхронизировали периоды вращения планет с их периодами обращения, что и произошло с Луной под влиянием приливных сил Земли. Это также не дало планетам приблизиться к своим звездам еще ближе — по вполне обоснованным причинам, на которых мы тут не будем задерживаться.

3. Предположительно, это совершенно произвольная удача, что одни планетные системы образовались с бóльшим количеством материала, что впоследствии сделало возможной планетную миграцию, а другие — как наша с вами — оказались относительно скудны на космические останки, и потому их планеты остались на тех же расстояниях от своей звезды, где они когда-то и сформировались. В случае с планетами вокруг 55 Рака вполне возможно, что все три ушли очень далеко «вперед» (то есть приблизились к звезде), и тогда самая удаленная планета вполне могла сформироваться на расстоянии от звезды в несколько раз большем, чем сейчас. А может быть и такое, что вследствие распространения материала в окружении этих трех планет первые две основательно переместились поближе к звезде, в то время как третья так и осталась где была.

Астрофизикам, мягко говоря, предстоит еще очень много работы, прежде чем они смогут с полной уверенностью заявить, что поняли досконально, как вокруг звезд образуются планетные системы. Пока охотники за экзопланетами продолжают работу в надежде когда-нибудь найти двойника Земли — планету, похожую на Землю размером, массой и расстоянием от своей звезды, на котором вращается эта планета. Когда и если они такую планету найдут, они будут стремиться изучить ее — даже с расстояния десятков световых лет — как можно точнее, чтобы определить, есть ли на такой планете атмосфера и океаны, подобные земным, и существует ли на ней жизнь, как на нашей планете.

Следуя за этой мечтой, астрофизики знают, что им понадобятся измерительные инструменты, которые будут расположены над нашей атмосферой, искажающей получаемые картинки и не дающей делать исключительно точных замеров и вычислений. В рамках одного эксперимента NASA под названием «миссия Кеплера» ученые планируют изучить сотни тысяч близлежащих звезд в поисках самых крошечных неровностей в звездном излучении (где-то с одну сотую одного процента), причиной которых была бы планета размером с Землю, расположенная на нашем луче зрения к звезде. Такой подход актуален

только в ничтожно малом количестве ситуаций, в которых наш обзор почти полностью соответствует плоскости орбиты планеты. Но именно в таких случаях промежутки между прохождениями планеты равен ее периоду обращения, что, в свою очередь, указывает на расстояние от этой планеты до ее звезды, и, соответственно, степень ослабления звездного излучения также указывает на размер этой планеты.

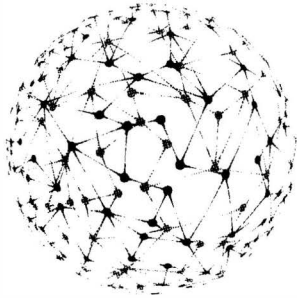
Однако, если мы хотим знать не только базовые физические характеристики планеты, нам следует изучать ее с помощью методов прямого изображения и анализа спектра света, который планета отражает в окружающий ее космос. NASA и ESA* разрабатывают программы, которые позволят достигнуть таких результатов в ближайшие 20 лет. Планета земного типа, обнаруженная даже просто в качестве бледно-голубой точки** рядом с гораздо более яркой звездой, сможет вдохновить еще целое поколение поэтов, физиков и политиков. Если удастся проанализировать отражаемый ею свет и таким образом определить, есть ли в атмосфере этой планеты кислород (что с большой вероятностью указывает на признаки жизни) или сочетание кислорода с метаном (что почти напрямую указывает на них), это станет достижением, достойным быть воспетым бардами всего мира. Человечество, возведенное в герои, останется лицом к лицу (как писал Ф. Скотт Фитцджеральд в своем «Великом Гэтсби») с чем-то соразмерным своей человеческой любознательности. Что ж, приглашаем всех, кто мечтает обнаружить жизнь в других уголках Вселенной, перейти к последней части этой книги.

* European Space Agency — Европейское космическое агентство.

** В оригинале — pale blue dot. Это знаменитая метафора Карла Сагана, которая чаще переводится на русский язык как «голубое пятнышко».

Часть V

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ
ЖИЗНИ**



Глава 14

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Наши исследования Вселенной привели нас, как и следовало ожидать, к самой заповедной и, пожалуй, самой великой тайне на свете — возникновению жизни и в особенности тех ее форм, с которыми нам когда-нибудь, возможно, доведется наладить общение. Веками человек задумывался о том, каким образом он мог бы отыскать в космосе других разумных существ и, если повезет, вступить с ними в диалог — хотя бы ненадолго, прежде чем кануть в историю. Возможно, ключевые подсказки, которые помогут нам разрешить эту загадку, кроются в космических следах наших собственных истоков, содержащих в себе некоторую информацию о происхождении планеты Земля как одной из планет Солнечной системы, о происхождении звезд, дающих для жизни энергию, и о происхождении и эволюции самой Вселенной как таковой.

Если бы мы могли досконально изучить эти следы до мельчайших подробностей, они показали бы нам, как пройти путь от глобального космического контекста к самому малому, от бескрайнего космоса до отдельных его участков, в которых расцветает и развивается жизнь в самых разных своих проявлениях. Если бы мы могли сравнить между собой разные формы жизни, сформировавшиеся в разных обстоятельствах, мы могли бы лучше понять правила, по которым зарождается

жизнь, как в самом широком смысле, так и в конкретных космических ситуациях. Сегодня нам известна лишь одна форма жизни — земная, и все ее виды имеют общие истоки и задействуют молекулы ДНК в качестве фундаментального механизма воспроизводства. Это лишает нас огромного количества альтернативных примеров жизненных форм, отодвигая в неопределенное будущее возможность провести масштабные исследования форм жизни во Вселенной, ведь такого исследования не начать, пока мы не обнаружим жизнь где-либо за пределами своей планеты.

Конечно, все могло быть и хуже. Мы очень многое знаем об истории жизни на нашей планете, и мы должны опираться на эти знания, чтобы вывести некие базовые принципы, касающиеся жизни во Вселенной в целом. Ровно в той степени, в которой на эти принципы можно положиться, они рассказывают нам, когда и где Вселенная обеспечивает или обеспечивала базовые условия для возникновения жизни. При всех своих попытках представить себе жизнь в других мирах мы должны удерживаться от соблазна попасть в ловушку так называемого антропоморфного образа мышления — нашей естественной склонности искренне считать, что внеземные формы жизни должны быть похожи на нашу. Это весьма характерное для человека отношение к данному вопросу, обусловленное нашим эволюционным и личным опытом здесь, на Земле, ограничивает наше воображение, когда мы пытаемся представить себе, какие формы может принимать внеземная жизнь в других мирах. Только биологи, хорошо знакомые с изумительным по структуре и внешним признакам разнообразием многочисленных форм земной жизни, могут с уверенностью строить теории о том, как могли бы выглядеть инопланетные существа. Их странность с точки зрения нашего восприятия почти наверняка окажется за пределами воображения обывателя.

Возможно, через год или век, а может, и еще намного позже мы либо обнаружим жизнь за пределами Земли, либо наберем достаточно данных для того, чтобы прийти к заключению (как склонны верить некоторые ученые) о том, что жизнь на нашей планете — это уникальное

явление в галактике Млечный Путь. На данный момент скудность информации на эту тему позволяет нам рассматривать огромное количество возможностей. Так, мы можем найти жизнь на нескольких разных объектах Солнечной системы, что будет означать, что она, вполне вероятно, существует и в миллиардах подобных планетных систем нашей галактики. Или мы можем обнаружить, что в пределах нашей Солнечной системы жизнь есть лишь на Земле, что тем не менее оставит открытым вопрос о возможном существовании жизни вокруг других звезд. Или мы в итоге убедимся, что жизни в других планетных системах точно нет, как бы далеко в космос мы ни пытались заглянуть. В поисках жизни во Вселенной, как и в любой другой деятельности, оптимизм зиждется на положительных результатах, в то время как отрицательные заключения, как правило, порождают пессимизм. Наиболее свежая информация, позволяющая делать новые ставки на обнаружение жизни за пределами Земли, — а именно, обнаружение планет, вращающихся на орбитах вокруг соседних с Солнцем звезд, — склоняет нас к оптимистичному выводу, что жизнь в галактике Млечный Путь может все же оказаться широко распространенной. Тем не менее, прежде чем данное предположение можно будет понемногу возвести в статус положительного утверждения, нам предстоит разрешить еще множество задач. Например, если окажется, что при всем своем изобилии почти все планеты непригодны для зарождения жизни, пессимистичный взгляд на наличие — точнее, отсутствие — инопланетной жизни может оказаться более реалистичным.

Ученые, изучающие возможности существования инопланетной жизни, часто прибегают к формуле Дрейка, названной в честь своего автора Фрэнка Дрейка, американского астронома, который представил ее в начале 1960-х годов. Формула Дрейка представляет собой скорее полезную концепцию, чем непреложную истину о том, как работает физическая Вселенная. Эта формула систематизирует наши знания и наше незнание, представляя столь интересующее нас число — количество мест, где в данный момент в нашей галактике существует разумная жизнь, — в виде ряда параметров, каждый из которых описывает некое

необходимое условие для формирования разумной жизни. В число этих параметров входят:

- ◆ количество звезд в галактике Млечный Путь, которые живут достаточно долго для того, чтобы разумной жизни хватило времени сформироваться на планетах, вращающихся вокруг этих звезд;
- ◆ среднее число планет на орбитах этих звезд;
- ◆ доля среди них тех планет, на которых сформировались подходящие для жизни условия;
- ◆ вероятность, что жизнь сможет пойти на этих подходящих планетах полным ходом;
- ◆ вероятность, что жизнь на такой планете пройдет путь эволюции до разумной цивилизации. Под цивилизацией астрономы обычно подразумевают такие формы жизни, которые будут способны на контакт с нами.

Перемножив между собой все члены этого уравнения, мы получаем то число планет Млечного Пути, на которых когда-либо в истории в принципе существовали или существуют разумные цивилизации. Чтобы получить нужное нам число с помощью формулы Дрейка, то есть количество разумных цивилизаций, существующих в любое заданное время (например, в данный момент), нужно умножить полученное в предыдущем предложении число на шестой и последний параметр, отражающий отношение средней продолжительности существования разумной цивилизации к суммарному возрасту Млечного Пути (равному примерно 10 миллиардам лет).

Для определения каждого из шести членов формулы Дрейка требуются знания в области астрономии, биологии или социологии. Сейчас у нас есть примерные значения первых двух членов этого уравнения, и на получение удовлетворительного значения третьего вряд ли уйдет так уж много времени. С другой стороны, четвертый и пятый члены формулы — вероятность зарождения жизни на подходящей для этого планете и вероятность того, что эта жизнь пройдет весь путь вплоть до становления разумной цивилизации, — требуют от нас обнаружения

и изучения различных форм инопланетной жизни по всей галактике. Сегодня любой из нас — не только эксперты — может почти с равным успехом просто угадать или не угадать фактические значения этих параметров. Например, какова вероятность того, что на планете, предлагающей подходящие для жизни условия, эта самая жизнь действительно зародится? Научный подход к этому вопросу однозначен: взять несколько планет с подходящими для жизни условиями, понаблюдать за ними на протяжении нескольких миллиардов лет и проверить, на скольких из них жизнь в итоге зародится. Любая попытка определить среднюю продолжительность жизненного цикла одной цивилизации в галактике Млечный Путь требует нескольких миллиардов лет наблюдений — и это только после того, как мы найдем несколько таких цивилизаций, которые и составят нашу репрезентативную выборку.

Вам не кажется, что это безнадежно? Возможность решить-таки формулу Дрейка лежит в далеком необозримом будущем, если только нам не повстречается цивилизация, которая уже давно решила ее сама и, возможно, использует в качестве точки замера. Но эта формула дает нам полезные наработки о том, что потребуется для того, чтобы оценить, сколько же цивилизаций есть в нашей Галактике сейчас. Шесть членов формулы Дрейка похожи друг на друга в плане своих математических функций, которые они выполняют в получении ее решения: каждый из них оказывает на результат прямое множащее воздействие. Если, к примеру, вы считаете, что на одной из трех планет, пригодных для жизни, собственно формируется эта жизнь, но потом узнаете, что их всего одна из 30, получится, что ваш прогноз превысил количество таких цивилизаций в десять раз (это предполагая, что значения всех остальных параметров корректны).

Исходя из того, что нам уже известно сегодня, первые три члена формулы Дрейка указывают на то, что в Млечном Пути существуют миллиарды потенциальных участков для существования жизни. Мы ограничиваемся пределами Млечного Пути из скромности, а также на основании соображений о том, что цивилизациям из соседних галактик будет в разы труднее выйти с нами на связь, как и нам с ними. Если

хотите, можете развернуть дебаты о поиске смысла жизни и самой жизни со своими друзьями, родственниками и коллегами, в том числе о том, какие значения могут принимать оставшиеся три параметра. Выберите недостающие числа так, чтобы у каждого из вас появился свой собственный прогноз о количестве технологически подкованных цивилизаций нашей галактики. Если вы, например, верите, что жизнь зарождается на большинстве планет, предлагающих для этого подходящие условия, и что большинство таких зарождающихся цивилизаций становится в итоге разумными, вы можете прийти к выводу о том, что в какой-то момент времени на миллиардах планет галактики Млечный Путь существовала, существует и будет существовать разумная цивилизация. Если же вы вынуждены подытожить, что лишь на одной из тысячи планет создаются пригодные для жизни условия и что только на одной из тысячи таких пригодных планет может возникнуть разумная жизнь, у вас останутся только тысячи, но никак не миллиарды планет с разумными цивилизациями. Означает ли этот широчайший диапазон возможных ответов, что формула Дрейка — дикая и необузданная блажь, а не результат научных изысканий? Никак нет. Такой результат — всего лишь доказательство того титанического труда, который еще предстоит выполнить ученым ради того, чтобы достоверно ответить на столь сложный вопрос, основываясь на столь ограниченных познаниях.

Трудности, с которыми мы сталкиваемся при попытке наделить примерными значениями три последних члена формулы Дрейка, подчеркивают ту опасность, что поджидает нас каждый раз, когда мы позволяем себе делать грубые обобщения на основании одного-единственного примера — или не имея примера как такового вообще. Например, нам очень нужно оценить среднюю продолжительность жизни цивилизации в галактике Млечный Путь; но как это сделать, если мы не имеем ни малейшего понятия о том, как долго просуществует наша собственная цивилизация? Следует ли нам утратить всякую веру в свои догадки относительно значений этих чисел? Но это бы только акцентировало наше невежество, заодно лишая нас удовольствия

воображать и обсуждать. Когда и если, в отсутствие конкретных данных или догмы, нам захочется порассуждать консервативно, наиболее безопасным будет предположение, что мы не являемся чем-то из ряда вон выходящим (хотя и это может в итоге оказаться в корне неверно). Астрофизики называют это предположение принципом Коперника, который еще в середине XVI века постановил Солнцу быть центром целой звездной системы, чем оно, как оказалось позднее, и является. До этого, несмотря на выраженную древнегреческим философом Аристотелем мысль о гелиоцентрической Вселенной еще в III веке до н. э., идея космоса, центром которого является Земля, преобладала в умах и сердцах на протяжении последних двух тысячелетий. Зашифрованная в учениях Аристотеля и Птолемея, а также в проповедях Римско-католической церкви, эта догма заставила большинство европейцев верить в то, что центром всего мироздания является Земля. Должно быть, это выглядело более чем логично при взгляде на небо над головой — словно некий божественный умысел для нашей планеты. Даже сегодня огромный процент населения Земли — и вполне возможно, что подавляющее большинство, — продолжает считать так из-за того, что Земля кажется неподвижной, в то время как вокруг нас вращаются все небеса, вместе взятые.

Хотя у нас нет никаких гарантий того, что принцип Коперника задает нам верное направление в наших научных исследованиях, он все же играет роль полезного противовеса нашей естественной склонности к тому, чтобы считать себя особенными. Еще более важная его особенность заключается в том, что у этого принципа на сегодня исключительно блестящие исторические показатели, которые оставляют нас в скромном восхищении раз за разом: Земля — это не центр Солнечной системы, Солнечная система — не центр галактики Млечный Путь, а галактика Млечный Путь — отнюдь не центр Вселенной. А если кто-то думает, что быть с краю — тоже особенная позиция, так ведь мы и отнюдь не с самого краю находимся. Соответственно, взвешенный и современный выбор — это придерживаться уверенности в том, что жизнь на Земле следует принципу Николая Коперника. Раз так, то

что же может подсказать нам жизнь на Земле — ее происхождение, компоненты и структура — о жизни в других уголках Вселенной?

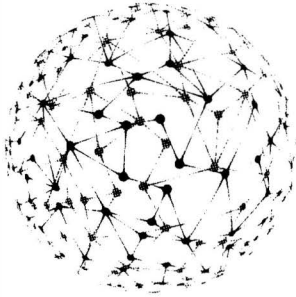
Стремясь ответить на этот вопрос, мы должны пропустить через себя огромный и невероятно разнообразный объем биологической информации. Для каждой космической точки замера, полученной путем продолжительных наблюдений за объектами, расположенными на огромном расстоянии от нас, у нас есть тысячи фактов биологического характера. Разнообразие известных нам форм жизни поражает всех нас — и в особенности биологов — каждый день. На одной-единственной планете Земля одновременно существуют (помимо бесчисленного количества других форм жизни) ряска, жуки, губки, медузы, змеи, кондоры и гигантские секвойи. Представьте себе эти семь живых организмов, выстроенные в торжественную линейку друг рядом с другом в порядке возрастания размера. Если бы вы не знали об этом заранее, вам было бы трудно поверить в то, что все они родом из одной и той же Вселенной, не говоря уж об одной и той же планете. Попробуйте описать змею кому-нибудь, кто никогда ее не видел: «Нет, ты должен мне поверить! Я только что видел это животное с планеты Земля, которое:

- ◆ отслеживает свою добычу с помощью инфракрасных биолокаторов;
- ◆ способно проглотить целиком другое животное, размером в пять раз превышающее размер его собственной головы;
- ◆ не имеет ни рук, ни ног, ни каких-либо еще конечностей;
- ◆ и в то же время способно скользить по земле практически так же быстро, как ты идешь!»

В сравнении с удивительным разнообразием жизни на Земле ограниченные видение и изобретательность голливудских сценаристов, пытающихся придумать альтернативные формы жизни, просто постыдны. Конечно, писатели и сценаристы, возможно, просто идут на поводу у широкой публики, которая предпочитает привычные ей ужа-сы и пришельцев по-настоящему неведомым формам жизни. Но за исключением нескольких выдающихся примеров вроде тех, что предлагали нам фильм «Капля» 1958 года или Стэнли Кубрик в своей

картине «2001 год: Космическая одиссея», голливудские инопланетяне выглядят все как один на удивление человекоподобными. Какими бы страшными или милыми они ни были, почти у всех у них по два глаза, один нос, рот и два уха, голова, шея, плечи, руки и ладони, пальцы, туловище, две ноги и две ступни — и они умеют ходить. С анатомической точки зрения эти создания практически неотличимы от людей, а ведь предполагается, что они родом с других планет — плоды совершенно независимых от Земли эволюционных процессов. Более вопиющее нарушение принципа Коперника трудно себе вообразить.

Астробиология, изучающая возможности возникновения внеземной жизни, числится среди наиболее отвлеченных научных дисциплин современности, однако астробиологи могут с уверенностью утверждать, что жизнь в любой другой части Вселенной, разумная или не очень, будет наверняка выглядеть по меньшей мере столь же экзотично, как и некоторые из биологических видов планеты Земля, более того, она наверняка будет экзотичнее в разы. Когда мы прикидываем вероятность существования жизни где-либо еще в необъятном пространстве нашей Вселенной, мы должны приложить усилия для того, чтобы выбросить из головы навязанные Голливудом образы и стереотипы. Да, это будет непросто, но по-другому никак нельзя, если мы хотим оценить с научной, а не эмоциональной точки зрения свои шансы на обнаружение других существ, с которыми, возможно, мы когда-нибудь сможем сесть и спокойно поговорить.



Глава 15

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Поиск жизни во Вселенной начинается с глубоко философского вопроса: что такое жизнь? Астробиологи честно скажут вам, что на этот вопрос нет простого и общепринятого ответа. Говорить, что жизнь можно сразу узнать, как только увидишь ее воочию, тоже довольно бессмысленно. Какие бы характерные свойства мы ни приписывали одушевленным организмам Земли в отличие от неодушевленных, мы всегда умудряемся найти пример того, как эта грань между ними теряет однозначность или вообще стирается. Некоторые или все живые существа растут, движутся или разлагаются, но это может происходить и с предметами, которые мы бы никогда не назвали живыми. Жизнь — она воспроизводится? Но это делает и огонь. Жизнь — она эволюционирует, чтобы создавать новые формы самой себя? Но так делают и определенные кристаллы, помещенные в водный раствор. Мы можем утверждать, что некоторые формы жизни можно опознать при первом же взгляде на них — вы же не будете сомневаться, увидев орла или лосося, что они живые? Но любой, кто более или менее знаком с потрясающим разнообразием жизни на планете Земля, признает: многие живые создания могут оставаться неузнанными на протяжении очень

долгого времени, пока сочетание удачи и опыта специалиста не помогут обнаружить в них жизнь.

Так как жизнь коротка, нам приходится двигаться вперед, вооружившись сработанным на скорую руку и в целом подходящим для наших нужд описанием жизни. Вот таким: жизнь состоит из наборов объектов, которые могут одновременно воспроизводиться и эволюционировать. Мы не можем называть группу объектов живыми только потому, что они умеют количественно размножаться. Чтобы считаться формой жизни, они также должны преобразовываться в новые формы с течением времени. Такое определение сводит на нет возможность того, что живым может называться какой-либо единичный объект. Вместо этого мы должны изучать диапазон объектов в пространстве, отслеживая их существование во времени. Подобное определение жизни может в будущем оказаться слишком ограничивающим, но пока мы с вами будем пользоваться именно им.

Изучая одну форму жизни на нашей планете за другой, биологи обнаружили некое общее характерное для земной жизни свойство. Вещество, из которого сделано каждое живое существо на Земле, состоит в основном всего лишь из четырех химических элементов: водорода, кислорода, углерода и азота. Все другие элементы, вместе взятые, составляют менее 1 % массы любого живого организма. Помимо этой великолепной четверки, в больших и малых созданиях нашей планеты можно найти немного фосфора, который считается среди прочих элементов самым важным и без которого некоторые формы жизни невозможны в принципе, а также серу, соду, магний, хлор, калий, кальций и железо.

Но можем ли мы на основе данной особенности земной жизни сделать вывод, что она характерна и для внеземных форм жизни в других регионах космоса? Тут нам, бесспорно, пригодится принцип Коперника во всей своей полноте. Четыре химических элемента, которые образуют всю основную жизнь на Земле, входят в список из шести самых распространенных элементов Вселенной как таковой. Так как

два других элемента из этого списка — гелий и неон — практически никогда не соединяются с другими элементами, получается, что жизнь на Земле состоит из самых распространенных и химически активных ингредиентов всего космоса вообще. Среди всех возможных предположений о том, из чего образуются живые структуры в других мирах, идея, что их жизнь должна состоять из более или менее тех же элементов, что и земная, кажется самой очевидной. Если бы жизнь на нашей планете состояла преимущественно из четырех самых редких элементов Вселенной — ниобия, висмута, галлия и плутония, — то у нас были бы все основания подозревать, что мы представляем собой нечто особенное в этой Вселенной. Но вместо этого химический состав жизни на Земле оптимистично подсказывает нам, что вероятность существования жизни за пределами нашей планеты как минимум нельзя сбрасывать со счетов.

Состав жизни на Земле соответствует принципу Коперника в еще большей степени, чем можно было бы предположить. Если бы мы жили на планете, сделанной преимущественно из водорода, кислорода, углерода и азота, тогда сам факт, что живущие на ней организмы тоже состоят из этих же четырех элементов, вряд ли бы нас сильно удивил. Но Земля состоит в основном из кислорода, железа, кремния и магния, а ее ближайшие к поверхности слои — из кислорода, кремния, алюминия и железа. Только один из этих химических элементов — кислород — входит в список самых распространенных во Вселенной. Когда мы заглядываем в земные океаны, почти целиком сделанные из водорода и кислорода, нам кажется удивительным, что в список самых распространенных в мире элементов также входят углерод и азот, а не хлор, сода, сера, кальций или калий, которые являются самыми распространенными элементами из растворенных в океанической воде. Распределение элементов в живых организмах на Земле напоминает состав звезд — и гораздо больше, чем оно напоминает состав самой Земли. В результате получается, что образующие жизнь элементы гораздо более распространены во Вселенной, чем элементы, входящие в состав

планеты Земля. А это уже неплохая точка отсчета для тех, кто надеется найти жизнь в самых разных совокупностях условий, возможно не похожих одна на другую.

Установив, что сырья для создания жизни во всей Вселенной более чем достаточно, мы можем задаться вопросом: как часто наличие этого сырья, удобного места в космосе, где это сырье могло бы скопиться в достаточном количестве, и удобного источника энергии в виде расположенной поблизости звезды приводит к зарождению и существованию жизни? Когда-нибудь, когда под рукой у нас будет список возможных территорий для существования жизни в окрестностях Солнца, мы сможем ответить на этот вопрос статистически точно. Но пока этих данных у нас нет, придется снова пойти в обход и спросить себя: откуда взялась жизнь на планете Земля?

Возникновение жизни на Земле покрыто пеленой недоверности. Наше невежество в данном вопросе является результатом не в последнюю очередь того, что те таинственные события или явления, которые вдохнули жизнь в ранее неодушевленное вещество миллиарды лет назад, не оставили за собой никаких определенных следов. Для прошлого, насчитывающего более 4 миллиардов лет, палеонтологического и геологического наследия просто не существует. При этом большинство палеобиологов — ученых, занимающихся воссозданием жизни, существовавшей в давно ушедшие эпохи, — считает, что первые формы жизни появились на нашей планете именно в эту эпоху в истории Солнечной системы — от 4,6 до 4 миллиардов лет назад, то есть в первые 600 миллионов лет после образования Солнца и его планет.

Отсутствие любых геологических вещественных доказательств, датированных более чем 4 миллиардами лет назад, связано с движениями земной коры, которое называется континентальным дрейфом или, как принято в научных кругах, тектоникой плит. Эти движения, вызванные теплом, поднимающимся из недр Земли, постоянно заставляют сегменты коры нашей планеты — плиты — скользить, сталкиваться и наезжать друг на друга. Тектонические движения плит медленно и неумолимо погребли под собой все, что когда-то лежало на самой поверхности

Земли. В результате нам осталось совсем немного скальных пород и камней возрастом более 2 миллиардов лет — и ни одного, которому было бы в принципе больше 3,8 миллиарда лет. Этот факт в сочетании с разумным заключением о том, что самые первые примитивные формы жизни имели весьма мало шансов оставить за собой палеонтологические следы, оставил нашу планету без малейшего надежного источника информации о том, какой была жизнь на Земле в первые 1 или 2 миллиарда лет ее истории. Самым древним подтвержденным источником информации о земной жизни, что у нас есть, «всего» 2,7 миллиарда лет, а несколько косвенных улик позволяют предположить, что жизнь уже существовала еще 1 миллиардом лет ранее.

Большинство палеонтологов считает, что жизнь возникла на Земле не менее 3 миллиардов лет назад, но вполне возможно, что и более 4 миллиардов лет назад — в первые 600 миллионов лет после образования нашей планеты. Их заключение основано на определенном справедливом предположении о примитивных организмах. Во времена чуть менее 3 миллиардов лет назад в атмосфере Земли начало основательно повышаться содержание кислорода. Мы знаем это из геологического профиля планеты, который не зависит от наличия каких-либо древних окаменелостей или других палеонтологических свидетельств: кислород вызывает медленное ржавление — коррозию — насыщенных железом скал, что придает им чудесный красный оттенок вроде того, которым славятся знаменитые скалы Большого каньона в Аризоне. Каменистые породы «предкислородной» эпохи такого цвета не бывают — как и, впрочем, не выказывают других явных признаков наличия этого элемента.

Появление атмосферного кислорода сыграло роль величайшего «загрязнения» атмосферы в истории Земли. Атмосферный кислород способен не только на химическую реакцию с железом, он также отбирает питание из (метафорических) ртов примитивных организмов, соединяясь со всеми простыми молекулами, которые в исходном своем виде могли бы стать питательными элементами для ранних форм жизни. Таким образом, появление кислорода в атмосфере Земли стало

поводом для уже существовавших на планете форм жизни пересмотреть свою философию и либо адаптироваться, либо умереть. Это также означает, что, если бы на тот момент жизни еще не было, она уже никогда не возникла бы, ведь гипотетическим новообразовавшимся организмам было бы нечего есть: их еда уже окислилась бы и заржавела. Эволюционная адаптация к этому загрязнению неплохо сработала во многих случаях: дышащие кислородом животные отличное тому подтверждение. Идея полностью спрятаться от кислорода тоже оказалась удачной: и по сей день в желудке каждого животного, включая человека, живут миллиарды организмов, которые успешно плодятся в этой гипоксической (бескислородной) среде, но гибнут, стоит им оказаться на воздухе.

Что насытило атмосферу Земли кислородом? Бóльшая его часть появилась от крошечных организмов, которыми полнились моря: они производили кислород в процессе фотосинтеза. Какое-то количество кислорода появилось бы на Земле и в условиях полного отсутствия жизни: ультрафиолет из солнечного света разбивал некоторое количество молекул H_2O на поверхностях океанов, высвобождая атомы водорода и кислорода и насыщая ими воздух. Каждый раз, когда значительный объем жидких вод планеты подвергается воздействию звездного цвета, атмосфера этой планеты, как и в случае с земной, начинает обогащаться кислородом. На это уходят сотни миллионов или даже миллиарды лет. Там наличие атмосферного кислорода не даст возникнуть жизни, так как его атомы соединятся с атомами всех остальных потенциально питательных веществ, которыми могли бы угощаться эти формы жизни. То есть кислород убивает! А ведь мы привыкли думать об этом химическом элементе периодической таблицы совсем по-другому, однако для космоса в целом справедливо следующее заключение: жизнь должна начаться на ранних этапах истории планеты, иначе в ее атмосфере рано или поздно появится кислород — и сделает это невозможным.

Отсутствующая в геологическом профиле планеты эпоха соответствует времени так называемой бомбардировки, которая продолжалась

в те ключевые первые несколько сотен миллионов лет после образования Земли. Вся поверхность планеты тогда подвергалась непрекращающимся ударам космических объектов. В те несколько сотен тысяч тысячелетий падающие на Землю объекты размером с тот метеорит, что оставил за собой знаменитый Аризонский кратер, ударялись об нее несколько раз в столетие, а еще более крупные объекты — до нескольких миль в диаметре — сталкивались с нашей планетой каждые несколько тысяч лет. Каждое из таких основательных столкновений приводило к вынужденным ландшафтным работам локального характера, и сотни тысяч подобных инцидентов сыграли глобальную роль в формировании топографии нашей планеты.

Как все это повлияло на зарождение жизни? Биологи утверждают, что подобная агрессия со стороны космоса могла быть причиной как зарождения жизни, так и ее конца, причем неоднократно. Большинство падающего на Землю космического материала во времена бомбардировки состояло из комет, которые, по сути, представляют собой большие снежки с некоторым количеством камня и грязи. Их кометный «снег» состоит из замерзшей воды и замерзшего же углекислого газа, который многие из нас привыкли называть «сухим льдом». Вдобавок к снегу, песку и камням с высоким содержанием минералов и металлов, в кометах, которые бомбардировали Землю в первые несколько сотен миллионов лет ее истории, содержалось множество разнообразных малых молекул, таких как метан, аммиак, метиловый спирт, цианистый водород и формальдегид. Эти молекулы наряду с водой, моноокисью углерода (угарный газ) и углекислым газом и стали основным сырьем для создания жизни. Все они состоят из водорода, углерода, азота и кислорода, и все они представляют собой первые шаги в формировании более сложных молекул.

Получается, что кометная бомбардировка обеспечила Землю некоторым запасом воды для ее морей и океанов и тем сырьем, из которого затем могла возникнуть жизнь. Да и сама жизнь могла прибыть к нам на Землю на борту этих комет, хотя их низкая температура (как правило, составляющая несколько сотен градусов ниже нуля по шкале

Фаренгейта) противоречит логике образования действительно сложных молекул. Но независимо от того, прибыла ли жизнь на Землю с кометами или нет, сами кометы вполне могли не раз оказаться причиной ее уничтожения. Жизнь, по меньшей мере в своих самых примитивных формах, могла начинаться «урывками» — снова и снова, раз за разом, и каждый новый комплект организмов мог выживать на протяжении нескольких сотен тысяч или даже миллионов лет, пока столкновение планеты с особенно крупным космическим объектом не опустошало ее, уничтожая все живое, которому через какое-то время предстояло появиться вновь, чтобы вновь быть уничтоженным...

На основании двух установленных фактов у нас есть возможность с довольно высокой долей уверенности утверждать, что такое возникновение жизни «урывками» действительно имело место быть. Во-первых, жизнь на нашей планете появилась скорее рано, чем поздно, — в первую треть имеющейся на сегодня истории Земли. Если жизнь смогла появиться — и появилась — за один миллиард лет, то есть некоторая вероятность того, что она могла сделать это и за более короткий срок. Вполне возможно, что на возникновение жизни нужно не более нескольких миллионов или, может, десятков миллионов лет. Во-вторых, мы знаем, что столкновения между крупными объектами и Землей раз в несколько десятков миллионов лет действительно уничтожали большинство видов живых существ, обитавших на нашей планете. Самый известный подобный случай — это исчезновение жизни в мелово-третичный период 65 миллионов лет назад: тогда погибли все нелетающие динозавры и огромное количество других видов. Правда, даже это массовое вымирание неотягивает до самого масштабного из известных истории: в пермотриасовый период 252 миллиона лет назад исчезло почти 90 % всех форм морской жизни и 70 % всех наземных позвоночных — в качестве преобладающей формы жизни на Земле тогда остались грибы.

И мелово-третичное, и пермотриасовое исчезновение видов произошли в результате столкновений с Землей объектов шириной до двух десятков миль. Геологи обнаружили громадный кратер возрастом

65 миллионов лет, чье образование совпадает с мелово-третичным исчезновением видов. Этот кратер тянется через северную часть полуострова Юкатан и уходит в морское дно. Крупный кратер того же возраста, что и пермотриасовый инцидент, тоже существует: он был найден у северо-западного побережья Австралии. Но столь массовое вымирание могло стать результатом не только столкновений как таковых, но и еще каких-то факторов, например постоянных извержений вулканов. Даже один-единственный пример исчезновения динозавров в мелово-третичную эпоху напоминает нам о том, какой огромный ущерб может нанести жизни на Земле комета или астероид. В эпоху бомбардировки Земля должна была регулярно содрогаться не только от подобных событий, но и от гораздо более серьезных последствий столкновений с объектами диаметром по 50, 100 или даже 250 миль* каждый. Каждая подобная встреча, должно быть, уничтожала земную жизнь если и не подчистую, то оставляя в живых лишь крошечный процент обитателей — и эти встречи должны были приключаться гораздо чаще, чем в нынешнее время происходят столкновения с десятимильными объектами. Наши текущие знания в области астрономии, биологии, химии и геологии указывают на то, что на ранних стадиях своего существования Земля была способна создавать жизнь, а ее космическое окружение было способно эту жизнь уничтожать. И если где-то относительно недавно сформировалась какая-нибудь звезда, а вокруг нее — несколько планет, то вполне возможно, что они сейчас подвергаются со стороны останков этого формирования интенсивной бомбардировке, которая уничтожает все формы жизни на этой далекой планете.

Более 4 миллиардов лет назад бóльшая часть строительного материала, оставшегося от образования Солнечной системы, либо столкнулась с планетами (и осталась на них), либо переместилась на орбиты, на которых столкновения не происходят. В результате наша космическая община понемногу сменила политику бесперебойной бомбардировки на политику всеобщего мира и спокойствия, которыми мы и имеем удовольствие наслаждаться сегодня. Лишь раз в несколько десятков или

* 80,47, 160,93 и 402,34 км соответственно.

сотен миллионов лет столкновения с объектами, достаточно крупными для того, чтобы представлять собой угрозу жизни на Земле, все еще происходят. Оценить древнюю и неисчезающую угрозу, исходящую от космических агрессоров, можно, взглянув на полную Луну. Огромные равнины из лавы, из которых получилось «лицо» на поверхности Луны, являются результатами громадных внешних воздействий около 4 миллиардов лет назад: тогда как раз завершилась эпоха бомбардирования. В то же время кратер Тихо шириной 55 миль появился вследствие менее значительного по силе, но все еще очень значительного по сути своей события, произошедшего вскоре после того, как с лица Земли пропали динозавры.

Мы не знаем, существовала ли жизнь 4 миллиарда лет назад, стойко преодолевая бомбардировку, или же зародилась только по окончании тех смутных времен, когда наступило относительное затишье. Но и в том и в другом случае резонно будет признать, что падающие на Землю объекты могли принести с собой семена жизни. Если жизнь возникала и исчезала раз за разом, пока с небес сыпался смертельный дождь из бульжников, то процессы ее становления должны быть весьма жизнестойкими и мы можем обоснованно предполагать, что те же процессы могут протекать вновь и вновь и в других мирах, подобных нашему. Если же жизнь на Земле возникла лишь однажды — сама по себе или в результате космического оплодотворения, — то само это возникновение вполне можно рассматривать как невероятно удачное стечение обстоятельств.

Так или иначе, ключевой вопрос о том, как возникла жизнь на Земле и сколько раз это произошло, остается без уверенного ответа, хотя разговоры и размышления об этом уже давно обрели свою собственную долгую и местами удивительную историю. Великая награда ждет того, кто сможет разрешить эту загадку. От Адамова ребра до монстра доктора Франкенштейна, человек всегда отвечал на этот вопрос, ссылаясь на таинственную *élan vital* — силу жизни, которая превращает неодушевленное вещество в живой организм.

Ученые стремятся копать как можно глубже, проводя лабораторные эксперименты и изучая имеющийся у них палеонтологический профиль,

представленный различными окаменелостями, чтобы как можно точнее определить ту границу, что разделяет одушевленное и неодушевленное, и понять, как смогла природа преодолеть эту границу, пока больше напоминающую не узкую канаву, но громадную пропасть. Ранние научные рассуждения о возникновении жизни ссылались на взаимодействие простых молекул, сконцентрированных в водоемах или приливных бассейнах, вследствие чего постепенно образовывались все более сложные молекулы. В 1871 году, через 12 лет после издания замечательной книги Чарльза Дарвина «Происхождение видов», в которой он рассматривал вероятность того, что «все органические существа, когда-либо жившие на Земле, могли произойти от одной первобытной формы»*, Дарвин написал своему приятелю Джозефу Хукеру следующее:

«... Часто говорят, что все условия для первого появления живого организма существуют сейчас и что они могли существовать всегда. Но если бы сейчас (и ах — какое большое “если бы”!) в каком-либо теплом водоеме, содержащем все необходимые соли аммония и фосфора и доступном для воздействия света, тепла, электричества и т. п., химически образовался белок, способный к дальнейшим все более сложным превращениям, то в наши дни такое вещество было бы незамедлительно поглощено, а ведь такое не могло случиться тогда, иначе жизнь так никогда и не сформировалась бы».

Другими словами, в те времена, когда Земля созрела для создания жизни, базовые соединения, необходимые для обмена веществ, могли существовать в избытке, и при этом не было ничего, что могло бы съесть их. (И, как мы уже отмечали, кислорода, который мог бы соединиться с ними и испортить их потенциальные питательные свойства, тоже еще не было.)

С научной точки зрения ничто не может быть успешнее экспериментов, которые можно сравнить с реальностью. В 1953 году, стремясь протестировать идею Дарвина о зарождении жизни в водоемах и приливных

* Шестое английское издание (1872) в переводе К. А. Тимирязева под общей редакцией академика Н. И. Вавилова.

бассейнах, аспирант Чикагского университета Стэнли Миллер и его руководитель, нобелевский лауреат Гарольд Юри, провели известный эксперимент, в рамках которого в сильно упрощенном и гипотетическом водоеме воссоздали условия ранней Земли. Миллер и Юри частично заполнили лабораторную колбу водой и добавили туда газовую смесь из водного пара, водорода, аммиака и метана. Они нагрели флягу снизу, выпарив некоторое количество ее содержимого, и отправили его по стеклянной трубке в другую колбу, где электрический разряд имитировал молнию. После этого смесь возвращалась в первую колбу, завершая этим цикл событий, которые затем повторялись в течение нескольких дней (нет, не нескольких тысяч лет, конечно). По прошествии этого скромного промежутка времени Миллер и Юри обнаружили, что вода в нижней части колбы содержит в себе вязкий «органический продукт» — химическое соединение из множества сложных молекул, включая различные виды сахара и две простейшие аминокислоты: аланин и гуанин. Молекулы белка состоят из 22 аминокислот, соединенных друг с другом в форме различных структур, а эксперимент Миллера — Юри за удивительно короткий промежуток времени провел нас от ряда простейших молекул до формирования первых аминокислот, молекулы которых являются строительными кирпичиками живых организмов. В результате эксперимента Миллера — Юри были также получены в меру сложные молекулы, которые называются нуклеотидами: они являются ключевым структурным элементом ДНК — той огромной белковой молекулы, которая несет в себе указания по формированию новых копий живого организма. И все же до возникновения жизни в искусственно созданных в лаборатории условиях нам еще очень и очень далеко. Огромная и очень важная пропасть, которую пока не смогли преодолеть ни один человеческий эксперимент или человеческое изобретение, разделяет образование аминокислот — пусть даже их было бы все 20, чего добиться нам, кстати, не удастся, — и возникновение жизни. Молекулы аминокислот были также обнаружены в самых древних и наименее подвергнувшихся изменениям метеоритах, которые

предположительно оставались в практически первозданной форме на протяжении всех 4,6 миллиарда лет истории Солнечной системы. Это поддерживает общее заключение о том, что аминокислоты могут образовываться в результате естественных процессов в самых разных условиях. По сути, результаты эксперимента не являются шокирующими и даже в целом удивительными: более простые молекулы, которые входят в состав живых организмов, образуются в ряде ситуаций довольно быстро, но о жизни как таковой этого сказать нельзя. Ключевой вопрос все еще оставлен без ответа: как группа молекул, пусть даже идеально подготовленная для зарождения жизни, провоцирует в итоге возникновение этой самой жизни?

Поскольку у Земли в ее детстве было не просто много недель, но много миллионов лет на создание жизни, эксперимент Миллера — Юри в целом поддержал модель возникновения жизни в водоемах. Сегодня же большинство ученых, озабоченных обретением знаний о том, как зародилась жизнь, считают данный эксперимент слишком ограниченным, чтобы опираться на его результаты.

Такое изменение отношения к эксперименту вызвано не сомнительностью его результатов, скорее осознанием потенциальных изъянов в гипотезе, на которую он ссылается. Чтобы понять, в чем заключается этот изъян, нам следует обратиться к современной биологии, которая сможет рассказать нам кое-что о древнейших формах земной жизни.

Сегодня эволюционная биология опирается на тщательное изучение сходств и различий между живыми существами с точки зрения их молекул ДНК и РНК, в которых содержится информация о том, как этому организму функционировать и размножаться. Внимательное сравнение этих относительно огромных и сложных молекул позволило биологам, среди которых великим первопроходцем был Карл Везе, создать эволюционное древо жизни, которое демонстрирует так называемые эволюционные расстояния между различными формами жизни, определенные на основании того, насколько различаются молекулы ДНК и РНК этих форм жизни.

Это древо жизни насчитывает три ветви-домена: археи, бактерии и эукариоты — они заменили собой биологические царства, которые ранее считались фундаментальными в классификации жизни на Земле. В класс эукариотов входят все организмы, индивидуальные клетки которых отличаются четко определенным центром, или ядром, внутри которого содержится генетический материал, управляющий размножением этих клеток. Это свойство делает эукариотов сложнее двух других классов. Действительно, все формы жизни, знакомые обывателю, относятся к этой ветви древа. Мы можем с уверенностью утверждать, что эукариоты появились позднее, чем археи или бактерии. Так как бактерии расположены дальше от истоков древа жизни (то есть от его корней), чем археи (по той простой причине, что их ДНК и РНК претерпели более явные изменения), археи, как и подразумевает их название, почти наверняка представляют собой наиболее древнюю — *архаичную* — форму жизни. Вот теперь и сюрприз: в отличие от бактерий и эукариотов, класс архей состоит преимущественно из экстремофилов — организмов, которые любят жить и живут в любви в том, что мы называем экстремальными условиями: температура не ниже точки кипения воды, высокая кислотность и прочие обстоятельства, в которых другие формы жизни погибают. Безусловно, если бы у экстремофилов были свои собственные биологи, они бы считали себя нормальными, а всех тех, кто предпочитает жить при комнатной температуре, — экстремофилами. Современные исследования такого древа жизни предполагают, что жизнь началась с экстремофилов и только позднее эволюционировала до тех форм жизни, которые выигрывают от того, что мы называем нормальными условиями.

В таком случае «небольшому теплему водоему» Дарвина вместе с приливными бассейнами, воссозданными в эксперименте Миллера — Юри, не остается ничего другого, как испариться, пополнив собой водянистый туман отвергнутых гипотез. И никаких вам путешествий пара туда-сюда с постепенным его химическим обогащением. Вместо этого придется искать истоки жизни в тех местах, где из-под земли вы-

рывается невероятно горячая вода — возможно, с множеством различных кислот в своем составе.

За последние несколько десятилетий океанографам удалось обнаружить несколько подобных мест, а также страннейшие формы жизни, которые в них развиваются. В 1977 году два океанографа, испытывающие исследовательский аппарат для глубоководных погружений, обнаружили первые отверстия в дне Тихого океана в полутора милях от его поверхности неподалеку от Галапагосских островов. В районе этих отверстий земная кора напоминает кухонную плиту, создавая высокий уровень давления внутри тяжелого и прочного котла с фиксируемой крышкой и нагревая воду выше ее обычной температуры кипения, но не давая ей выкипеть совсем. Как только крышка частично приподнимается, сжатая и исключительно горячая вода выплескивается из-под земной коры в холодный бассейн океана.

Такая горячая морская вода, вырывающаяся из этих отверстий, содержит в себе растворенные минералы, которые быстро скапливаются и затвердевают, окружая отверстия огромными пористыми каменными трубами — раскаленными внутри и более прохладными по краям, — которые и пребывают в контакте с морской водой. В создавшемся температурном диапазоне обитают бесчисленные формы жизни, никогда не видевшие солнца и ничего не знающие о нагревании за счет солнечного света, хотя для жизни им действительно необходим кислород, растворенный в морской воде. Этот кислород, в свою очередь, получается в результате жизнедеятельности организмов, обитающих ближе к поверхности воды. Эти стойкие создания живут за счет геотермальной энергии, тепло которой включает себя как тепло из остатков энергии образования Земли, так и тепло, выделяющееся при радиоактивном распаде нестабильных изотопов вроде алюминия-26, который занимает миллионы лет, или калия-40, полураспад которого длится несколько миллиардов лет.

Около этих геотермальных отверстий, намного ниже глубины, на которую может проникнуть солнечный свет, океанографы обнаружили

огромных трубчатых червей длиной с человека, прекрасно живущих среди целых колоний бактерий и других существ поменьше. Вместо того чтобы набираться энергии у солнца, как это делают растения, способные на фотосинтез, эти глубинные формы жизни опираются на хемосинтез, в процессе которого энергия создается за счет текущих химических реакций, которые, в свою очередь, зависят от геотермального тепла.

Как работает этот хемосинтез? Горячая вода, вырывающаяся из-под морского дна, наполнена соединениями водорода с серой и водорода с железом. Бактерии, скопившиеся у таких геотермальных источников, соединяют эти молекулы с атомами водорода и кислорода из молекул воды и с атомами углерода и кислорода из молекул углекислого газа, растворенного в воде. В результате этих реакций из углерода, кислорода и водорода образуются более крупные молекулы — углеводы. Таким образом, бактерии, обитающие у источников такой насыщенной минералами горячей воды, ведут себя сродни своим родственникам, что живут ближе к поверхности океана, — ведь те тоже умеют синтезировать углеводы из углерода, кислорода и водорода. Одни микроорганизмы черпают для этого синтеза энергию у солнца, а другие — из химических реакций, происходящих на морском дне. Поблизости от геотермальных источников другие организмы поглощают бактерии, производящие углеводы, потребляя их энергетическое содержимое тем же образом, что и животные, которые едят растения или других животных, в свою очередь, поедающих растения.

Но химические реакции у глубоководных отверстий способны не только производить молекулы углеводов. Атомы железа и серы, которых в молекуле углевода нет, соединяются в свои собственные молекулы, в первую очередь в кристаллы железного колчедана, известного как «золото дураков» или «кошачье золото». Древние греки называли его «огненным камнем» — если хорошенько стукнуть по нему другим камнем, из железного колчедана можно высечь искры. Железный колчедан — самый распространенный минерал с содержанием серы на Земле — мог сыграть важнейшую роль в возникновении жизни на на-

шей планете, провоцируя образование углеводообразных молекул. Данная гипотеза родилась в уме немецкого адвоката, ведущего патентные дела, и по совместительству биолога-любителя Гюнтера Вехтерсхойзера: его профессия вряд ли является противопоказанием против теоретизирования в области биологии, ведь не помешала же Эйнштейну его основная работа заниматься физикой! (Правда, следует отметить, что у Эйнштейна все же был диплом по физике — и хороший диплом, в то время как Вехтерсхойзер был в основном самоучкой в областях биологии и химии.)

В 1994 году Вехтерсхойзер предположил, что поверхности кристаллов железного колчедана, которые образуются естественным образом из атомов железа и серы, выброшенных в воды первозданных океанов из-под земной коры, могли бы стать естественными площадками для скапливания на них молекул с высоким содержанием углерода. Как и те, кто придерживался гипотезы о зарождении жизни в водоемах и приливных бассейнах, Вехтерсхойзер не мог четко продемонстрировать, как был осуществлен переход от молекулярного сырья к полноценным живым организмам. Тем не менее, учитывая его акцент на высокотемпературных условиях зарождения первых форм жизни, он вполне может быть на верном пути — во что лично он верит. Ссылаясь на высокоорганизованную структуру кристаллов железного колчедана, на чьих поверхностях могла гипотетически зародиться первая жизнь, Вехтерсхойзер осаживал критиков своей теории на научных конференциях громким заявлением: «Некоторые говорят, что жизнь — это способ упорядочить хаос, а я говорю — это упорядочение порядка, зарожденного в порядке!» Выдаваемое с характерным немецким оживлением, это заявление имеет определенный резонанс — но лишь время покажет, насколько оно верно.

Так какая же из базовых моделей происхождения жизни с большей вероятностью окажется верной: приливные бассейны на краю океана или разгоряченные источники на его дне? На данный момент ставки на обе модели примерно равны. Эксперты по вопросам зарождения жизни не раз бросали вызов утверждению о том, что самые древние

формы жизни на Земле жили в условиях высоких температур; как-никак древо жизни и размещение на нем разных организмов в разных точках сегодня все еще является объектом обсуждений и сомнений. Вдобавок компьютерные программы, отслеживающие количество химических соединений разного типа, существовавших в древних молекулах РНК (которые, судя по всему, появились в мире раньше молекул ДНК), сообщают: химические соединения, которым благоприятствуют высокие температуры, появились на Земле только после того, как было написано уже несколько страниц истории ее биологической жизни, протекавшей при относительно низких температурах.

Таким образом, результат наших тщательных исследований, как это нередко приключается в науке, не понравится тем, кто жаждет определенности. Хотя мы можем выразить довольно уверенное предположение о том, когда именно на Земле появилась жизнь, мы не знаем, где и как произошло это замечательное событие. Недавно палеобиологи наделили этого ускользающего от них дальнего предка всех форм жизни на Земле именем последнего всеобщего (или универсального) предка*. Обратите внимание, как велико мнение этих ученых о нашей планете: вместо того чтобы ограничиться последним *земным* общим предком, они замахнулись на вселенскую универсальность той жизни, что зародилась на Земле. На данный момент подобрать имя этому предку — совокупности примитивных организмов, обладавших идентичными генами, — не самое большое достижение, пожалуй, на том долгом и трудном пути, что еще предстоит пройти нам, прежде чем мы сможем действительно приоткрыть завесу тайны, окружающую возникновение земной жизни.

От ответа на вопрос о возникновении жизни зависит не только удовлетворение природного любопытства человека. Разные ее истоки означают лишь то, что и здесь, и в других уголках космоса жизнь могла по-разному зародиться, по-разному эволюционировать и по-разному удержаться в мире. Например, земные океаны могут быть самой ста-

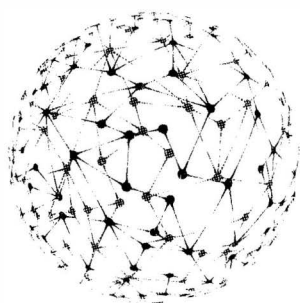
* Англ. Last Universal Common Ancestor, сокр. LUCA.

бильной экосистемой на нашей планете. Если огромный астероид врежется в Землю и уничтожит всю наземную жизнь, все океанические экстремофилы будут и дальше жить-поживать себе, ни о чем не беспокоясь. Возможно, они даже окажутся способными на определенную эволюцию вплоть до новых форм, которые смогут заново заселять Землю каждый раз после катастрофы на ее поверхности. Если бы Солнце таинственным образом куда-то просто исчезло, из-за чего Земля рано или поздно уплыла бы в неведомом направлении навстречу космической неизвестности, об этом вряд ли написали бы в еженедельниках общины экстремофилов: ведь на жизнь у глубоководных геотермальных источников это особенно не повлияло бы. Однако через 5 миллиардов лет Солнце превратится в красного гиганта, который будет постепенно расширяться в размере, заполняя собой внутренние регионы Солнечной системы. И тогда океаны Земли постепенно вскипят и испарятся, да что там — сама Земля частично испарится навсегда! Вот этого точно не смогут не заметить все до единой формы жизни на нашей планете.

Вездесущность экстремофилов на Земле вызывает у нас один важный вопрос: могла ли жизнь существовать в глубине многочисленных планет-бродяг или планетезималей, которые были выброшены за пределы Солнечной системы во время ее образования? Их «геотермальных» запасов энергии и тепла должно было бы хватить на миллиарды лет. Что же с теми бесчисленными планетами, которые были изгнаны из всех остальных звездно-планетных систем, когда-либо родившихся во Вселенной? Возможно ли, чтобы межзвездное пространство было полно жизни — возникшей и эволюционировавшей в глубинах таких беззвездных неприкаянных планет? Прежде чем осознать важность экстремофильных организмов, астрофизики представляли себе «подходящие для обитания» зоны вокруг каждой звезды, и в каждой такой зоне вода или любая другая субстанция могли оставаться в жидком состоянии, позволяя молекулам плавать в ней, взаимодействовать и в конце концов образовывать более сложные молекулы. Но сегодня мы вынуждены отредактировать данную концепцию: перестав быть неким

аккуратным и удобным регионом в окрестностях звезды, получающим удачное количество света, *обитаемая зона* превратилась в регион, который может находиться где угодно, поддерживаемый «в деле» не за счет звездного света, а за счет своих локальных источников тепла, которое нередко исходит от радиоактивных камней. Вполне возможно, что избушка трех медведей, куда забрела усталая девчушка, и не была каким-то особенным местом среди всех этих сказочных вселенных. Есть вероятность, что родной дом каждого из нас — даже соломенная хижина одного из трех поросят — может предложить миску похлебки и удобную кровать, главное, добиться подходящей температуры!

Какая чудесная, полная надежд и пророчеств сказка могла бы из всего этого получиться! Жизнь не просто может потерять статус редкого и ценного явления вселенского значения — она может оказаться явлением столь же распространенным, что и сами планеты. Нам остается всего-то ничего — обнаружить ее.



Глава 16

Поиски жизни в Солнечной системе

Вероятность существования жизни за пределами Земли привела к образованию новых профессиональных областей, в которых пока занято довольно ограниченное количество людей, но которые в будущем могут оказаться очень перспективными. Астробиологи, они же биоастрономы, занимаются вопросами жизни за пределами Земли, какие бы гипотетические формы эта жизнь ни принимала. Сегодня астробиологи пока могут лишь рассуждать и выдвигать теории об инопланетной жизни или воссоздавать в лабораториях инопланетные условия, в которые они затем помещают земные формы жизни, чтобы проверить, смогут ли они выжить в трудных и непривычных им ситуациях. В искусственно воссозданные инопланетные условия можно поместить и сочетания неодушевленных молекул, пытаюсь разыграть свою версию классического эксперимента Миллера — Юри или навести глянец на исследования Вехтерсхойзера. Это сочетание размышлений и экспериментов привело нас к некоторым общепринятым заключениям, которые, исходя из того, насколько точно они описывают реальную Вселенную, имеют очень большое значение. Сегодня

астробиологи считают, что для существования жизни во Вселенной необходимо следующее:

- 1) источник энергии;
- 2) определенный атом, который допускает существование сложных структур;
- 3) жидкий растворитель, в котором молекулы могут плавать и взаимодействовать друг с другом;
- 4) достаточный промежуток времени, за который жизнь может возникнуть и эволюционировать.

В этом коротком списке пункты 1 и 4 представляют собой довольно низкие барьеры для преодоления первыми формами жизни. Каждая звезда в космосе является источником энергии, и все они, за исключением вопиющего 1 % таких звезд, сияют многие сотни миллионов и даже миллиарды лет подряд. Например, наше Солнце обеспечивает Землю бесперебойным запасом тепла и света на протяжении последних 5 миллиардов лет и продолжит делать это еще как минимум столько же. Далее, как мы теперь знаем, жизнь может существовать, прекрасно обходясь и без солнечного света, используя геотермальное тепло и химические реакции в качестве источника желанной энергии. Геотермальная энергия рождается частично за счет радиоактивной природы изотопов таких элементов, как калий, тор и уран, распад которых занимает миллиарды лет, а это уже сравнимо с жизненным циклом среднестатистической солнцеподобной звезды.

Жизнь на планете Земля удовлетворяет пункту 2, говорящему об атоме, способном создавать структуру: у нас есть углерод. Каждый атом углерода может прикрепляться к одному, двум, трем или четырем другим атомам одновременно, что делает его ключевым химическим элементом в структуре всей известной нам жизни. В отличие от углерода атомы того же водорода могут каждый прикрепляться лишь к одному другому атому, а атомы кислорода — максимум к двум. Из-за того что атомы углерода способны за раз соединяться с целой четверкой других атомов, они формируют «хребет» для всех наиболее простых

молекул, из которых состоят живые организмы, а именно белков и сахаров.

Способность углерода создавать сложные молекулы сделала его одним из четырех самых распространенных в мире — и в представленных им формах жизни — элементов наряду с водородом, кислородом и азотом. Мы уже знаем, что, несмотря на то что из четырех самых широко представленных химических элементов земной коры только один — кислород — совпадает с этой четверкой «атомов жизни», вся эта четверка представлена в списке шести самых распространенных химических элементов в мире (куда также входят инертные газы гелий и неон). Данный факт может выступать в поддержку теории о том, что жизнь на Земле началась в звездах или в некоторых объектах, по своему составу напоминающих звезды. В любом случае сам факт, что углерод представляет собой лишь незначительную долю в составе поверхности Земли, но столь важен в формировании структуры любого живого существа, служит совершенно явным доказательством того, сколь важна его роль в обеспечении жизни необходимой ей структурой.

Важен ли углерод для жизни во всей Вселенной? Как насчет кремния, который так часто всплывает в научно-фантастических романах в качестве базового структурного атома для различных экзотических форм внеземной жизни? Как и в случае с углеродом, атомы кремния могут одновременно соединяться с четырьмя другими атомами, однако природа образуемых кремнием связей такова, что его популярность в роли кандидата в создатели структурных основ для образования более сложных молекул несравнима с углеродом. Углерод формирует с другими атомами довольно слабые связи, поэтому, к примеру, пары атомов углерод-кислород, углерод-водород и углерод-углерод разбить довольно просто. Это позволяет основанным на углероде молекулам формировать все новые типы молекул, сталкиваясь и взаимодействуя друг с другом, без чего невозможно представить себе активный обмен веществ, обязательный для любой формы жизни. В отличие от углерода, кремний формирует очень прочные связи со многими другими атомами, особенно с кислородом. Земная кора состоит преимущественно

из силикатных — кремниевых — пород, образовавшихся в основном из атомов кремния и кислорода, соединенных друг с другом достаточно крепко для того, чтобы просуществовать незыблемо на протяжении миллионов лет. Эти соединения будет довольно трудно заставить участвовать в образовании новых типов молекул.

Различия в механике формирования углеродом и кремнием химических связей с другими атомами подсказывает нам, что мы с гораздо большей вероятностью обнаружим внеземные формы жизни, в основе которых будут лежать углеродные, а не кремниевые молекулярные хребты. Помимо этой парочки, остается лишь несколько довольно экзотических типов атомов, распространенных во Вселенной во много раз меньше, чем углерод и кремний, которые могли бы одновременно соединяться сразу с четырьмя другими атомами. Исключительно из статистических соображений вероятность того, что где-то существуют формы жизни, образованной с помощью, скажем, германия — таким же образом, как земная жизнь образовалась на основе углерода, — кажется весьма и весьма незначительной.

Пункт 3 говорит о том, что всем формам жизни необходим жидкий растворитель, в котором молекулы вещества могли бы плавать и взаимодействовать между собой. Здесь слово «растворитель» подчеркивает тот факт, что подобная ситуация, в которой молекулы могли бы «плавать и взаимодействовать», возможна именно в «растворе». Обычная жидкость, как бы сильно она ни была насыщена молекулами, никак не ограничивает подвижность этих самых молекул в своем составе. С другой стороны, в твердых веществах атомы и молекулы имеют свое четко определенное место. Они все еще могут сталкиваться и взаимодействовать, но это происходит в разы медленнее, чем в составе жидкостей. Если взять газ, то там молекулы перемещаются еще более свободно, чем в жидкостях, и могут сталкиваться друг с другом с еще меньшими препятствиями; но их столкновения и взаимодействия происходят по факту в разы реже, чем в жидкостях, потому что плотность газа, как правило, минимум в 1000 раз ниже плотности жидкости. «Если бы только нам хватало мира и времени», как однажды сказал

Эндрю Марвел, мы, может, и обнаружили бы истоки жизни в газах, а не в жидкостях. В реальном космосе, которому всего-то 14 миллиардов лет, астробиологи не рассчитывают когда-нибудь обнаружить жизнь, возникшую внутри газовой среды. Нет — они ожидают, что вся внеземная жизнь, как и земная, полагалась, полагается и будет полагаться на резервуары жидкости, внутри которой с помощью сложных химических процессов разные типы молекул сталкиваются друг с другом и образуют все больше новых химических соединений.

Обязательно ли этой жидкости быть водой? Мы живем на весьма водянистой планете, почти три четверти поверхности которой покрывают океаны. Это делает нас уникальным миром Солнечной системы, а также, вполне возможно, довольно нестандартной планетой с точки зрения всей галактики Млечный Путь. Вода, которая состоит из молекул, составленных из двух самых распространенных химических элементов во Вселенной, имеется как минимум в скромных количествах внутри комет, метеороидов и в большинстве планет Солнца и их лун. С другой стороны, в своем жидком состоянии вода существует лишь на Земле и под ледяной поверхностью крупной луны Юпитера Европы, чьи мировые приповерхностные океаны воды до сих пор являются лишь предположением, а не заверенным фактом. Могут ли другие химические соединения образовать собой более удачный тип жидкости для заполнения ею морей или водоемов поменьше, чтобы затем внутри них молекулы могли поработать над созданием первых форм жизни? Три самых распространенных во Вселенной химических соединения, способных оставаться в жидкой форме при довольно большом диапазоне температур, — это аммиак, этан и метиловый спирт. Каждая молекула аммиака состоит из трех атомов водорода и одного атома азота; молекула этана — из двух атомов водорода и шести атомов углерода; а молекула метилового спирта — из четырех атомов водорода, одного атома углерода и одного атома кислорода. Мы вполне можем включить в список возможных вариантов форм инопланетной жизни существа, которые применяют аммиак, этан или метиловый спирт так же, как жизнь на Земле использует воду — в качестве основной жидкости, внутри

которой, предположительно, когда-то возникла жизнь и которая представляет собой среду для реакций и контактов различных молекул. Им остается лишь плавать в ней и образовывать новые молекулы. Четыре планеты-гиганта Солнечной системы обладают огромными запасами аммиака, а также скромными запасами этана и метилового спирта; а Титан, одна из крупнейших лун Сатурна, вполне может содержать огромные озера жидкого этана на своей жесткой поверхности.

Остановив свой выбор на том или ином конкретном типе молекулы в качестве основы для базовой жидкости, без которой невозможна жизнь, мы снова оказываемся перед очередным условием для ее существования: такое жидкое вещество должно оставаться жидким всегда. Мы не предполагаем, что жизнь возникла в вечных льдах Антарктики или в насыщенных водяным паром облаках, потому что нам нужна жидкость, в которой будут активно взаимодействовать молекулы. В условиях атмосферного давления, характерного для поверхности Земли, вода остается жидкой в рамках температурного диапазона от 0 до 100 градусов по шкале Цельсия (это от 32 до 212 градусов по шкале Фаренгейта). Все три альтернативных типа растворителей остаются в жидком состоянии в рамках существенно меньшего температурного диапазона, чем у воды. Так, аммиак замерзает при температуре в 78 градусов по шкале Цельсия и испаряется при 33 градусах. Это не позволяет ему стать главной жидкостью и «водой жизни» на Земле, но в каком-то другом мире, где всегда в среднем на 75 градусов холоднее, чем в нашем, вода как раз совершенно не годилась бы в растворители жизни — а вот аммиак был бы настоящей находкой.

Важная отличительная особенность воды заключается не в том, что ее можно смело возвести в ранг «универсальных растворителей мира», о чем нам всем рассказывали на уроках химии, и не в том, что она остается жидкой в столь широком температурном диапазоне. Самое удивительное свойство воды — это тот факт, что в то время, как большинство веществ, включая воду, сжимается и становится плотнее по мере охлаждения, вода, стоит температуре охлаждения упасть ниже 4 градусов по шкале Цельсия, начинает расширяться, становясь все менее

плотной по мере приближения температуры к нулю. Затем, стоит воде замерзнуть при нуле градусов по шкале Цельсия, она становится еще менее плотным веществом, чем жидкая вода. Лед не тонет, что само по себе отличная новость для рыб. Зимой, когда температура на улице падает ниже отметки замерзания воды, четырехградусная (по шкале Цельсия) вода уходит на дно водоема и там остается, потому что она плотнее холодной воды, что остается плавать у поверхности. Затем на этой поверхности водоема начинает формироваться слой льда, который заодно служит природным герметиком для нижнего слоя воды, не давая ее температуре падать еще ниже.

Без этой удивительной инверсии плотности, которая происходит ниже четырехградусной отметки температуры, пруды и озера замерзали бы зимой снизу вверх, а не сверху вниз, как мы привыкли. Как только температура за окном падала бы ниже отметки замерзания воды, верхняя часть поверхности пруда начинала бы остывать и опускаться вниз, в то время как более теплая вода постепенно поднималась бы вверх — к его поверхности. Эта вынужденная конвекция быстро снижала бы температуру воды до нуля градусов, как только поверхность пруда начнет замерзать. Тогда более плотный твердый лед опускался бы на дно. Если весь целиком заданный объем воды и не замерзал бы полностью снизу доверху за один зимний сезон, на дне такого водоема постепенно копился бы лед, благодаря чему полное замерзание просто растянулось бы на несколько лет и было бы достигнуто постепенно. В таком мире подледная рыбалка была бы еще менее захватывающим и результативным видом спорта, чем в нашем, ведь все рыбы как одна были бы мертвы — свежемороженны. Любителям подледного лова пришлось бы либо размещаться на слое льда, который уходил бы под все еще не замерзшую воду (из-за чего он превратился бы в надледный лов), либо просто сидеть на глыбе полностью замерзшей воды. Нам больше не понадобились бы ледоколы для того, чтобы пробираться по замерзшей Арктике: либо весь Северный Ледовитый океан замерз бы, превратившись в удобную равнину, либо все его замерзшие части опустились бы на дно и мы могли бы плыть на кораблях и баржах, куда нам

вздумается, без каких-либо препятствий. По поверхностям замерзших озер и прудов можно было бы кататься на коньках, не боясь провалиться в воду. В этом альтернативном мире айсберги и прочие ледяные глыбы тонули бы, и в апреле 1912 года «Титаник» счастливо добрался бы до порта города Нью-Йорк, нетонущий и непотопляемый, как и гласила его рекламная брошюра.

С другой стороны, тут может играть свою роль наша среднеширотная предвзятость. Большой части океанов Земли не угрожает вероятность замерзания что сверху донизу, что снизу доверху. Если бы лед тонул, Северный Ледовитый океан мог бы окончательно затвердеть; то же самое могло бы произойти с Великими озерами и Балтийским морем. Это сделало бы Бразилию и Индию более мощными мировыми державами за счет утраты инфраструктуры Европой и США, но жизни на Земле это никак не помешало бы развиваться и процветать.

Давайте мы с вами пока все же примем гипотезу, что в борьбе за звание «дарящей жизнь» вода обладает столь явными преимуществами над своими основными соперниками — аммиаком и метиловым спиртом, — что большинство внеземных форм жизни, если не все до единой, должны полагаться на тот же растворитель, что и жизнь земная. Вооружившись этим предположением и не забывая об изобилии имеющегося у нас сырья для создания жизни, о преобладании атомов углерода и о том огромном количестве времени, которое было у жизни для того, чтобы зародиться и пройти многочисленные стадии преобразования, давайте побываем в гостях у некоторых своих соседей и зададим себе немного другой вопрос взамен уже надоевшего «Где есть жизнь?», а именно: «Где есть вода?»

Если бы вам пришлось судить по внешнему облику некоторых весьма сухих и недружелюбных регионов нашей Солнечной системы, вы легко могли бы прийти к заключению, что вода, сколь много бы ее ни было на Земле, является довольно редким товаром в лавке общегалактических ценностей. Но из всех молекул, которые в принципе можно образовать из всего лишь трех атомов, вода является самым распространенным веществом, лидируя с большим отрывом: это связано

с тем, что два ингредиента воды — водород и кислород — занимают первую и третью строки списка самых распространенных химических элементов в мире соответственно. Получается, что вместо того, чтобы задаваться вопросом, откуда взялась вода в одних объектах, разумнее будет спросить, почему бывают такие, в которых этой простой молекулы нет вообще.

Откуда на Земле целые океаны воды? Почти первозданный кратерный рельеф Луны сообщает нам, что космические объекты таранили ее на протяжении всей истории. Мы имеем все основания полагать, что и Земля подверглась аналогичному множеству столкновений. Действительно — более крупный размер Земли и, как следствие, ее более значительная гравитация означают, что нас должно было ударять гораздо чаще и гораздо большими объектами, чем Луну. Так было с самого ее рождения и до сегодняшних дней. Как бы там ни было, Земля не выскочила в один прекрасный момент из некой межзвездной пустоты, вся такая круглая и готовая играть свою роль в космическом театре. Вместо этого наша планета понемногу формировалась и росла внутри газового облака, из которого также образовались Солнце и другие планеты нашей системы. В рамках этих процессов Земля увеличивалась в размере, приращивая к себе огромные количества малых твердых частиц, а затем и за счет непрерывных ударов богатых минералами астероидов и содержащих в себе немало воды комет. Что значит «непрерывных»? Ранняя частота встреч с кометами должна была быть достаточно высокой для того, чтобы обеспечить нас всех той водой, что сегодня составляет земные океаны. Неопределенность и противоречия все еще являются неотъемлемой частью этой гипотезы. В воде, обнаруженной в комете Галлея, содержится в разы больше дейтерия, чем в земной воде: это изотоп водорода, который отличается от самого водорода на один дополнительный нейтрон в своем ядре. Если океаны Земли прибыли к нам на борту комет, тогда те, что сталкивались с нашей планетой вскоре после формирования Солнечной системы, по химическому составу должны были отличаться от комет, с которыми мы имеем дело сегодня, или как минимум отличаться от того класса комет, к которым принадлежит комета Галлея.

Так или иначе, когда мы учитываем не только кометный вклад, но и тот водяной пар, что вырывается из жерл вулканов во время их извержений, у нас на руках оказывается множество вариантов, с помощью любого из которых Земля могла запастись водой, покрывающей сегодня бóльшую часть ее поверхности.

Если вы хотите отдохнуть на безводном и безвоздушном курорте, вам нет смысла искать его по всей Солнечной системе — достаточно нашей земной Луны. Околонулевое атмосферное давление Луны в сочетании с ее двухнедельным «световым днем», в течение которого температура у ее поверхности достигает 200 градусов по шкале Фаренгейта, быстренько испарит любую воду, что могла бы там оказаться. Во время двухнедельной «ночи» на Луне температура на ней падает до 250 градусов ниже нуля, чего достаточно, чтобы заморозить практически что угодно. Астронавты миссии «Аполлон», которым довелось побывать на Луне, были вынуждены взять с собой столько воды и воздуха (и кондиционеров для воздуха), чтобы их хватило на путешествие в оба конца и на пребывание на самой Луне.

Кажется довольно странным, что на Земле накопилось столько воды, в то время как столь близко расположенная к ней Луна не получила ее совсем. Один из вариантов развития событий — как минимум частично правдивый — заключается в том, что вода в свое время гораздо быстрее испарилась с поверхности Луны, чем Земли, из-за ее существенно меньшей силы притяжения. Другой вариант предполагает, что в будущем полеты на Луну смогут-таки обходиться без того, чтобы каждый раз привозить с собой воду или ее производные. Наблюдения лунного орбитального космического аппарата «Клементина», оснащенного инструментами для обнаружения нейтронов, образующихся в результате столкновения быстро движущихся межзвездных частиц с атомами водорода, поддерживают уже давно существующие догадки о том, что под кратерами у Северного и Южного полюсов Луны могут храниться большие запасы льда — глубоко замерзшей воды. Если межпланетный мусор с определенной периодичностью падает на Луну в течение года, то среди всевозможных падающих на нее объектов долж-

ны хотя бы изредка появляться и кометы, несущие на борту воду. Насколько большими могут быть эти кометы? В Солнечной системе летает немало комет, которые, растаяв, окажутся лужей размером с озеро Эри.

Мы не можем рассчитывать на то, что свеженанесенное на поверхность Луны озеро выживет в условиях многочисленных жарких лунных дней по 200 градусов каждый. Однако те кометы, что попали бы напрямиком на дно одного из глубоких кратеров у полюсов Луны (или проделали бы еще один такой кратер сами), остались бы там, на дне, в темноте и прохладе: глубокие кратеры у Северного и Южного полюсов Луны — это единственные места на нашем спутнике, где «не светит Солнце». (Если вы думали, что у Луны существует вечно темная сторона, вы были введены в серьезное заблуждение самыми разными источниками, в том числе, возможно, альбомом группы Pink Floyd 1973 года *Dark Side of the Moon**.) Как это хорошо известно изголодавшимся по солнечному свету обитателям Арктики и Антарктики, Солнце в этих регионах никогда не поднимается слишком высоко над горизонтом в какое бы то ни было время суток или время года. Теперь представьте себе, что вы живете на дне кратера, чьи края вздымаются выше, чем самый высокий уровень над линией горизонта, какого способно достигнуть Солнце. Воздуха, чтобы рассеять солнечный свет среди теней, на Луне нет, так что вам пришлось бы жить в вечной тьме.

Но даже в холодной тьме лед понемногу испаряется. Обратите внимание на кубики льда в своем морозильнике, вернувшись домой после долгих каникул: они будут заметно меньше, чем когда вы только уезжали отдыхать. Однако, если добросовестно смешать лед с твердыми частицами (что и происходит с ним в составе кометы), он может существовать на дне полярных лунных кратеров на протяжении сотен тысяч и миллионов лет. Любой аванпост, что мы когда-нибудь построим на Луне, сможет немало выиграть от расположения поблизости от одного

* *Dark Side of the Moon* переводится с англ. как «Темная сторона Луны».

из таких «озер». Кроме очевидных преимуществ наличия под рукой льда, который можно растапливать, фильтровать и затем пить, мы могли бы также извлечь пользу из разделения молекул этой лунной воды на атомы водорода и кислорода. Мы могли бы использовать водород с добавлением небольшой толики кислорода в качестве активного ингредиента для ракетного топлива, пустив весь остальной кислород на дыхательные нужды. Во время перерывов между космическими заданиями и миссиями мы могли бы кататься на коньках.

Хотя Венера обладает примерно теми же размером и массой, что и Земля, ряд определенных характеристик выделяет ее среди других планет Солнечной системы: Венера также обладает широкой, плотной атмосферой из углекислого газа, отличающейся высокими отражающими (рассеивающими свет) свойствами; давление этой атмосферы превышает давление атмосферы Земли в сотню раз. За исключением живущих на глубоком морском дне земных существ, испытывающих сопоставимое давление, любая форма жизни родом с Земли на Венере была бы раздавлена насмерть. Но еще более удивительное свойство Венеры заключается в ее относительно молодых кратерах, равномерно распределенных по всей поверхности. Звучит безобидно, но означает это на самом деле то, что какая-то недавняя катастрофа планетного масштаба запустила процесс образования этих кратеров — а значит, и нашу способность датировать рельеф самой планеты по ее кратерам, — заодно снося все свидетельства предыдущих происшествий. Это могло произойти и вследствие какого-то глобального погодного явления, вызывающего эрозию вещества, например огромного потопа планетного масштаба. Тут могла сработать и какая-то всепланетная геологическая активность («гео», конечно, не очень подходит, но уж очень этот термин понятный!) — те же потоки лавы могли превратить всю поверхность Венеры в мечту американского автолюбителя: в сплошную заасфальтированную поверхность. Что бы ни запустило процесс образования кратеров, оно закончилось резко и внезапно. Но не забываем об интересующем нас вопросе — о воде на Венере. Если там когда-то произошел всепланетный потоп, то куда подевалась вся эта

вода? Ушла под поверхность планеты? Испарилась в ее атмосферу? А может, этот потоп был не «водным», может, это была какая-то другая жидкость? Да если и не было никакого потопа — Венера же должна была получить примерно столько же воды, сколько и ее сестрица Земля. Так где же она?..

Судя по всему, ответ заключается в том, что Венера растеряла свои водные запасы, разогревшись до слишком высоких температур. Этот вывод можно сделать, изучая ее атмосферу. Хотя молекулы углекислого газа пропускают видимый свет, они с высокой эффективностью удерживают инфракрасное излучение. Соответственно, солнечный свет может проходить сквозь атмосферу Венеры, хотя из-за высокого уровня рассеивания до поверхности он доберется не в полной мере. Солнечный свет нагревает поверхность планеты, которая выделяет инфракрасное излучение, которое затем не может покинуть ее окрестности. Молекулы углекислого газа удерживают инфракрасное излучение, из-за чего нижние слои атмосферы и поверхность планеты нагреваются еще больше. Ученые называют это удержание инфракрасного излучения в атмосфере парниковым эффектом из-за общего сходства с тем, как стеклянные окна пропускают внутрь парников солнечный свет, но не выпускают обратно образующееся внутри инфракрасное излучение. Как Венера со своей атмосферой, Земля тоже создает вокруг себя парниковый эффект, без которого не могут существовать многие формы жизни. Благодаря ему температура нашей планеты примерно на 25 градусов по шкале Фаренгейта выше, чем она была бы в отсутствие атмосферы. Парниковый эффект на нашей планете вызван по большей части объединенным действием молекул воды и углекислого газа. Так как в атмосфере Земли содержится в 10 тысяч раз меньше молекул углекислого газа, чем в атмосфере Венеры, наш парниковый эффект меркнет в сравнении с венерианским. Тем не менее мы продолжаем добавлять в состав своей атмосферы углекислый газ, сжигая ископаемое топливо и тем самым постепенно повышая степень парникового эффекта — словно проводим произвольный глобальный эксперимент, выясняя, насколько вредным может оказаться дополнительное удержание в нашей

атмосфере тепла. На Венере парниковый эффект, вызванный исключительно высоким содержанием в атмосфере планеты молекул углекислого газа, поднимает температуру на сотни градусов, превращая поверхность Венеры в доменную печь. Температура венерианских ландшафтов составляет почти 500 градусов по шкале Цельсия (или 900 по шкале Фаренгейта), что является самой высокой температурой поверхности планеты во всей Солнечной системе.

Как же Венера довела себя до такого печального состояния? У ученых есть удачный термин «неуправляемый парниковый эффект», который описывает, как удерживаемое в атмосфере инфракрасное излучение повышало температуру планеты и провоцировало испарение жидкой воды. Дополнительная вода в составе атмосферы (испарившаяся с поверхности) помогала удерживать инфракрасное излучение еще более эффективно, повышая парниковый эффект. Это, в свою очередь, вызвало еще большее испарение воды и попадание ее в состав атмосферы, усугубляя эффект еще больше. В верхних слоях атмосферы Венеры ультрафиолетовое солнечное излучение расщепляло молекулы воды на атомы водорода и кислорода. Из-за высоких температур атомы водорода сбегали с этого опасного корабля, а более тяжелые атомы кислорода соединялись с другими атомами, и воде образоваться снова было просто не из чего. Время шло, и вся та вода, что когда-то имелась на поверхности Венеры или совсем близко от нее, постепенно была выпечена и выпарена долой из атмосферы планеты и утеряна ею навсегда.

Подобные процессы протекают и на Земле, но гораздо медленнее, потому что температура нашей атмосферы в разы ниже. Наши великие океаны в данный момент составляют большую часть поверхности Земли, хотя вследствие своей глубины они представляют собой лишь одну пятитысячную долю суммарной массы нашей планеты. Но даже эта крошечная доля общей массы означает, что суммарный вес океанов составляет невообразимые 1,5 квинтиллиона тонн, 2 % которых всегда представлены в замороженном виде в любой момент времени. Если на Земле когда-нибудь заработает неуправляемый парниковый эффект сред-

ни венерианскому, наша атмосфера начнет удерживать все более крупные объемы солнечной энергии, повышая температуру воздуха и заставляя океаны, кипящие у поверхности, испаряться в атмосферу. Это будет просто ужасно. Помимо очевидных причин уничтожения земной флоры и фауны, наиболее тяжелой будет смерть из-за того, что насыщенная водяным паром атмосфера Земли станет в три сотни раз более массивной; после этого все еще оставшиеся на тот момент в живых будут раздавлены тем самым воздухом, которым дышат, и запечены в нем.

Наше увлечение планетами, как и неполные знания о них, никак не ограничиваются Венерой. С его длинными и сухими, все еще сохранившимися руслами рек, их поймами, устьями и сетями притоков, а также проложенными этими реками целыми ущельями, Марс когда-то явно был первобытным Эдемом, наполненным подвижной водой. Если есть в Солнечной системе еще хоть одна планета, кроме Земли, которая когда-либо могла похвастаться обильными запасами воды, то это Марс. По неизвестным причинам сегодняшняя поверхность Марса суха, словно найденная в пустыне кость. Тщательное изучение Венеры и Марса, наших братских планет, заставляет нас по-новому взглянуть на Землю и задуматься о том, насколько хрупким может на самом деле оказаться наше водное благоденствие.

В начале XX века замысловатые наблюдения за Марсом, которые предпринял известный американский астроном Персиваль Лоуэлл, навели его на мысль о том, что целые колонии изобретательных марсиан в свое время построили сложную систему каналов с целью перераспределить водные ресурсы, заключенные в полярных ледяных шапках планеты, поближе к более густо заселенным средним широтам. Чтобы объяснить то, что, как ему казалось, он увидел, Лоуэлл представил себе угасающую цивилизацию, чьи запасы воды подходили к концу — как если бы жители города Феникса обнаружили, что река Колорадо все-таки «исчерпаема». В своем подробном, хоть и исполненном заблуждений трактате под названием «Марс и жизнь на нем», опубликованном в 1909 году, Лоуэлл сокрушался по поводу неминуемого конца марсианской цивилизации, которому, как он считал, он стал свидетелем.

Марс действительно, кажется, высох настолько, что его поверхность не способна поддерживать какие-либо формы жизни. Медленно, но верно время расправится с любыми остатками жизни на планете, если оно еще этого не сделало. Когда затухнет последний огонек жизни, все еще теплящийся внутри каких-то организмов, планета продолжит свое путешествие сквозь космос в качестве мертвого мира, на чем ее карьера в области эволюции завершится навсегда.

Кое-что Лоуэлл угадал верно. Если на Марсе и была когда-либо цивилизация (или хоть какая-либо форма жизни), которой для существования требовалась вода на поверхности планеты, она, безусловно, пала жертвой какой-то катастрофы. В неизвестный нам момент марсианской истории — и по неизвестной нам причине — вся вода на его поверхности действительно высохла, приведя ровно к тем последствиям для жизни (но в прошлом, а не в настоящем), которые описал Лоуэлл. Что же произошло с водой, которой когда-то давно на Марсе было так много? Это до сих пор является огромной загадкой для геологов, изучающих планеты Солнечной системы. У Марса есть немного воды в виде льда на обоих его полюсах, который, правда, преимущественно состоит из углекислого газа (то есть это тот самый сухой лед), а также немного воды в форме пара в составе его атмосферы. Хотя полярные шапки представляют собой единственное сосредоточение существенных объемов воды на планете из известных нам, их суммарного объема льда сильно не хватает для того, чтобы объяснить, откуда в глубоком прошлом на поверхности Марса могло быть столько воды.

Если бóльшая часть древней воды Марса не испарилась в мировое пространство, то следующее наиболее вероятное место, где ее следует искать, — под корой планеты, где вода может быть заперта в ловушке приповерхностным слоем вечной мерзлоты Марса. Доказательства? По краям крупных марсианских кратеров часто можно обнаружить сухие комки, оставшиеся от грязевых разливов. Если вечная мерзлота лежит глубоко под землей, потребуется мощное столкновение, чтобы до нее добраться. Энергетический удар, связанный с таким столкно-

вением, растопит этот приповерхностный лед при контакте с поверхностью планеты, провоцируя его выброс вверх — в атмосферу. Кратеры с такими характерными признаками разливов чаще встречаются в холодных полярных широтах — как раз там, где, как будет логично предположить, слой вечной мерзлоты подходит наиболее близко к поверхности Марса. Согласно оптимистичным оценкам состава такого вечномерзлого марсианского льда, таяние приповерхностных слоев Марса способно высвободить достаточно воды, чтобы покрыть всю поверхность планеты ровным слоем океана глубиной 10 метров. Тщательные поиски современной или былой — ископаемой — жизни на Марсе должны обязательно включить в себя исследования множества регионов, расположенных под его поверхностью. И в контексте вопроса о том, есть ли жизнь на Марсе, вырисовывается еще один: есть ли где-нибудь на Марсе сейчас вода в жидком состоянии?

Частично ответить на этот вопрос можно, исходя из знаний по физике. На марсианской поверхности жидкой воды существовать не может, потому что его атмосферное давление, составляющее всего лишь 1 % от уровня атмосферного давления Земли, этого не допустит. Как знают увлеченные альпинисты, вода начинает испаряться при все более низких температурах по мере понижения атмосферного давления. У вершины горы Уитни, где давление воздуха падает до половины своего значения, зафиксированного на уровне моря, вода кипит не при 100, а всего лишь при 75 градусах по шкале Цельсия. На вершине Эвереста, где давление воздуха составляет лишь четверть от его привычной для нас нормы, вода закипает примерно при 50 градусах. Заберитесь вверх еще на 20 миль — туда, где атмосферное давление составляет всего лишь 1 % от привычных условий города вроде Нью-Йорка, — и вода вскипит при температуре в жалкие 5 градусов по шкале Цельсия. Еще чуть выше — и жидкая вода «закипит» при 0 градусов, то есть она испарится сразу, как только вы подвергнете ее прямому контакту с воздухом. Ученые оперируют понятием «сублимация», чтобы описать переход субстанции из твердого в газообразное состояние, минуя

жидкое. Всем нам хорошо знакома сублимация еще с детства: заглянув в холодильник с мороженым, мы видели не только нарядные упаковки ледяного лакомства, но и куски «сухого» льда, который позволял им оставаться чудесно холодными. Сухой лед в разы удобнее обычной замороженной воды для любого мороженщика: он сублимирует из твердого сразу в газообразное состояние — после него не нужно вытирать лужи и подтеки. Старая детективная загадка описывает человека, который повесился, взобравшись на кусок сухого льда и стоя на нем, пока тот постепенно не испарился из-под его ног за счет сублимации. Человек остается висеть в петле, а детективы-любители остаются без единой зацепки о том, как ему это удалось, — пока им не приходит в голову тщательно проанализировать состав атмосферы в комнате.

То, что происходит с углекислым газом у поверхности Земли, происходит и с водой у поверхности Марса. Жидкость там просто не может существовать, хоть температура в теплые деньки марсианского лета поднимается существенно выше 0 градусов по шкале Цельсия. Начинает казаться, что все наши надежды на обнаружение на Марсе жизни потихоньку скрываются под медным тазом, пока мы не вспоминаем о том, что жидкая вода может существовать и под поверхностью планеты. Будущие миссии на Марс, связанные с возможностью обнаружить на Красной планете современную или существовавшую когда-то жизнь, будут направлены в регионы, где, по предварительным оценкам, будет проще всего пробурить поверхность планеты в поисках драгоценных потоков воды — этого эликсира жизни.

Эликсир эликсиром, но вода, между прочим, представляет собой смертельную угрозу для тех, кто не знаком с химией. В 1997 году Натан Зонер, четырнадцатилетний ученик школы Игл-Рок города Айдахо-Фоллз в штате Айдахо, провел известный сегодня среди популяризаторов науки эксперимент в рамках научной ярмарки своего города. Этим экспериментом он стремился привлечь внимание к беспочвенным антитехнологическим настроениям и связанной с ними иррациональной боязни химикатов. Зонер предложил людям подписать петицию, которая требовала либо строгого контроля, либо полного запрета на

использование «дигидрогена монооксида». Он выписал некоторые одиозные свойства этой опасной субстанции без цвета и запаха:

- ◆ это один из главных компонентов кислотных дождей;
- ◆ рано или поздно в этом веществе может раствориться все, с чем оно вступает в контакт;
- ◆ можно умереть, случайно вдохнув это вещество;
- ◆ принимая газообразную форму, оно может причинить серьезные ожоги;
- ◆ это вещество обнаружено в опухолевых тканях неизлечимо больных раком пациентов.

Сорок три из пятидесяти респондентов, к которым обратился Зонер, подписали его петицию; шестеро не смогли принять решение; а один оказался большим поклонником этой молекулы и отказался петицию подписывать. Да-да: 86 % респондентов на полном серьезе выразили согласие на запрет на наличие дигидрогена монооксида (H_2O) в окружающей среде.

Может быть, с водой на Марсе произошло то же самое.

Венера, Земля и Марс представляют собой наглядную сказку о том, какими могут быть последствия чрезмерной одержимости ролью воды (и, возможно, других растворителей) в образовании жизни. Когда астрономы размышляли над тем, где они могли бы найти жидкую воду, они изначально сосредоточили свое внимание на планетах, которые вращаются на расстояниях от своей звезды, позволяющих поддерживать у себя воду в жидком состоянии, то есть не слишком далеко от этой звезды и не слишком близко к ней. Подошло время рассказать вам историю про Машу* и трех медведей.

Давным-давно — примерно 4 миллиарда лет назад — образование Солнечной системы почти подошло к концу. Венера образовалась довольно близко к Солнцу, вследствие чего его мощная энергия испарила

* В англоязычной версии этой сказки девочку зовут Златовласка; однако в данном контексте кажется возможным использовать привычное русскому читателю имя для упрощения восприятия.

всю ту воду, что, возможно, была у нее в запасе. Марс сформировался так далеко, что его водные запасы оказались навсегда замороженными. Лишь одна планета Земля оказалась на расстоянии от Солнца «в самый раз»: оно не позволяло ее запасам воды испариться или замерзнуть, поэтому ее поверхность стала естественным пристанищем для формирования жизни. Тот орбитальный регион на заданном расстоянии от Солнца, в котором вода способна оставаться жидкостью, отныне стал называться обитаемой зоной.

Маша тоже предпочитала, чтобы все было «в самый раз». В одной тарелке в домике трех медведей каша была слишком горячая. В другой — слишком холодная. В третьей — в самый раз, вот ее-то она и съела. Наверху одна кровать была слишком жесткой. Вторая — слишком мягкой. Третья — в самый раз, так что Маша забралась в нее и уснула. Когда три медведя вернулись домой, они обнаружили не только съеденную порцию каши, но и сладко спящую в одной из кроватей Машу. (Не помним, чем точно кончилась эта история, но нас поражает сам факт, что три медведя — плотоядные и занимающие самую верхушку пищевой цепи — просто не слопали Машу вместо каши, особенно не церемонясь.)

Относительная обитаемость Венеры, Земли и Марса заинтриговала бы Машу, хотя фактически история этих планет, безусловно, более замысловата, чем три тарелки с кашей. Четыре миллиарда лет назад кометы с высоким содержанием воды и астероиды с высоким содержанием минералов все еще регулярно атаковали поверхности планет, хотя частота этих неприятностей существенно упала. Во время этой игры в космический бильярд некоторые планеты переместились поближе к внутренним областям Солнечной системы, сдвинувшись со своих орбит, а другие, наоборот, отодвинулись на еще большее расстояние. Среди десятков сформировавшихся планет некоторые обладательницы нестабильных орбит все еще копошились и в конечном итоге врезались в Солнце или Юпитер. Остальные были высланы прочь из Солнечной системы. В итоге у нас осталось лишь несколько планет, занявших

орбиты «в самый раз» для того, чтобы спокойно вращаться по ним на протяжении миллиардов лет.

Земля заняла орбиту в среднем в 93 миллионах миль* от Солнца. На таком расстоянии Земля перехватывает мизерные две миллиардных доли всей энергии, излучаемой Солнцем. Если предположить, что Земля поглощает всю энергию, получаемую от Солнца, то получится, что средняя температура нашей планеты должна составлять около 280 градусов по шкале Кельвина (или 45 по шкале Фаренгейта), что как раз примерно и есть среднее арифметическое между зимними и летними температурами. В условиях нормального атмосферного давления вода замерзает при температуре 273 градуса по шкале Кельвина и кипит при 373 градусах, так что нам очень даже повезло оказаться на таком расстоянии от Солнца, которое позволяет большей части нашей воды оставаться в жидком состоянии.

Стоп — не так быстро! В науке правильный ответ иногда можно получить неправильным путем. На самом деле Земля поглощает лишь около двух третей той солнечной энергии, что до нее добирается. Остальную энергию поверхность Земли (особенно океаны) и атмосферные облака рассеивают обратно в космос. Если соотнести с этим наши расчеты, то получится, что средняя температура Земли должна составить 255 градусов по шкале Кельвина — а это существенно ниже точки замерзания воды. Значит, что-то работает в нашу пользу, повышая среднюю температуру до более приятного и комфортного для жизни уровня.

И снова стоп. Все теории звездной эволюции говорят нам, что 4 миллиарда лет назад, когда жизнь на Земле начинала формироваться из первичного бульона, Солнце сияло лишь в две трети от своей сегодняшней мощности, из-за чего средняя температура на Земле должна была оказаться еще ниже. Может, в далеком прошлом Земля просто располагалась ближе к Солнцу? Однако, когда закончился период основательной бомбардировки, ни один из известных нам механизмов уже

* 93 млн миль = 149,7 млн километров.

не мог сдвинуть какую-либо планету ближе или дальше от звезды в пределах нашей Солнечной системы. Может быть, парниковый эффект земной атмосферы в прошлом был сильнее. Мы точно не знаем. Но мы знаем наверняка, что концепция обитаемых зон — такая, какой ее придумали изначально, — имеет лишь косвенное отношение к тому, может ли жизнь существовать на планете, находящейся в такой зоне. Это стало понятным тогда, когда мы осознали, что не можем объяснить историю жизни на Земле с помощью простой модели обитаемых зон, и, более того, поняли, что вода и другие возможные растворители не всегда зависят от тепла близлежащей звезды, способной поддерживать ее в жидком состоянии.

В нашей Солнечной системе есть два отличных объекта, напоминающих нам о том, что искать жизнь на основе модели обитаемых зон — значит сильно ограничивать себя. Один из них находится вне такой зоны, в которой Солнце позволяет воде пребывать в жидком состоянии, и тем не менее его поверхность представляет собой сплошной океан. Другой, слишком холодный для жидкой воды, намекает на другой жидкий растворитель, ядовитый для нас, но гипотетически подходящий для альтернативных форм жизни. В ближайшее время у нас должна появиться возможность как следует изучить оба этих объекта вблизи с помощью роботов-исследователей. А пока давайте просто подытожим, что именно мы знаем о Европе и Титане.

Поверхность луны Юпитера Европы, по размеру примерно соответствующей нашей Луне, испещрена пересекающимися трещинами, рисунок которых меняется каждые несколько недель или месяцев. Для экспертов в области геологии и знатоков планет подобное поведение означает, что поверхность Европы почти целиком состоит из замороженной воды — словно огромная антарктическая льдина покрывает собой целый мир. Постоянные изменения во внешнем облике этой ледяной поверхности приводят нас к удивительному заключению: этот лед, судя по всему, лежит на поверхности огромного всемирного океана. Только ссылаясь на жидкость, по глади которой перемещаются сегменты этой ледяной поверхности, могут ученые удовлетворительно

объяснить увиденное в первую очередь самим себе — кстати, увиденное благодаря выдающемуся успеху миссий космических кораблей «Галилей» и «Вояджер». Так как изменения рисунка поверхности Европы происходят повсеместно, нам остается лишь предположить, что под ней движется целый океан какой-то жидкости.

Что это за жидкость и почему она не замерзает? Ученые, изучающие планеты, пришли к двум дополнительным и довольно уверенным заключениям: эта жидкость — вода и она не утрачивает своего жидкого состояния благодаря приливному воздействию планеты-гиганта Юпитера. Сам факт, что молекулы воды встречаются в природе гораздо чаще, чем молекулы аммиака, этана или метилового спирта, делает ее наиболее вероятным веществом из всех, что могут скрываться под поверхностью Европы; а существование на поверхности этой луны замерзшей воды лишь подсказывает, что где-то рядом с ней должна быть и жидкая вода. Но как может эта вода оставаться жидкой, если даже с учетом солнечного тепла температуры в окрестностях Юпитера не превышают 120 градусов по шкале Кельвина (а это минус 150 градусов по шкале Цельсия)? Внутренние регионы Европы остаются достаточно теплыми, потому что приливные силы Юпитера и двух других крупных близлежащих лун — Ио и Ганимеда — бесконечно тянут туда-сюда каменные недра Европы, пока та поворачивается то одним, то другим боком к своим соседям. В любой момент те стороны Ио и Европы, что смотрят на Юпитер, ощущают на себе более мощную силу притяжения, чем стороны, смотрящие в другом направлении. Разница в испытываемой ими гравитации чуть вытягивает твердые тела лун в направлении той стороны, что смотрит на Юпитер. Но так как по мере прохождения своих орбит луны поворачиваются к Юпитеру разными своими сторонами, приливный эффект Юпитера — разница в степени гравитации, которая воздействует на ближнюю и дальнюю стороны луны, — также изменяется, в результате чего в их и так искаженных телах рождается постоянное пульсирование. Из-за него-то внутренности лун и нагреваются. Словно мячик для сквоша или тенниса, который постоянно деформируется под ударами ракетки, любая система, постоянно

испытывающая структурный стресс, подвержена росту своей внутренней температуры.

Будучи на расстоянии от Солнца, которое вроде бы гарантирует ей замерзший на века мир изо льда, Ио тем не менее получает первый приз как самая геологически активная территория в Солнечной системе: у нее в арсенале есть и вспучивающиеся вулканы, и разломы коры, и тектонические движения плит. Некоторые сопоставляют сегодняшнюю Ио с ранней Землей, когда наша планета все еще была невероятно горячей, не успев остыть после своего только что завершившегося образования. Внутри Ио температура достигает уровня, при котором вулканы бесконечно выбрасывают неприятно пахнущие молекулы серы и соды на много миль прочь от поверхности этого спутника Юпитера. Собственно, Ио слишком горячая для того, чтобы на ней могла сохраниться жидкая вода, но вот Европа, которая деформируется под воздействием приливных сил менее значительно, чем Ио, потому что находится дальше от Юпитера, нагревается не так сильно — хотя все еще весьма серьезно. Вдобавок к этому всеохватный слой льда на поверхности Европы, словно крышка, давит на расположенную под ним воду, позволяя ей существовать в таком состоянии миллиарды лет не только не испаряясь, но и не замерзая. Насколько мы можем судить, Европа с самого начала сформировалась с этой водой и накрывающим ее льдом на поверхности коры и смогла сохранить этот океан на грани между жидким и замерзшим состоянием на протяжении 4,5 миллиарда лет космической истории.

Соответственно, астробиологи рассматривают мировой океан Европы как первоосновную цель для исследований. Никто не знает толщины его ледяной корки, и она может составлять как несколько метров, так и полмили и даже больше. Жизнь в земных океанах так плодovита, что попытаться приравнять (пусть даже в теории) Европу к Земле в этом плане очень трудно, поэтому Европа остается самым дразнящим объектом в Солнечной системе для любого охотника за внеземной жизнью. Только представьте себе подледную рыбалку на льдинах Европы! Инженеры и ученые Лаборатории реактивных дви-

гателей в Калифорнии уже начали разрабатывать модель космического исследовательского зонда, который приземлится на поверхность Европы, найдет (или вырежет) подходящее отверстие в ее ледяной корке и окунет в нее погружную камеру, которая подсмотрит за жизнью тех примитивных обитателей, что плавают или ползают под ней.

Слово «примитивный» более или менее соответствует нашим ожиданиям от этого эксперимента, потому что в распоряжении любых возможных форм жизни Европы есть совсем мало энергии. Тем не менее обнаружение огромного количества организмов, живущих на глубине мили и более под базальтовым слоем штата Вашингтон в основном за счет геотермального тепла, позволяет предположить, что когда-нибудь мы доберемся и до глубин океанов Европы, где обнаружим живые организмы ничуть не хуже тех, что обитают на Земле. Итак, у нас снова вопрос: как мы назовем этих существ — европцами или европейцами?

Марс и Европа — кандидаты номер один и два в контексте поиска внеземной жизни в нашей Солнечной системе. Следующий актуальный сигнал «Обыщите меня!» исходит от объекта, расположенного в два раза дальше от Солнца, чем Юпитер и его луны. Вокруг Сатурна вращается одна гигантская луна — Титан, которая разделяет пальму первенства с лунной-чемпионом Юпитера Ганимедом как самая крупная луна в Солнечной системе. Будучи в два раза больше нашей родной Луны, Титан обладает атмосферой довольно большой толщины, чего нельзя сказать ни об одной другой луне. (Да и о планете Меркурий этого сказать тоже нельзя — размером лишь чуть больше Титана, она расположена так близко к Солнцу, что его тепло испаряет любые образующиеся в ее окрестностях газы.) В отличие от атмосфер Марса и Венеры атмосфера Титана, толщиной своей превышающая атмосферу Марса во много десятков раз, состоит преимущественно из молекул азота, как и земная. Внутри этого прозрачного азотного газа парят бесчисленные аэрозольные частицы — довольно густой смог Титана, который перманентно скрывает от нас поверхность этой луны. В результате научному миру представилась возможность отлично провести

время, в очередной раз «сходив в обход». Мы измерили температуру этой луны, исследовав отраженные от ее поверхности радиоволны (которые проникают сквозь атмосферные газы и смог). Температура поверхности Титана составила примерно 94 градуса по шкале Кельвина (–179 градусов по шкале Цельсия), что уж больно холодно для того, чтобы там могла существовать жидкая вода, но вполне подходит для жидкого этана — соединения углерода и водорода, которое хорошо известно каждому, кто увлекается рафинированием нефтепродуктов. На протяжении вот уже нескольких десятилетий астробиологи воображают себе этановые озера на Титане, полные организмов, которые плавают, едят, встречаются и размножаются.

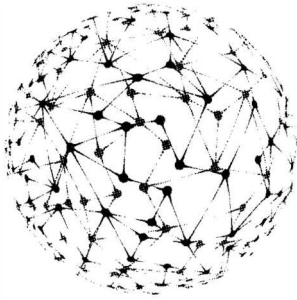
Сейчас, в начале XXI века, исследования наконец-то заменили собой теоретизирование. Миссия станции «Кассини-Гюйгенс» к Сатурну — совместный проект NASA и Европейского космического агентства (ESA) — покинула Землю в октябре 1997 года. Практически семь лет спустя, удачно воспользовавшись гравитационным ускорением от Венеры (дважды), Земли (однажды) и Юпитера (однажды), космическая станция достигла окрестностей Сатурна, где выпустила ракеты, чтобы занять орбиту вокруг этой окольцованной планеты.

Ученые, отвечавшие за разработку миссии, задумали следующее: зонд «Гюйгенс» отсоединяется от орбитальной станции «Кассини» в конце 2004 года, чтобы осуществить посадку на поверхность этой луны, преодолев ее плотные облака с помощью теплового щита, который поможет зонду избежать возгорания, вызванного трением об атмосферу во время быстрого прохождения ее верхних слоев. Вслед за этим зонд выпускает один за другим несколько парашютов, которые позволят ему медленно пересечь нижнюю часть атмосферы Титана. На борту «Гюйгенса» размещены шесть инструментов, отвечающих за измерение температуры, плотности и химического состава атмосферы Титана, а также за отправку изображений на Землю через орбитальную станцию «Кассини». На данный момент мы пребываем в ожидании данных и информации, чтобы узнать хоть немного о той космической тайне, которую сейчас представляет для нас Титан. Вряд ли мы сразу же

наткнемся на жизнь как таковую, даже если она и есть на этой далекой луне, но мы наверняка сможем определить, есть ли на ней подходящие для жизни условия — резервуары и бассейны жидкости, в которых жизнь могла бы зародиться и процветать. В самом крайнем случае мы можем обнаружить новые неизвестные нам ранее типы молекул в атмосфере и на поверхности Титана, а это, в свою очередь, может пролить свет на возникновение жизни на нашей Земле в частности и в Солнечной системе в целом.

Если нет жизни без воды, следует ли нам ограничиться планетами и их лунами в поисках жизни, раз на их поверхностях вода может скапливаться в существенных количествах? Никак нет. Молекулы воды наряду с другими знакомыми бытовыми химикатами, такими как аммиак, этан и метиловый спирт, можно нередко обнаружить в прохладных межзвездных газовых облаках. При соблюдении определенных условий — низкой температуры и высокой плотности — группа молекул воды может преобразовать и захватить в воронку энергию близлежащей звезды, превращая ее в усиленный и высокоинтенсивный микроволновый луч. Атомная физика этого явления примерно сопоставима с тем, что делает лазерный луч с видимым светом. Правда, в данном случае на ум приходит слово «мазер»: микроволновый амплификатор на основе стимулированных эмиссий радиации (речь идет, соответственно, о «микроволновом усилении с помощью стимуляции концентрированного излучения», если говорить более доступным языком). Воду не только можно найти практически где угодно в нашей галактике, она еще и иногда позволяет себе светить вам в лицо лучом! При этом основная проблема, с которой столкнулась бы потенциальная жизнь в межзвездных облаках, заключается не в нехватке сырья, но в его экстремально низкой плотности, что существенно снижает частоту возможных столкновений и взаимодействий друг с другом частиц. Если жизни нужны миллионы лет для того, чтобы сформироваться на такой планете, как Земля, у нее наверняка уйдут *триллионы* лет на то, чтобы возникнуть в условиях столь низкой плотности строительного материала. Наша Вселенная пока гораздо моложе.

Завершая поиски жизни в Солнечной системе, мы вроде бы закончили и свою экскурсию по фундаментальным вопросам, которые неразрывно связаны с нашим космическим происхождением. Однако мы не можем не коснуться еще одного важнейшего вопроса, который на самом деле нам еще только предстоит задать себе в будущем: речь идет о наших контактах с иными цивилизациями. Ни одна астрономическая тема не захватывает воображение публики столь живо, и ни одна из них не предлагает лучшей возможности собрать воедино все нити знаний о Вселенной, что мы получили в предыдущих главах. Теперь, когда мы кое-что знаем о том, как может зародиться жизнь в других мирах, мы можем изучить вероятность того, что одно из самых глубоких человеческих желаний будет когда-нибудь удовлетворено — желание обрести во Вселенной благодарных собеседников.



Глава 17

ПОИСКИ ЖИЗНИ В ГАЛАКТИКЕ МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ

Мы уже знаем, что в пределах нашей Солнечной системы Марс, Европа и Титан представляют для исследователей наибольший интерес как потенциальные площадки для обнаружения внеземной жизни, все еще существующей или уже окаменелой. В разы выше и вероятность того, что именно на этих трех объектах будет найдена вода или какая-то другая субстанция, способная, будучи в жидком состоянии, стать подходящим растворителем для разных молекул, что несут в себе жизнь.

Поскольку только эти объекты демонстрируют признаки вроде водоемов и приливных бассейнов, большинство астробиологов ограничивается ровно ими тремя, возлагая на них все свои надежды и тем самым сужая географию своих поисков примитивных инопланетных форм жизни. У пессимистов есть ключевой довод, который однажды либо станет всеобщим доводом, либо будет всеми же отвергнут. Он гласит: даже если мы найдем условия, подходящие для возникновения и поддержания жизни, это еще не значит, что мы найдем

в этих условиях жизнь. Так или иначе, результаты исследований с Марса, Европы и Титана будут иметь огромное значение и очень пригодятся для того, чтобы оценить степень распространения жизни в космосе. В одном оптимисты и пессимисты единодушны: если мы хотим найти продвинутые формы жизни — жизни, представленной кем-то более крупным, чем простые одноклеточные организмы, что первыми появились когда-то на Земле и долгое время господствовали на ней, — тогда нам следует обратить свой взор далеко за пределы Солнечной системы: в сторону планет, что вращаются вокруг других звезд.

Когда-то давно мы могли лишь отстраненно судить о существовании таких планет. Теперь, когда было найдено более сотни экзопланет, в целом похожих на Юпитер и Сатурн, мы можем с уверенностью предсказать, что это лишь вопрос времени и еще более точных наблюдений, прежде чем мы обнаружим сопоставимые с Землей планеты. Последние годы XX века стали поворотной точкой в истории исследования космоса: мы получили реальные доказательства существования многочисленных обитаемых миров во Вселенной. И значение первых двух членов формулы Дрейка, отражающих количество планет во Вселенной, что вращаются вокруг звезд с продолжительностью жизни в миллиарды лет, теперь видится скорее высоким, чем низким. Правда, следующие два члена, которые отражают вероятность обнаружения подходящих для жизни планет и вероятность того, что жизнь действительно зародится на таких планетах, остаются почти столь же неопределенными, как и до открытия экзопланет. Но все же наши попытки предложить примерные значения для этих двух вероятностей куда более информированы, чем попытки наделить значениями два последних члена формулы: вероятность того, что жизнь в альтернативном мире пройдет весь путь эволюции до разумной цивилизации, и отношение средней предполагаемой продолжительности жизни такой цивилизации к продолжительности жизни всей галактики Млечный Путь.

Для оценки значений первых пяти членов формулы Дрейка мы можем предложить свою собственную Солнечную систему и самих себя в качестве подопытной модели, хотя не следует забывать о принципе Коперника во избежание ситуации, в которой мы вдруг начнем судить космос по себе, а не себя по космосу. Но вот мы добираемся до последнего члена уравнения: желая обозначить среднюю продолжительность жизни цивилизации, завладевшей технологическими возможностями, позволяющими отправлять сигнал на межзвездные расстояния, мы не можем прийти к какому-либо адекватному ответу, даже взяв Землю за базовый пример, — ведь нам еще только предстоит узнать, как долго просуществует наша собственная цивилизация. На сегодняшний день мы вот уже почти целое столетие обладаем возможностью отправлять сигналы в космос — с тех самых пор, как мощные радиостанции научились передавать сообщения с одного края земного океана на другой. Просуществует ли наша цивилизация еще одно столетие, тысячелетие или еще много тысяч веков, зависит от целого комплекса факторов, которые мы просто не в состоянии предвидеть, даже если многие из них указывают на невозможность нашего выживания в долгосрочной перспективе.

Задаваясь вопросом, соответствует ли наша судьба среднестатистической судьбе типичной планеты Млечного Пути, мы делаем шаг на новую ступень размышлений и нам не остается ничего другого, как счесть последний член формулы Дрейка, влияющий на конечный результат в той же степени, что и все остальные, категорически неизвестным. Если — и это будет оптимистичным прогнозом — в большинстве планетных систем есть не менее одного объекта, подходящего для зарождения жизни, и если жизнь действительно зарождается на достаточно большом количестве таких объектов (например, на одной десятой от их общего числа), и если разумные цивилизации, к примеру, формируются в одном из десяти случаев возникновения жизни, тогда получается, что в какой-то момент времени за всю

историю Млечного Пути и его сотен миллиардов звезд в нашей галактике может быть вплоть до одного миллиарда локаций, которые способны выходить разумную цивилизацию. Это огромное число, конечно, следует из самого факта, что в нашей галактике так много звезд и что большая часть из них более или менее напоминает наше Солнце. Чтобы получить пессимистичный прогноз, просто замените все названные нами значения с одной десятой на одну десятитысячную, тогда один миллиард локаций уменьшится в миллион раз и превратится в гораздо более скромную тысячу.

А это уже существенная разница. Предположим, что средняя цивилизация — которую мы так называем в том случае, если она обладает возможностями межзвездного сообщения, — существует на протяжении 10 000 лет: это составляет около одной миллионной доли продолжительности жизни Млечного Пути. С точки зрения оптимиста, рано или поздно за всю историю галактики цивилизация должна образоваться в миллиарде мест, то есть в каждый конкретный момент времени таких цивилизаций существует около тысячи одновременно. Напротив, с точки зрения пессимиста, в каждую типичную эпоху должно существовать около 0,001 цивилизации, что делает нас одиноким и исполненным драматизма экстремальным значением для заданного промежутка времени.

На что же будет похоже реальное значение формулы Дрейка? В науке ничто так не убедительно, как экспериментальные доказательства. Если мы хотим определить среднее число цивилизаций в галактике Млечного Пути, лучшим научным решением этой проблемы будет взять и измерить, сколько цивилизаций существует в ней в данный момент. Самый логичный способ добиться выполнения этой уникальной задачи — исследовать всю галактику целиком (что давно мечтают сделать актеры, снимающиеся в телесериале «Звездный путь»), награждая каждую обнаруженную нами цивилизацию порядковым номером и типом (это если мы вообще найдем хоть одну). (Жизнь в галактике, где

нет никаких инопланетян, никогда не ляжет в основу сюжета телешоу с высокими рейтингами.) К сожалению, подобное исследование лежит далеко за пределами наших текущих технологических возможностей и сильно за пределами доступного нам бюджета.

Кроме того, на исследование целой галактики уйдет много миллионов лет, если не больше. Задумайтесь над тем, какой была бы телепередача о межзвездных космических исследованиях, если бы она ограничивалась лишь тем, что мы достоверно знаем о физике нашей с вами реальности. В течение целого часа на экране показывали бы членов экипажа космического корабля, выясняющих отношения друг с другом и прекрасно понимающих, что они забрались уже очень далеко в космос, но осталось им еще никак не меньше. «Мы уже прочитали все журналы», — возможно, скажет один. «Мы так устали друг от друга, а вы, Капитан, вы — настоящая заноза в звездном небе», — пробормочет другой. Затем, пока одни члены экипажа поют самим себе песни, а другие уже явно отходят в свои собственные миры тихого космического безумия, долгий затяжной кадр напомним нам о том, что расстояние до других звезд Млечного Пути составляет в миллионы раз больше, чем расстояние до любой другой планеты Солнечной системы от Земли.

Между прочим, этот коэффициент учитывает только расстояние до ближайших соседей Солнца — все же столь далеких, что их свет идет до нас на протяжении многих и многих лет. Для полноценной обзорной экскурсии по Млечному Пути нам понадобится отправиться в 10 тысяч раз дальше. Голливудские фильмы, демонстрирующие межзвездные полеты, преодолевают это невероятно сложное фактическое обстоятельство очень просто: они игнорируют его («Вторжение похитителей тел», 1956 и 1978 годы); они намекают на усовершенствованные ракеты и технологии или на более точное понимание законов физики («Звездные войны», 1977 год); или предлагают такие интригующие способы добраться до нужной точки космоса в целости

и сохранности, как заморозка и гибернация, помогающие космонавтам пережить невероятно длительное путешествие («Планета обезьян», 1968 год).

В каждом из подобных подходов что-то есть, а некоторые даже предлагают определенные творческие преимущества. Вполне возможно, что мы будем и дальше совершенствовать свои космические корабли и ракеты, которые сегодня способны развивать скорость лишь около одной десятитысячной скорости света — а быстрее перемещаться мы и не мечтаем, по крайней мере исходя из нашего текущего понимания законов физики. Но даже путешествие со скоростью света к соседним звездам займет далеко не один год, а экскурсия по всему Млечному Пути — почти тысячу столетий. Заморозка астронавтов звучит многообещающе, но ведь если те, кто останутся на Земле и, судя по всему, будут оплачивать такие путешествия, не будут заморожены (а зачем?), они вряд ли когда-нибудь увидятся с вернувшимися десятки лет спустя астронавтами. Одобрить финансирование таких проектов будет очень непросто. Если учесть нашу довольно малую продолжительность жизни — а значит, и сосредоточенного на чем-либо внимания, — то устанавливать контакт с внеземной цивилизацией (если хоть одна из них существует) лучше всего «прямо не выходя из дома», с Земли. Все, что от нас требуется, — это сидеть и ждать того, чтобы они нас навестили.

Вот только зачем им это нужно? Что в нашей планете такого особенного, чтобы инопланетные сообщества сочли ее заслуживающей интереса (при условии, что они существуют)? В данном вопросе человечество только и делает, что нарушает принцип Коперника. Спросите любого, чем заслужила Земля столь пристальное внимание к своей персоне, — и получите в свой адрес короткий и гневный взгляд. Все концепции возможных визитов инопланетян на Землю, как и немалая часть религиозной догмы, опираются на непроговоренное и очевидное заключение, что наша планета и населяющие ее формы жизни значатся

столь высоко в списке главных вселенских чудес, что аргументация просто не нужна; получается, это вроде как само собой разумеется и несколько не странно с астрономической точки зрения, что наша песчинка звездной пыли, затерянная где-то в пригородах Млечного Пути, почему-то превращается в некий галактический маяк, сияющий во тьме и не просто требующий внимания, но и получающий его — в космических масштабах.

Это заключение следует из того факта, что для того, кто наблюдает космос с Земли, Вселенная действительно выглядит примерно так. Размер планет еще «куда ни шло», в то время как звезды — лишь точки света в небе. С насущной точки зрения тут нет ничего удивительного. Наше успешное выживание и воспроизведение на этой планете, вплоть до мельчайших организмов, обитающих на ней, мало зависит от окружающей нас Вселенной. Среди всех астрономических объектов только Солнце, а также в гораздо меньшей степени Луна влияют на нашу жизнь, да и их движения столь однообразны, что они начинают казаться частью декораций в какой-то картине, воспевающей Землю. Наше человеческое сознание, сформировавшееся на Земле по итогам бесчисленных событий и встреч с разными существами, по вполне понятным причинам все внеземные дела воспринимает как второстепенную массовку к тому «самому главному», что происходит на главной сцене — на Земле. Наша ошибка заключается в том, что мы почему-то считаем, что эти самые участники массовки тоже ставят нас во главу угла.

Так как каждый из нас принял на веру это ошибочное убеждение задолго до того, как наше сознание научилось управлять нашим мышлением, мы не можем полностью избавиться от него, даже когда сами приказываем себе сделать это. Те, кто навязывает нам соблюдение принципа Коперника, должны постоянно оставаться начеку, не давая нашему рептильному мозгу нашептывать нам обратное, уверяя нас, что мы занимаем самый центр Вселенной и что все ее внимание естественным образом направлено на нас.

Внимая сообщениям об инопланетных гостевых визитах на Землю, мы должны не забывать еще об одной обманчивой особенности человеческой мысли — так же вездесущей и чреватой самообманом, как и наша антикоперниковская предвзятость. Человек доверяет своей памяти гораздо больше, чем это она того реально заслуживает. Причина тому — то же самое выживание, на фоне которого мы считаем Землю центром мироздания. Память — это запись нашего восприятия, и, в общем-то, даже хорошо, что мы обращаем внимание на эти «записи» и делаем из них какие-то выводы, которые могут повлиять на наше будущее.

Так как теперь у нас есть более эффективные способы документирования прошлого, мы стараемся не полагаться на память отдельных людей в вопросах, имеющих ключевое значение для общества. Мы стенографируем дебаты в конгрессе и издаем законодательства в печатной форме, мы снимаем на видеопленку сцены преступлений, мы украдкой делаем аудиозаписи криминальных действий — потому что мы считаем все эти носители более совершенными, чем наш мозг, когда речь идет о создании перманентных записей о прошлых событиях. В этом правиле остается одно заметное исключение: мы продолжаем воспринимать показания очевидцев как точную информацию, по меньшей мере как информацию, требующую проверки — в наших судебных разбирательствах. Мы делаем это, несмотря на то что раз за разом тестирования демонстрируют, что каждый из нас, независимо от лучших своих побуждений, не способен досконально запоминать происходящие с ним события, особенно в тех случаях, когда воспоминания связаны с чем-то для нас необычным и будоражающим (именно такое, как правило, и попадает в итоге в судопроизводство). Тем не менее каждое восклицание в зале суда вроде «Пистолет был в руках вот у этого человека!» должно быть тщательно взвешено и противопоставлено все множащемуся количеству дел, в которых «этот» человек в итоге не оказывался держателем пистолета, притом что свидетель искренне верил, что видел именно его.

Если мы будем стараться не забывать обо всем этом, когда беремся изучать сообщения о неопознанных летающих объектах (НЛО), нам будет нетрудно тут же заметить огромный потенциал для ошибки в данной области. По своему определению НЛО — это странное явление, которое заставляет наблюдателей невольно отделять привычное от непривычного в своих мыслях на фоне столь редко привлекающего их внимание в обычной жизни лунного диска — и при этом требует, чтобы они пришли к скоропостижным выводам здесь и сейчас, пока данный объект не исчез из виду. Добавьте сюда психический заряд, рождающийся вследствие того, что наблюдатель уверен: он только что увидел что-то исключительно редкое — и вряд ли вам удастся найти более удачный классический пример ситуации, которая с наибольшей вероятностью способна оставить в голове человека ошибочное воспоминание.

Откуда можно получить данные об НЛО, которые были бы надежнее личных свидетельствований? В 1950-х годах астрофизик Дж. Аллен Хайнек, бывший тогда ведущим консультантом ВВС США по НЛО, любил подчеркивать это, быстрым движением доставая из кармана миниатюрную камеру и заявляя, что, если бы ему когда-нибудь довелось увидеть НЛО, он немедленно воспользовался бы камерой для того, чтобы заполучить научные тому доказательства, потому что понимает, что его личные показания об «увиденном» приняты не будут. К сожалению, технологический прогресс с тех пор дошел до того, что фальшивые изображения и даже видео нередко невозможно отличить от подлинных, так что план Хайнека по использованию фотосвидетельств о визите НЛО нам больше не подходит. Собственно, если говорить о взаимодействии между хрупкостью человеческой памяти и изобретательностью таких «художников», мы вряд ли возьмемся с полной уверенностью утверждать, какие из предложенных нам «снимков» НЛО похожи на правду, а какие — на подделку.

Когда речь заходит о более современном явлении так называемых похищений инопланетянами, удивительная способность человеческой

психики торжествовать над реальностью, подавляя ее, становится еще очевиднее. Хотя конкретных чисел тут так просто не получишь, за последние годы десятки тысяч людей, судя по всему, заявляли, что их забирали на борт космической тарелки, где подвергали различным проверкам, нередко довольно унижительного характера. С точки зрения спокойного и рассуждающего человека, даже просто утверждать подобное — уже значит опровергать сам факт того, что это произошло. Прямое применение принципа бритвы Оккама, который призывает к тому, чтобы всегда выбирать тот вариант объяснения событий, что является наиболее простым, подводит нас к мысли о том, что все подобные похищения были выдуманы, а не пережиты в самом деле. Так как почти все случаи подобных похищений происходят почему-то именно ночью — нередко объект уверяет, что даже не проснулся от этого, — наиболее вероятным объяснением их становится состояние гипнагогии, когда мозг находится в промежуточном состоянии между бодрствованием и сном. У многих в этот короткий период окончательного засыпания приключаются относительно яркие визуальные и слуховые галлюцинации — а иногда человек обнаруживает себя в состоянии так называемого сонного паралича, когда, будучи в полном сознании, он не может пошевелить даже пальцем. Подобные эффекты проходят сквозь фильтры нашего мышления и образуют в нем кажущиеся реальными воспоминания, способные взрастить непоколебимую уверенность их хозяина в том, что они несомненны.

Есть и другой «распространенный» сценарий похищения землян экипажами НЛО: внеземные посетители выбрали именно Землю и прибыли сюда в таких количествах, что им не составило труда похищать человечество тысячами — ненадолго — и, судя по всему, изучать их как можно ближе (но неужели они за все это время еще не узнали всего, что им нужно, и не могут ли они ограничиться похищением тел, чтобы изучать по ним анатомию?). Некоторые истории подразумевают, что инопланетяне берут у похищенных образцы каких-то тканей — или помещают свое семя в тела жертв женского пола, а еще они стирают

из памяти жертвы подробности встречи, чтобы жертва не могла «найти их» снова (не очень понятно, почему бы им тогда вообще не стереть эпизод с похищением из человеческой памяти целиком). Утверждения таких людей нельзя категорически отвергать немедленно, как нельзя сбрасывать со счетов и некую вероятность, что строки, которые вы сейчас читаете, были написаны инопланетянами исключительно с той целью, чтобы наделить вас ложным чувством безопасности и защищенности от инопланетной угрозы — ведь тогда инопланетянам будет проще осуществить свои планы космического господства. Вместо этого, опираясь на наше умение рационально анализировать и разделять объяснения ситуаций на более и менее вероятные, мы можем приписать гипотезе о похищении людей инопланетянами исключительно малую статистическую вероятность.

Одно заключение кажется равно неопровержимым как скептически настроенным в отношении НЛО, так и фанатам летающих тарелок. Если инопланетные общества действительно иногда навещают Землю, они должны быть в курсе того, что мы создали всемирные возможности для распространения информации и развлечения (а также для разграничения одного от другого). Сказать, что любому инопланетному существу захотелось бы воспользоваться этими возможностями, — значит ничего не сказать. Они получили бы мгновенное разрешение (хотя оно им, возможно, и не понадобилось бы) на то, чтобы обозначить свое присутствие — если бы хотели. Отсутствие явных инопланетян на наших телеэкранах подтверждает либо их отсутствие на самой Земле как таковой, либо их явное нежелание быть обнаруженными — «стесняются» они. Для последнего варианта существует одно противоречие. Если инопланетные посетители Земли предпочитают оставаться незамеченными и если у них есть технологии, в разы более продвинутые, чем наши (а умение путешествовать от одной звезды к другой на это указывает), то почему же у них ничего не получается? Почему мы считаем само собой разумеющимся обнаружение каких-либо доказательств их существования — личные свидетельства, круги в полях с жатвой,

построенные древними астронавтами пирамиды и воспоминания о похищении, — если инопланетяне этого не хотят? Судя по всему, они просто играют с нами, словно кошка с мышатами. Вполне возможно, что они также секретно управляют нашими вождями — глядя на современную политику и индустрию развлечений, эта идея даже начинает казаться не такой уж невероятной.

Тема НЛО подчеркивает одно важное свойство нашего сознания. Подсознательно считая, что наша планета — центр мироздания, а наше звездное окружение — лишь прекрасные декорации для земной жизни, мы тем не менее испытываем сильнейшее желание нащупать с этим окружением связь. Это выражается в умственной деятельности, не более разборчивой, чем вера в сообщения об инопланетных туристах или вера в доброжелательное божество, шлющее на Землю громы и молнии, а также вестников своей воли. Подобное отношение уходит корнями в те дни, когда между Землей под ногами и небом над головой существовало самоочевидное разграничение: мы могли дотронуться до одних объектов — и лишь наблюдать издалека, как другие плывут по небу, сияя и оставаясь для нас недостижимыми. Отсюда и сформированные в нашем восприятии различия между земным телом и космической душой, между обыденным и чудесным, естественным и сверхъестественным. Необходимость навести умственные мосты между этими двумя аспектами существующей реальности легла в основу множества наших попыток создать убедительную картину своего существования. Представленные современной наукой доказательства того, что все мы сделаны из звездной пыли, вставили прочные палки в колеса наших мыслей, от чего многие из нас до сих пор никак не придут в себя. НЛО — эти посланники с других краев цивилизации — словно напоминают нам о своем всемогуществе, о том, что другие космические расы знают, кто они такие и для чего они здесь, в то время как мы лишь начинаем в этом немного разбираться. Эти идеи хорошо отражены в классической кинокартине 1951 года «День, когда Земля остановилась»: в ней ино-

планетный гость, гораздо более мудрый, чем мы, прибывает на Землю, чтобы предупредить нас, что наша жестокость может привести нас к гибели.

Наш внутренний интерес к космосу имеет и темную сторону, которая заставляет нас проецировать свое недоверие к незнакомым людям на незнакомых инопланетян. Многие отчеты о ситуациях, в которых якобы замешаны НЛО, начинаются с фраз вроде: «Я услышал какие-то странные звуки, поэтому я взял винтовку и пошел узнать, что это такое было». Фильмы, рассказывающие о пришельцах на Земле, тоже с легкостью приобретают оттенок неприязненного к ним отношения, начиная с эпической картины 1956 года «Земля против летающих тарелок», в которой военные подразделения бомбят космический корабль пришельцев, даже не подумав сначала узнать у них, что им нужно, и заканчивая картиной «Знаки» 2002 года, в которой мирный главный герой, у которого дома нет винтовки, пытается расправиться с вторгшимися на его территорию незваными гостями с помощью бейсбольной биты (это, кстати, вряд ли поможет одолеть настоящих пришельцев, способных пересекать межзвездные пространства с целью визита на Землю).

Главный аргумент против того, чтобы всерьез воспринимать сообщения о летающих тарелках как доказательства внеземных визитов, основан на незначительности нашей планеты — в сочетании с огромными расстояниями, что разделяют звезды. Ни то ни другое не является категорическим противопоказанием к тому, чтобы верить в наши эпизодические контакты с инопланетянами, но в совокупности они все же образуют очень веский довод. Но что же это значит? Что из-за нехватки у Земли особенной космической привлекательности нам следует отказаться от надежды когда-нибудь принимать у себя другие цивилизации — и уповать на тот день, когда наших ресурсов хватит на долгие межзвездные путешествия навстречу этим самым чужим цивилизациям?

Никак нет. Научный подход к установлению контакта с другими цивилизациями внутри и за пределами Млечного Пути, если они существуют, всегда основывался на том, чтобы позволить природе работать на нас. Этот принцип превращает вопрос «Что в инопланетных цивилизациях покажется нам самым интересным?» (ответ: сами их представители во плоти) в более плодотворный с научной точки зрения: «Самый эффективный способ установить контакт с инопланетной цивилизацией — какой он?» Природа и громадные расстояния между звездами подсказывают: используйте самый дешевый и быстрый способ общения, который, предположительно, также будет считаться дешевым и быстрым на любом другом участке галактики.

Самый быстрый и дешевый способ отправить межзвездное сообщение — это электромагнитное излучение, тот самый носитель, что на самой Земле отвечает за большинство коммуникаций на дальние расстояния. Радиоволновые технологии стали революцией в человеческом обществе, позволив нам отправлять вокруг света слова и изображения со скоростью 186 000 миль в секунду. Эти сообщения путешествуют так быстро, что, даже если отправить их на неподвижный спутник, вращающийся вокруг нашей планеты на высоте 23 000 миль, который затем направит их далее, к другому приемнику на поверхности Земли, они на каждом этапе своего путешествия будут запаздывать лишь на крошечную долю секунды.

На межзвездных расстояниях сроки этих задержек увеличиваются, хоть и остаются самыми короткими из возможных. Если мы захотим послать радиосообщение на Альфу Центавра — в наиболее близкую к Солнцу другую звездную систему, — нам нужно будет заложить около 4,4 года на дорогу в каждую сторону. Сообщения, блуждающие в космосе на протяжении 20 лет, могут достигнуть нескольких сотен звезд и любых планет, что вокруг них вращаются. Значит, если бы мы были готовы ждать 40 лет, мы могли бы отправить сообщение каждой из таких звезд и в конце концов — а вдруг! — получить какой-то ответ. Этот подход, безусловно, подразумевает, что существующие вблизи

этих звезд цивилизации умеют пользоваться радио и смогут в достаточной мере заинтересоваться нами, чтобы им воспользоваться.

Основная причина, по которой мы такой методикой налаживания контакта с другими цивилизациями в итоге не пользуемся, заключается не в ее механике, но в нас самих. Сорок лет — это большой промежуток времени, и не хочется все это время ждать чего-то, что может и не произойти. (Да, если бы мы отправили в космос свои сообщения 40 лет назад, сегодня мы могли бы уже обладать немалой информацией о том, насколько распространены в Млечном Пути умеющие использовать радио цивилизации.) Единственная серьезная попытка сделать что-то подобное была совершена в 1970 году, когда астрономы отмечали обновление радиотелескопа обсерватории Аресибо в Пуэрто-Рико: они воспользовались им для того, чтобы в течение нескольких минут отправлять послания в направлении звездного кластера М13. Так как он находится от нас на расстоянии 25 000 световых лет, вряд ли мы получим ответ в обозримом будущем. Получается, это было скорее демовыступление, а не полноценный звонок в космос по делу. Если вы думаете, что нашей радиотрансляции мешает излишняя осторожность (что, вообще, не было бы лишним при знакомстве с кем-то новым), просто задумайтесь вот над чем: все радио- и телевещание после Второй мировой войны, как и лучи наших мощных радиолокаторов, уже давным-давно гуляют по космосу. Расширяясь со скоростью света, «сообщения» из эпохи сериалов «Новобрачные» и «Я люблю Люси» уже добрались до тысяч звезд, а сообщения из «Гавайев 5.0» и «Ангелов Чарли» — по меньшей мере до нескольких сотен. Если другие цивилизации действительно способны выделить отдельные программы из этой какофонии, доносящейся с Земли в форме радиосигналов — а сегодня ее объем уже сопоставим с объемом радиосигналов от любого объекта в Солнечной системе, включая Солнце, — то в игривом предположении о том, что именно содержимое этих передач и является причиной, по которой соседи до сих пор не пожаловали к нам в гости, начинает проступать смысл: они либо находят наши художественные вкусы просто отвратительными, либо

(все же смеем надеяться!) слишком возвышенными для себя — и в любом случае не стремятся выйти на связь.

Сообщение может прибыть прямо завтра, напичканное интригующей информацией и комментариями. В этом и заключается удивительная привлекательность общения посредством электромагнитного излучения. Это не только дешево (отправлять в космос трансляции телевизионных передач на протяжении последних 50 лет стоило существенно меньше, чем отправить туда одну-единственную исследовательскую миссию), но еще и мгновенно — при условии, что мы можем получить и расшифровать сигналы от другой цивилизации. В этом же заключается и одна из основных причин всеобщего волнения по поводу НЛО: в данном случае мы могли бы в буквальном смысле получать сигналы, которые записали бы, проверили на подлинность и изучали так долго, как это было бы необходимо, чтобы их понять.

В рамках программы поиска внеземного разума (ученые называют ее SETI, сокращенно от англ. Search for ExtraTerrestrial Intelligence) основное внимание все еще уделяется поиску входящих радиосигналов, хотя отказываться от попыток обнаружения сигналов, отправленных с помощью световых волн, тоже не следует. Хотя световому излучению, идущему к нам от других цивилизаций, приходится преодолевать на своем пути мириады естественных источников света, лазеры предоставляют возможность концентрировать свет в лучи одного-единственного цвета (или определенной частоты); таким же образом радиоволны передают сообщения от одной теле- или радиостанции до другой. С точки зрения радио наши надежды на успех программы SETI опираются на использование антенн, которые могут исследовать небо; радиоприемников, которые записывают все обнаруженное антеннами; и мощных компьютеров, которые анализируют полученные приемниками сигналы в поисках аномалий. Существует две базовые вероятности: мы можем найти другую цивилизацию, пере-

хватив ее собственные внутренние коммуникации, часть которых неизбежно попадает в космос, как и наши теле- и радиотрансляции; или мы можем обнаружить намеренно отправленные нам сигналы, предназначенные для привлечения внимания таких цивилизаций, как наша с сами.

Методика перехвата явно представляет собой более трудную задачу. Направленный сигнал сосредоточивает свою силу в определенном направлении, так что обнаружить его становится гораздо проще, если знаешь наверняка, что он направлен в твою сторону. Однако сила сигнала, который попадал в космос «случайно», рассеивается более или менее равномерно во всех направлениях; соответственно, такие сигналы оказываются гораздо слабее на определенном расстоянии от источника, чем посланный оттуда же направленный сигнал. Далее, направленный сигнал должен, предположительно, содержать в себе какие-то легкие тренировочные упражнения, дающие получателю возможность понять, как его расшифровывать; а непроизвольно попадающее в космос излучение никаких пользовательских инструкций с собой точно не несет. Наша цивилизация сама засоряла Вселенную подобными сигналами на протяжении десятилетий, а направленный лучевой сигнал отправила лишь один раз и длился он несколько минут. Если цивилизаций во Вселенной немного, любые попытки их обнаружить должны основываться на технике перехвата, а не на поисках специально предназначенных нам направленных сигналов.

Проповедники SETI, вооруженные все более продвинутыми системами антенн и радиоприемников, начали понемногу «подслушивать» происходящее в космосе, надеясь перехватить что-нибудь подтверждающее существование других цивилизаций. Именно по той простой причине, что нет никаких гарантий, что мы когда-нибудь вообще сможем перехватить хоть один такой сигнал, тем, кто занимается их подслушиванием, всегда непросто получить на это средства. В начале 1990-х годов конгресс США в течение года поддерживал

программу SETI, пока менее горячие головы не положили этому конец. Сегодня ученым, занятым в области SETI, приходится рассчитывать — частично — на участие миллионов людей, загружающих заставку для своих домашних компьютеров с сайта setiathome.sl.berkeley.edu: это виртуально реквизирует компьютер для анализа данных об инопланетных сигналах в его свободное время. Еще больше (финансовой) поддержки поступает от состоятельных людей, среди наиболее известных из них — Бернارد Оливер, выдающийся инженер компании Hewlett-Packard, который интересуется SETI столько, сколько себя помнит, и Пол Аллен, один из основателей компании Microsoft. Оливер провел много лет в раздумьях о главной проблеме SETI — о том, как трудно прочесывать миллиарды возможных частот, на которых могут гипотетически вещать другие цивилизации. Традиционно мы делим радиосигналы на относительно широкие диапазоны частот, поэтому для нашего земного радио и телевидения доступны лишь несколько сотен таких диапазонов. Но инопланетные сигналы, в принципе, могут быть привязаны к настолько узкому диапазону частот, что в настройках SETI понадобились бы миллиарды базовых записей для сопоставления. С одной стороны, мощные компьютерные системы, лежащие в основе работы SETI, способны разрешить этот вопрос, анализируя сотни миллионов частотных диапазонов одновременно. С другой — они все еще ничего не обнаружили.

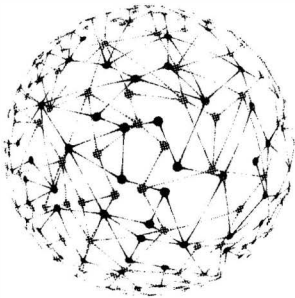
Более 50 лет назад итальянский гений Энрико Ферми, возможно, последний на сегодня великий физик, работавший и в экспериментальной, и в теоретической областях, обсуждал внеземную жизнь со своими коллегами во время обеда. Согласившись, что Земля не представляет собой сколько-нибудь выдающегося пристанища для жизни, ученые пришли к выводу, что жизнь в Млечном Пути должна быть весьма распространенной штукой. В таком случае, спросил тогда Ферми, словно повторяя прозвучавшее тысячи раз за последние десятилетия, *где же она?*

Ферми имел в виду, что, если многие места нашей галактики уже испытали пришествие технологически подкованных цивилизаций, неужели мы бы до сих пор ни от одной из них ничего не услышали бы? Радиосигналы, лазерные сигналы, личные визиты, наконец?.. Даже если большинство цивилизаций погибает относительно быстро, что, возможно, приключится и с нашей, существование таких цивилизаций в больших количествах должно означать, что некоторые из них все же живут очень и очень долго, достаточно долго для того, чтобы предпринять какие-то попытки отыскать во Вселенной кого-то еще. Даже если некоторым из таких цивилизаций-долгожителей глубоко плевать на своих космических соседей, должны же быть такие, которым не плевать. Так что сам факт, что у нас нет ни одного научно заверенного факта, что пришельцы когда-либо бывали на Земле, и нет надежных примеров сигналов, отправленных другой цивилизацией, может означать, что мы серьезно преувеличили вероятность возникновения разумных цивилизаций в галактике Млечный Путь.

В сказанном Ферми был смысл. С каждым новым днем доказательств того, что мы в нашей Галактике одиноки, становится чуть больше. Правда, при непосредственном анализе чисел доказательства начинают выглядеть менее убедительно. Если в каждый заданный момент времени в галактике существует несколько тысяч цивилизаций, среднее расстояние между такими галактическими соседями должно составить несколько тысяч световых лет — это в тысячу раз больше, чем расстояние от нас до ближайших к нам звезд. Если одна или несколько таких цивилизаций просуществовали миллионы лет, мы имеем право рассчитывать на то, что они бы уже отправили нам какой-нибудь сигнал — или позволили бы нам хотя бы мельком обнаружить их с помощью перехвата радиосигналов. Если же до такого возраста не доживает ни одна цивилизация, тогда нам придется приложить еще больше усилий к тому, чтобы продолжать поиски своих соседей, ведь может быть и такое, что никто из них просто не ставил перед собой вселенской

задачи обнаружить соседние цивилизации или что ни одна из них не увлекается радиосигналами, достаточно мощными для того, чтобы мы могли их перехватить.

И вот мы оказываемся в типичной для человека ситуации: на грани событий, которые могут никогда не произойти. Самые важные новости в истории человечества могут прозвучать завтра, в следующем году — или не прозвучать никогда. Давайте же с благодарностью встретим новый закат, приветствуя окружающую нас Вселенную как старого доброго знакомого и любуясь ею — темной, но исполненной света, энергии и загадок.



Эпилог

ПОИСК САМИХ СЕБЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Вооружившись своими пятью чувствами,
человек исследует окружающую его Вселен-
ную и называет это приключение наукой.

Эдвин П. Хаббл, 1948 год

Органы восприятия человека отличаются удивительной остротой и диапазоном чувствительности. Наши уши воспринимают оглушительный грохот при запуске космического корабля и в то же время способны различить тонкий писк комара в дальнем углу комнаты. Наше чувство осязания позволяет не только заметить, что на большой палец ноги нам упал мяч для боулинга, но и почувствовать, как по обнаженной руке ползет букашка весом один миллиграмм. Некоторые обожают закусывать перчиками хабанеро, но наш язык способен распознать наличие вкусовых оттенков вплоть до нескольких миллионных долей из всего вкусового букета. Наши глаза могут различать очертания залитых солнцем песчаных барханов на пляже — и с не меньшей легкостью видеть спичку, зажженную в сотнях футов в другом конце темной аудитории. Что еще замечательнее, наши глаза могут видеть не только другой конец комнаты — но и другой конец Вселенной. Без нашего зрения — и видения — наука астрономия никогда бы не родилась, а наши возможности

по определению своего места во Вселенной так и остались бы безнадежно ничтожными.

Совместными усилиями наши органы чувств позволяют нам расширивать свое ближайшее окружение: например, понимать, день сейчас или ночь или не собирается ли другое живое существо тебя съесть. Но никто и подумать не мог, что наши чувства сами по себе позволяют нам взглянуть на физически окружающую нас Вселенную лишь сквозь узенькую щелку; а это изменилось лишь несколько столетий назад.

Некоторые хвастаются тем, что у них есть шестое чувство, позволяющее им предвидеть то, что не могут другие. Предсказатели, мастера читать чужие мысли и экстрасенсы — это лишь верхушка айсберга множества людей, утверждающих, что обладают необычными способностями. Это не может не вызывать удивления и восхищения у окружающих. Сомнительная область парапсихологии опирается на предположение, что некоторые люди действительно обладают подобными талантами.

Современная наука, напротив, имеет в своем распоряжении десятки инструментов восприятия. Но ученые не пытаются убедить никого в том, что они являются отражением каких-то особых талантов — ведь это всего лишь специализированная экипировка, преобразующая информацию, полученную этими инструментами восприятия, в простые таблицы, графики, диаграммы или изображения, которые доступны для восприятия нашими пятью врожденными чувствами.

Приносим свои извинения Эдвину П. Хабблу, но его замечание, что мы процитировали в качестве вступления к этому эпилогу, сколь бы пронизательным и поэтичным оно ни было, должно было звучать так.

Вооружившись своими пятью чувствами, а также телескопами и микроскопами, спектрометрами и сейсмографами, магнетометрами и обнаружителями частиц, ускорителями и инструментами, способными обнаружить излучение целого электромагнитного спектра, мы исследуем окружающую нас Вселенную и называем это приключение наукой.

Вообразите, насколько насыщеннее казался бы нам окружающий мир и насколько быстрее мы бы открыли фундаментальные принципы

устройства Вселенной, если бы у нас были высокоточные регулируемые глазные яблоки. Подкрутил радиоволновый сегмент спектра — и дневное небо начинает казаться темным, словно ночное, за исключением тех направлений, в которых вы захотите оставить его светлым. Центр нашей Галактики выглядит одним из самых ярких участков на небе — он сияет сразу за несколькими основными звездами созвездия Стрельца. Теперь включите микроволновое видение — и целая Вселенная замерцает фантастическим светом, что идет к нам из глубины веков, из тех времен, когда мир был еще совсем юным — 380 тысяч лет от роду после Большого взрыва. Включаем рентген — и любимся черными дырами в разных частях неба, в которые по закрученной спирали падает вещество. Вот и очередь гамма-излучения — оно покажет нам, как примерно раз в день по всему космосу случаются громадные взрывы. Теперь обратите внимание на то, какой эффект эти взрывы оказывают на окружающий вас материал: он нагревается, выделяет рентгеновское и инфракрасное излучение — и видимый свет.

Если бы мы рождались с магнитными детекторами, компас никогда бы не был изобретен за ненадобностью. Просто подключаемся к магнитным полям Земли — и чувствуем, как Северный полюс властно тянет нас к себе. Если бы на сетчатке наших глаз размещались анализаторы спектра, нам не пришлось бы ломать голову над тем, из чего же состоит атмосфера той или иной планеты: мы бы просто смотрели на нее и сразу видели, есть ли в ней достаточно кислорода для поддержания жизни. Мы бы еще тысячи лет назад узнали, что звезды и туманности в нашей Галактике состоят из тех же химических элементов, что и Земля.

Если бы мы родились с большими чувствительными глазами и встроенными детекторами движения Доплера, мы немедленно увидели бы — даже будучи кряхтящими троглодитами, — что Вселенная расширяется и что все далекие галактики удаляются от нас все дальше и дальше.

Если бы наши глаза обладали разрешением высокоточных микроскопов, никому бы и в голову не пришло приписывать распространение чумы и любой другой болезни Божественному гневу. Все бактерии

и вирусы, от которых у нас портится самочувствие, можно было бы заметить ровно в тот момент, когда они ползли бы по вашей еде или крались вдоль краев царапины у вас на коже. С помощью простейших манипуляций можно было бы определять, какие из них опасны, а какие — нет. Носители различных послеоперационных инфекций были бы обнаружены и обезврежены еще сотни лет назад.

Если бы мы могли различать частицы, заряженные огромной энергией, мы бы узнавали любые радиоактивные субстанции с огромных расстояний, и никаких счетчиков Гейгера нам бы не понадобилось. Можно было бы видеть, как газ радон просачивается сквозь половые доски нижнего этажа вашего дома, и не надо было бы никому платить за его обнаружение.

Оттачивание наших пяти органов восприятия с самого рождения на протяжении всего детства позволяет нам, став взрослыми, выносить суждение о различных событиях и явлениях, провозглашать, имеют ли они «смысл» или нет. Беда в том, что едва ли какие-то научные открытия за последнее столетие — заслуга непосредственного применения наших органов чувств. Они заслуга непосредственного применения бесчувственной математики и технологических приборов. Этот простой факт объясняет, почему для среднестатистического человека относительность, физика частиц и теория струн с ее одиннадцатью измерениями по большому счету не имеют смысла. В этот список можно добавить черные дыры, «котовые норы» (пространственно-временные туннели во Вселенной) и Большой взрыв. Хотя, если честно, и для ученых все эти понятия обретут полноценный смысл лишь после того, как они потратят еще очень много времени на исследования Вселенной с помощью всех данных нам от природы и приобретенных благодаря технологиям органов восприятия. Сейчас мы наблюдаем появление нового и более высокого уровня «сверхздорового смысла», который позволяет ученым мыслить нестандартно и выносить суждения в мало-знакомом подводном мире атомов и других частиц — равно как и в зубодробительной области пространства более высоких размерностей. Немецкий физик XX века Макс Планк отметил следующее об открытии

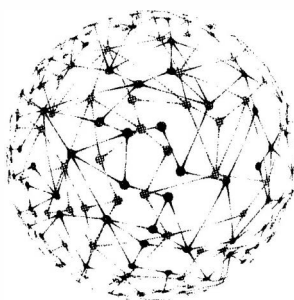
квантовой механики: «Современная физика особенно впечатляет нас той истиной, что заложена в старом учении, говорящем, что существуют реальности, недоступные для восприятия нашими органами чувств, и что существуют задачи и противоречия в вопросах о том, в каких случаях такие реальности должны обладать для нас большей ценностью, чем богатства опытного мира».

Каждый новый вид знаний сообщает о новом окне во Вселенную и о новом детекторе, который можно после этого добавлять в пополняющийся список наших небιологических органов чувств. Каждый раз, когда это происходит, мы выходим на следующий уровень космической просвещенности, словно эволюционируя в сверхчувствительных существ. Кто бы мог подумать, что наша погоня за расшифровкой загадок Вселенной с целым арсеналом искусственных органов чувств наперевес приведет к тому, что мы начнем чуть лучше понимать самих себя? Мы принимаем участие в этом приключении не просто из прихоти, но как уполномоченные представители своего вида, чтобы обрести свое собственное место во Вселенной. Этому приключению уже немало лет, и на него за это время обратили внимание самые разные мыслители, великие и поскромнее, мыслители всех времен и культур. Мы смогли узнать то, что поэты, как оказалось, и так знали все это время:

*Мы не оставим исканий,
И поиски кончатся там,
Где начали их; оглянемся,
Как будто здесь мы впервые ... **

Т. С. Элиот, 1942 год

* Элиот Т. С. Избранная поэзия. — СПб.: Северо-Запад, 1994.



Глоссарий

А

Абсолютная температурная шкала (или шкала Кельвина). Температура измеряется в градусах, обозначенных символом К, по шкале, согласно которой вода замерзает на отметке 273,16 К и кипит на отметке 373,16 К; 0 К — абсолютный нуль, самая холодная из теоретически достижимых температур.

Азот. Химический элемент, состоящий из *атомов*, в *ядрах* которых содержится по семь *протонов*; его разные *изотопы* могут насчитывать шесть, семь, восемь, девять или десять нейтронов. У большинства атомов азота семь нейтронов.

Аккреционный диск. Материал, окружающий массивный объект (как правило, *черную дыру*), который вращается вокруг этого объекта и постепенно притягивается все ближе к нему по спирали.

Аккреция. Прирост вещества, за счет которого масса объекта увеличивается.

Аминокислота. Один из классов относительно малых молекул, в каждую из которых входит от 13 до 27 атомов углерода, азота, водорода, кислорода и серы. Аминокислоты могут образовывать цепочки, которые становятся молекулами белка.

Антиматерия. Комплементарная (взаимодополняющая) форма вещества (материи), состоящая из античастиц идентичной массы, но с *электрическим зарядом*, противоположным заряду частиц, которые они дополняют.

Античастица. Комплементарная частица *антиматерии*, дополняющая частицу обычного вещества.

Аппарат «Кассини-Гюйгенс». Автоматический космический аппарат (орбитальная станция), запущенный с Земли в 1997 году, который в июле 2004 года достиг Сатурна, после чего искусственный спутник «Кассини» изучил Сатурн и его луны и отправил автоматическую станцию «Гюйгенс» на поверхность Титана, крупнейшего спутника Сатурна.

Археи. Представители одного из трех доменов живых организмов, которые считаются наиболее древними формами жизни на Земле. Все археи являются одноклеточными и термофильными (то есть способны жить и размножаться при температурах выше 50–70 градусов по Цельсию).

Астероид. Один из объектов, состоящих в основном из камня или каменно-металлического сплава и вращающихся вокруг Солнца — преимущественно в промежутке между орбитами Марса и Юпитера; диапазон размеров астероидов — от 1000 км до 100 м в диаметре. Подобные астероидам объекты, но существенно меньшего размера называются *метеороидами*.

Астроном. Тот, кто изучает *Вселенную*. Этот термин был более распространен в прошлом, до того, как были получены спектры излучения космических объектов.

Астрофизик. Тот, кто изучает *Вселенную*, используя полноценный арсенал инструментов, опирающихся на законы физики. Более предпочтительный в наши дни термин.

Атом. Самая маленькая и неделимая структурная единица *химического элемента*, состоящая из *ядра*, в составе которого находятся один или более *протонов* и нуль или более *нейтронов*; вокруг ядра атома

вращается столько же электронов, сколько в этом ядре протонов. Это число и определяет химические характеристики атома.

Ауторепродукция. Процесс, при котором «родительская» молекула ДНК делится на две отдельные нити, каждая из которых образует собой «дочернюю» молекулу, идентичную по характеристикам родительской.

АЯГ. Астрономическое сокращение для *галактики* с активным ядром («активное ядро галактики»), которое скромно описывает галактики, чей центральный регион светится в тысячи, миллионы или даже миллиарды раз ярче центральных регионов типичных галактик. В целом, АЯГи сравнимы с *квазарами*, но их, как правило, обнаруживают на более близком от нас расстоянии, а значит, наблюдают в более поздний период существования по сравнению с квазарами.

Б

Бактерия. Один из трех доменов жизни на Земле (ранее известный как *прокариоты*) — одноклеточный организм без четко определенного ядра для хранения внутри него генетического материала.

Белок. Длинная молекула, в состав которой входит не менее одной цепочки *аминокислот*.

Белый карлик. Ядро звезды, синтезировавшее из гелия ядра углерода и потому состоящее из углеродных ядер и электронов, сжатое до небольшого размера (не больше Земли) и исключительно плотное (примерно в один миллион раз плотнее воды).

Большое Магелланово Облако. Более крупная из двух неправильных *галактик*, являющихся спутниками *Млечного Пути*.

Большой взрыв. Научное описание происхождения *Вселенной*, которое основано на гипотезе о том, что существование Вселенной началось со взрыва около 14 миллиардов лет назад, вследствие которого образовалось пространство и вещество. Сегодня Вселенная продолжает расширяться во всех направлениях в результате этого взрыва.

В

Взаимодействие (воздействие). В широком смысле некое действие, вследствие которого происходит некое физическое изменение; влияние, которое, как правило, *ускоряет* объект в том направлении, в котором к заданному объекту применено такое воздействие.

Вид. Совокупность особенных типов организмов, каждый из которых обладает сходными анатомическими характеристиками и может быть скрещен с другими.

Видимый свет. *Фотоны*, чьи частоты и длины волн соответствуют тем, что человек может видеть невооруженным глазом; находится между *инфракрасным* и *ультрафиолетовым* излучением.

Вирус. Комплекс *нуклеиновых кислот* и молекул *протеина*, который может воспроизводиться только внутри «принимающей» клетки другого организма.

Внутренние планеты. Планеты Солнечной системы Меркурий, Венера, Земля и Марс, каждая из которых отличается малым размером, высокой плотностью и каменной структурой, в отличие от *планет-гигантов*.

Водород. Самый легкий и самый распространенный элемент в мире, в ядре которого содержится один *протон* и несколько *нейтронов* — ноль, один или два.

Вращение. Движение, совершаемое одним объектом вокруг другого; так, Земля вращается вокруг Солнца. Вращение не следует путать с *обращением*.

Вселенная. Обычно подразумевает «все, что существует», хотя, согласно ряду современных теорий, то, что мы называем Вселенной, может оказаться лишь частью *Метавселенной* или *Мультивселенной*.

Г

Галактика. Большая группа звезд, от нескольких миллионов до сотен миллиардов, которые удерживаются в одном скоплении за счет

взаимного гравитационного воздействия звезд друг на друга; как правило, содержит в себе не только звезды, но и существенные запасы газа и пыли.

Галактика Андромеды. Ближайшая к Млечному Пути крупная спиральная галактика, расположенная примерно в 2,4 миллиона световых лет от нашей родной галактики.

Галактический кластер. Большая группа галактик в сопровождении газа и пыли с неизмеримо большим количеством темной материи; удерживается вместе за счет взаимного гравитационного притяжения материала, из которого сформирован галактический кластер.

Гало. Самые внешние регионы галактики, занимающие гораздо больший объем, чем сама видимая галактика; большая часть темной материи галактики расположена как раз в ее гало.

Гамма-излучение. Тип электромагнитного излучения, обладающий самыми высокими показателями энергии и частоты, а также самой короткой длиной волны.

Гелий. Второй по легкости и по распространенности в мире химический элемент, ядра которого состоят из двух протонов и одного или двух нейтронов. Звезды получают энергию с помощью синтеза ядер гелия из ядер водорода.

Ген. Звено хромосомы, которое с помощью генетического кода задает образование конкретной цепочки аминокислот.

Генетический код. Набор «букв» в молекулах ДНК и РНК, каждая из которых относится к конкретной аминокислоте и состоит из последовательных молекул — например, тех, что образуют собой поперечные связи между двумя нитями спиралеобразных молекул ДНК.

Геном. Полный комплект генов организма.

Герц. Единица частоты, которая соответствует одной вибрации в секунду.

Горизонт событий. Название с поэтической ноткой, данное радиусу черной дыры: то расстояние от центра черной дыры, которое определяет «границу невозврата» — ведь при пересечении этой «линии

горизонта» по направлению к черной дыре уже ничто не сможет противостоять ее *гравитационному воздействию* и повернуть обратно. Горизонтом событий можно также назвать «внешний край» черной дыры.

Гравитационная линза. Объект, оказывающий на идущие мимо лучи света достаточное *гравитационное взаимодействие* для того, чтобы преломить их; зачастую гравитационная линза фокусирует лучи в одном направлении, создавая более яркое изображение, которое наблюдатель не смог бы увидеть в естественных условиях.

Гравитационное излучение. *Излучение*, непохожее на *электромагнитное излучение*, если не считать того, что оно также перемещается со скоростью света; такое излучение образуется в больших объемах в случае, когда два крупных массивных объекта движутся друг мимо друга на высокой скорости.

Гравитация (гравитационное взаимодействие, гравитационное воздействие). Одно из четырех фундаментальных *взаимодействий*, обладающее эффектом притяжения; сила такого взаимодействия между двумя объектами изменяется пропорционально к произведению масс двух объектов, поделенному на квадрат расстояния между двумя их центральными точками.

Д

Двойная спираль. Базовая структурная форма молекул ДНК.

Динамика. Наука, изучающая влияние *воздействия* на то, как между собой взаимодействуют объекты. В контексте движения объектов в Солнечной системе и Вселенной часто используется термин «небесная механика».

Длина волны. Расстояние между двумя последовательными гребнями волны; для *фотонов* — расстояние, которое проходит фотон за одно свое колебание.

ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота). Длинная сложная молекула, состоящая из двух взаимосвязанных спиральных нитей, соединенных друг с другом с помощью тысяч поперечных связей из маленьких молекул. Когда молекулы ДНК делятся и *размножаются*, они делятся вдоль, разрывая поперечные связи из маленьких молекул, что соединяют две длинные нити. Каждая половина молекулы затем образует себе «вторую половинку» из обнаруженных в своем окружении молекул, превращаясь в точную копию исходной молекулы.

Долгота. Земная координата, определяющая в градусах положение точек на поверхности Земли с точки зрения их направления от произвольно выбранного нулевого меридиана — воображаемой линии, проходящей по поверхности Земли с севера на юг сквозь Гринвичскую лабораторию в Англии. Диапазон долготы составляет по 180° к западу и к востоку от Гринвича, в общей сложности охватывая все 360° земной поверхности.

Доплеровское смещение. Незначительное изменение в *частоте, длине и энергии волн* излучения, вызванное *эффектом Доплера*.

Е

Европа. Один из четырех крупных спутников Юпитера, известный своей льдистой поверхностью, под которой, предположительно, расположен океан.

Естественный отбор. Неравномерность успехов в размножении среди организмов одного вида, основным движущим фактором которой является *эволюция* жизни на Земле.

Ж

Жизнь. Свойство вещества, характеризующееся умением воспроизводиться и *эволюционировать*.

З

Закон Хаббла. Обобщение расширения Вселенной по состоянию на сегодняшний день, выраженное простым уравнением: скорости удаления далеких галактик равны расстоянию до этих галактик от Млечного Пути, умноженному на постоянную Хаббла.

Затмение. Частичное или полное перекрытие одним небесным объектом другого в глазах наблюдателя, при котором один объект оказывается частично или полностью скрыт другим объектом.

Звезда. Газовая масса, которая за счет собственного тяготения удерживается в цельной форме; в ее центре протекают процессы *ядерного синтеза*, преобразующие энергию массы в *кинетическую энергию*, которая нагревает всю звезду, вызывая свечение ее поверхности.

Звездный кластер. Группа звезд, родившихся в одно и то же время и в одном и том же месте, способная оставаться группой на протяжении миллиардов лет за счет взаимного гравитационного притяжения этих звезд друг к другу.

И

Излучение. Упрощенное название *электромагнитного излучения*. Радиоактивное излучение также называют радиацией.

Изначальная сингулярность. Момент, в который началось расширение *Вселенной*, также известный как *Большой взрыв*.

Изотопы. Ядра конкретного *химического элемента*, каждый из которых содержит исходное количество *протонов*, но разное количество *нейтронов*.

Инфракрасное излучение. *Электромагнитное излучение*, состоящее из *фотонов*, чьи волны умеренно длиннее, а частоты умеренно ниже, чем у фотонов видимого света.

Ион. Атом, потерявший один или более из своих *электронов*.

Ионизация. Процесс преобразования атома в ион путем выведения из атома одного или более из его *электронов*.

К

Катализатор. Субстанция, которая увеличивает скорость ряда реакций между *атомами* или *молекулами* и при этом не расходуется в процессе этих реакций.

Квazar. От англ. quasi-stellar radio source (квазизвездный источник радиоизлучения) — объект, внешне очень напоминающий звезду; однако для его *спектра* характерно основательное *красное смещение*, что означает, что этот объект находится на огромном расстоянии от *Млечного Пути*.

Квантовая механика. Описание поведения частиц в их мельчайших масштабах, включающее в себя структуру *атомов* и их взаимодействие с другими атомами и *протонами*, а также поведение атомных *ядер*.

Килогерц. Единица *частоты*, описывающая 1000 вибраций (или колебаний) в секунду.

Килограмм. Единица массы в метрической системе мер, равная 1000 граммам.

Километр. Единица длины в метрической системе мер, равная 1000 метрам и приблизительно 0,62 мили.

Кинетическая энергия. *Энергия*, которой объект обладает за счет своего движения, измеряемая как произведение половины массы объекта и квадрата скорости этого объекта. Соответственно, более массивный объект — например, грузовик — обладает большей кинетической энергией, чем, скажем, велосипед, даже если они движутся с одинаковой скоростью.

Кислород. Химический элемент, *ядра* которого содержат в себе по восемь *протонов*, чьи изотопы могут содержать семь, восемь, девять, десять, одиннадцать или двенадцать нейтронов в ядре. В большинстве ядер кислорода восемь нейтронов — в соответствии с количеством протонов.

Клетка. Структурная и функциональная единица, которая присутствует во всех формах *жизни* на Земле.

Комета. Фрагмент первичного материала Солнечной системы, который также иногда называют «грязным снежком», состоящий из льда, камня, пыли и замороженного *углекислого газа* (так называемого сухого льда).

Корабль «Вояджер». Два разных космических корабля NASA, названные «Вояджер-1» и «Вояджер-2», были отправлены с Земли в 1978 году и несколько лет спустя прошли мимо Юпитера и Сатурна; «Вояджер-2» направился далее в сторону Урана (1986 год) и Нептуна (1989 год).

Коричневый карлик. Объект, состав которого сродни составу звезды, но чья масса слишком низкая для того, чтобы он мог превратиться в полноценную звезду за счет запуска *ядерного синтеза* в своем ядре.

Космический аппарат «Галилей». Отправленный NASA в сторону Юпитера в 1990 году научно-исследовательский космический аппарат, прибывший туда в 1995 году, выпустивший зонд в атмосферу Юпитера и проведший следующие несколько лет на орбите планеты, фотографируя ее саму и ее спутники.

Космический телескоп Хаббла. Отправленный в космос в 1991 году исследовательский телескоп, который обеспечил нас фотографиями *видимого света*, исходящего от целого ряда астрономических объектов. Это стало возможным благодаря тому, что результаты наблюдения телескопа за космосом не подвержены различным искажающим эффектам в атмосфере Земли.

Космолог. *Астрофизик*, который специализируется на изучении происхождения *Вселенной* и ее масштабной структуры.

Космологическая постоянная. Постоянная, добавленная Альбертом Эйнштейном в его уравнение, которое описывает общее поведение *Вселенной* и то количество энергии — сегодня мы называем ее *темной энергией*, — что содержится в каждом кубическом сантиметре пустого на первый взгляд пространства.

Космология. Наука, изучающая *Вселенную* в целом, в том числе ее структуру и эволюцию.

Космос. Все, что существует на свете; синоним *Вселенной*.

Красное смещение. Переход на более низкие частоты и более значительные длины волн в излучаемом объектом спектре, как правило вызванный эффектом Доплера.

Красный гигант (звезда). Звезда, которая прошла все основные этапы своей эволюции и чье ядро начало сжиматься, в то время как внешние слои, наоборот, расширяются. Процесс сжатия провоцирует ускорение ядерного синтеза в центре звезды, из-за чего светимость звезды тоже возрастает, а энергия откладывается во внешних ее слоях; в результате звезда постепенно увеличивается в размере.

Л

Логарифмическая шкала. Способ нанесения на график данных, который позволяет уместить огромные значения на одном листе бумаги. Если по-научному, то логарифмическая шкала возрастает экспоненциально (то есть 1, 10, 100, 1000, 10 000...), а не арифметически (то есть 1, 2, 3, 4, 5...).

Локальная группа. Название двух с лишним десятков галактик в непосредственной близости от галактики *Млечный Путь*. В локальную группу входят *Большое* и *Малое Магеллановы Облака* и галактика *Андромеда*.

М

Малое Магелланово Облако. Менее крупная из двух неправильных галактик, являющихся спутниками нашего *Млечного Пути*.

Масса. Мера материального содержимого объекта (которую не следует путать с весом), измеряющая величину гравитационного воздействия на объект. Для объектов, расположенных у поверхности Земли, разница между их массой и весом прямо пропорциональна.

Массовое исчезновение (видов). Событие в истории жизни на Земле, в некоторых случаях вызванное каким-то значительным внешним воздействием, в ходе которого значительная доля всех живых организмов вымирает за короткий с точки зрения геологии промежуток времени.

Мегагерц. Единица частоты, равная 1 миллиону вибраций или колебаний в секунду.

Межзвездная пыль. Твердые частицы пыли в миллионы атомов каждая, предположительно выброшенные в межзвездное пространство из высокоразреженных атмосфер красных гигантов.

Межзвездное облако. Регион межзвездного пространства, отличающийся гораздо большей плотностью, чем средние ее показатели, как правило, в несколько десятков световых лет диаметром. Плотность вещества в таком облаке составляет от десяти атомов до миллионов молекул на кубический сантиметр.

Межзвездный газ. Газ, находящийся в галактике и не являющийся частью какой-либо звезды.

Метаболизм (обмен веществ). Суммарное отражение всех химических процессов в организме, выраженное в скорости, с которой этот организм потребляет энергию. Животному с высоким метаболизмом (обменом веществ) нужно чаще потреблять энергию (то есть еду), чтобы поддерживать свою жизнедеятельность.

Метеор. Светящаяся полоска света, рождающаяся вследствие нагревания метеороида, пересекающего атмосферу Земли.

Метеороид. Объект из камня и/или металла, меньше астероида по размеру, движущийся по орбите вокруг Солнца; является частью останков материала, из которого сформировалась Солнечная система.

Метеорит. Метеороид, который успешно пересек земную атмосферу.

Метеорный дождь. Большое количество метеоров, которое светится в одной конкретной точке неба, — результат пересечения Землей орбит большого количества метеороидов за короткий промежуток времени.

Метр. Фундаментальная единица длины в метрической системе мер, равная приблизительно 39,37 дюйма.

Млечный Путь. *Галактика*, в которую входит Солнце и еще около 300 миллиардов других звезд, межзвездные газ и пыль, а также огромное количество темной материи.

Модель. Умственная конструкция, зачастую созданная с помощью карандаша с бумагой, а иногда и с помощью мощных компьютеров, которая представляет собой упрощенную версию реальности и позволяет ученым выделять и изучать наиболее важные процессы, характерные для конкретной ситуации или явления.

Модифицированная ньютоновская динамика (MOND). Альтернативная версия теории *гравитации*, предложенная израильским физиком Мордехаем Мильгромом.

Молекула. Стабильное формирование из двух или более *атомов*.

Мутация. Изменение в ДНК организма, которое могут унаследовать потомки этого организма.

Н

Нейтрино. *Элементарная частица*, не обладающая электрическим зарядом, чья масса значительно ниже массы *электрона*; нейтрино создается или поглощается во время реакций с участием элементарных частиц на основании слабого взаимодействия.

Нейтрон. *Элементарная частица*, не обладающая электрическим зарядом; один из двух базовых компонентов атомного ядра.

Нейтронная звезда. Крошечные останки (менее 20 миль в диаметре) ядра взорвавшейся *сверхновой звезды*, состоящие практически полностью из *нейтронов* и настолько плотные, что их вещество, по сути, словно две тысячи океанических лайнеров сжатых до объема один кубический дюйм пространства.

Неправильная галактика. *Галактика* нетипичной формы, то есть не *спиральная* (похожая на диск) и не *эллиптическая*.

Неуправляемый парниковый эффект. *Парниковый эффект*, усиливающийся вследствие нагревания поверхности планеты, что ведет к увеличению объема испаряемой жидкости, что, в свою очередь, вызывает парниковый эффект.

НЛО (неопознанный летающий объект). Объекты, замеченные в земном небе, для природы которых на данный момент нет однозначного объяснения, что является либо признаком основательного невежества ученого сообщества, либо основательного невежества тех, кто их наблюдает.

Нуклеиновая кислота. ДНК или РНК.

Нуклеотид. Одна из поперечных молекул-связок в ДНК и РНК. Четыре нуклеотида ДНК — это аденин, цитозин, гуанин и тимин; в РНК урацил играет ту же роль, что тимин в ДНК.

О

Обитаемая зона. Регион, окружающий звезду, в пределах которого звезда за счет своего тепла может поддерживать один *растворитель* или более в состоянии жидкости. Имеет образную форму сферической оболочки на определенном расстоянии от звезды, обладающей внутренней и внешней границами.

Облако Оорта. Миллиарды или триллионы *комет*, вращающихся вокруг Солнца, которые образовались тогда, когда *протосолнце* начало сжиматься; почти все они вращаются на орбитах в тысячи и десятки тысяч раз больше орбиты Земли.

Облако пыли. Облако пыли в межзвездном пространстве, температура внутри которого достаточно низкая для того, чтобы в нем из *атомов* могли формироваться *молекулы*, которые затем, в свою очередь, соединяются и образуют частицы твердой пыли, состоящие из многих миллионов атомов каждая.

Обращение. Кручение объекта вокруг своей собственной оси. Например, Земля совершает полный оборот вокруг своей оси за 23 часа 56 минут. Не путать с *вращением*.

Общая теория относительности. Представленная в 1915 году Альбертом Эйнштейном и ставшая естественным дополнением к *специальной теории относительности* в области ускорения объектов, эта современная теория гравитации успешно объясняет результаты многих экспериментов, которые нельзя было ранее объяснить с помощью закона всемирного тяготения Ньютона. Базовая предпосылка теории заключается в «принципе эквивалентности», согласно которому человек, находящийся, к примеру, внутри космического корабля, не может определить, ускоряется ли данный корабль в пространстве или же статичен внутри гравитационного поля, вызывающего аналогичное ускорение. Из этого простого, но очень важного принципа вырисовывается совершенно новое и более глубокое понимание природы гравитации. Согласно Эйнштейну, гравитация не является *взаимодействием* (или *воздействием*) в традиционном смысле. Гравитация — это искажение пространства, вызванное наличием в нем массы. Движение объекта целиком определяется его скоростью и имеющейся степенью кривизны пространства. Как бы парадоксально это ни звучало, общая теория относительности объясняет все аспекты поведения всех когда-либо исследованных систем гравитации; она прогнозирует огромное множество еще более парадоксальных (на первый взгляд) явлений, которые одно за другим находят подтверждение в условиях контролируемых экспериментов. Например, Эйнштейн предсказал, что мощное гравитационное поле искажает в своих окрестностях пространство и заметно преломляет свет. Позднее было доказано, что звездный свет, проходящий мимо края Солнца (что мы можем наблюдать во время солнечного затмения), смещается с предполагаемой своей позиции в пространстве ровно на ту величину, которую предсказал в свое время Эйнштейн. Самое великое, пожалуй, применение общей теории относительности — это описание нашей с вами расширяющейся Вселенной, в которой все пространство искривлено за счет суммарной гравитации сотен миллиардов галактик. Еще одно важное и в данный момент неподтвержденное предположение — существование «гравитонов»: частиц, которые несут в себе гравитационное взаимодействие

и сообщают друг другу о резких изменениях в условиях гравитационного поля, к примеру являющихся результатом взрыва сверхновой звезды.

Озон (O_3). Молекулы, состоящие из трех *атомов кислорода*, которые расположены в верхних слоях атмосферы Земли и выступают своего рода щитом, защищающим ее поверхность от *ультрафиолетового излучения*.

Окаменелость. Остаток или след, сохранившийся после древнего организма.

Окисление. Соединение (как процесс) с *атомами кислорода*, типично ассоциирующееся с ржавлением (коррозией) металлов при длительном воздействии на них кислорода, содержащегося в атмосфере Земли.

Организм. Живой объект.

Органическое соединение. Химическое соединение на основе *атомов углерода* в роли важного структурного элемента; по сути — молекулы на основе углерода. Обладает свойствами, связанными с *жизнью*.

Относительность. Общий термин, предназначенный для описания *специальной и общей теорий относительности Эйнштейна*.

Отсоединение. Эпоха в истории образования *Вселенной*, когда у *фотонов* впервые стало не хватать энергии взаимодействовать с *атомами*, из-за чего первые атомы смогли сформироваться и не распасться вследствие столкновений с фотонами.

П

Падающая звезда. Популярное название *метеора*.

Панспермия. Гипотеза о том, что жизнь из одной локальной среды может быть перенесена на другую, например с одной планеты Солнечной системы на другую; также называется космическим или межзвездным осеменением.

Парниковый эффект. Удержание *инфракрасного* излучения в атмосфере планеты, из-за чего повышается температура ее поверхности и ближайших к ней газовых слоев.

Первичная атмосфера. Исходная атмосфера планеты.

Перехват. Техника попыток обнаружения существующей *внеземной цивилизации* с помощью перехвата *радиосигналов*, которые используются этой цивилизацией для внутренних коммуникационных целей.

Планета. Объект, вращающийся вокруг другой звезды, который сам не является звездой и обладает размерами не менее размера Плутона; Плутон считается либо самой маленькой планетой Солнечной системы, либо одним из самых крупных объектов *пояса Койпера*, который слишком мал для того, чтобы считаться планетой.

Планета-гигант (гигантская планета). Планета, по размеру и составу похожая на Юпитер, Сатурн, Уран или Нептун, состоящая из твердого ядра из камня и льда и окружающих его широких слоев газа — в первую очередь, из *водорода* и *гелия*; масса такой планеты составляет не менее дюжины масс Земли и может превосходить ее даже в сотни раз.

Планетезималь. Объект намного меньше планеты по размеру, который способен вырасти до размеров и статуса планеты за счет многочисленных взаимных столкновений с другими объектами.

Постоянная Хаббла. Математическая постоянная, которую можно встретить в *законе Хаббла*: она объединяет удаленность от нас галактик с их скоростью удаления от нас.

Пояс Койпера. Материал, вращающийся вокруг Солнца на расстоянии от 40 астрономических единиц (примерное расположение Плутона) до нескольких сотен, где астрономическая единица равняется расстоянию от Солнца до Земли. Пояс представлен преимущественно останками *протопланетного диска* Солнца. Плутон является одним из самых крупных объектов пояса Койпера.

Приливы. Неровности, деформирующие объект вследствие *гравитационного воздействия* расположенного рядом другого объекта; они

появляются из-за того, что этот объект оказывает разное по силе гравитационное воздействие на разные части деформируемого объекта, потому что эти части находятся на разном расстоянии от источника гравитации.

Программа SETI. Программа поиска внеземных цивилизаций (от англ. Search for Extraterrestrial Intelligence).

Прокариот. Член одного из трех доменов жизни — одноклеточный организм, чей генетический материал хранится внутри всей клетки, а не ее четко ограниченного ядра.

Пространство-время. Математическое сочетание пространства и времени, которое рассматривает время как одну из координат со всеми правами и привилегиями, полагающимися пространству. С помощью *специальной теории относительности* было доказано, что самое точное описание природы достигается с использованием системы пространства-времени. Собственно, концепция требует, чтобы всем событиям были присвоены координаты не только в пространстве, но и во времени.

Протозвезда. Звезда в процессе формирования из большого облака газа и пыли, сжимающаяся под воздействием все возрастающего *собственного тяготения*.

Протон. *Элементарная частица* с одной единицей положительного *электрического заряда*, которая есть в *ядре* каждого *атома*. Число протонов в ядре атома определяет элементную суть этого атома. Например, если у *химического элемента* один протон, значит, это *водород*; два протона — *гелий*; а если протонов 92 — это уран.

Протон-протонный цикл. Совокупность трех реакций *ядерного синтеза*, с помощью которых большинство звезд синтезируют ядра *гелия* из *протонов*, преобразуя *энергию массы* в *кинетическую энергию*.

Протопланета. Планета на последних стадиях своего формирования.

Протопланетный диск. Диск газа и пыли, окружающий *звезду* в процессе ее образования, внутри которого и из которого могут образоваться отдельные планеты.

Пульсар. Объект, выделяющий с регулярными интервалами времени пульсоподобные дозы *фотонов радиоизлучения* (а зачастую также фотонов, обладающих еще большей энергией) в результате стремительного вращения *нейтронной звезды*, который создает *излучение* за счет того, что заряженные частицы ускоряются в мощном магнитном поле такой нейтронной звезды.

Р

Радиоактивный распад. Процесс спонтанного преобразования определенных типов атомных ядер в другие типы атомных ядер.

Радиоизлучение. *Фотоны* с самой большой *длиной волны* и самыми низкими частотами.

Радиус черной дыры. Расстояние величиной 3М километров для любого объекта массой М, выраженной в единицах, равных массе Солнца; также называется *горизонтом событий черной дыры*.

Разрешение. Свойство собирающего свет прибора — к примеру, камеры, телескопа или микроскопа — улавливать подробности объекта. Разрешение всегда улучшается с использованием бóльших зеркал или линз, однако подобное улучшение может быть нейтрализовано атмосферными искажениями, ведущими к потере резкости изображения.

Растворитель. Жидкость, способная растворить в себе другую субстанцию; жидкость, внутри которой могут плавать и взаимодействовать *атомы* и *молекулы*.

Расщепление. Разделение более крупных атомных ядер на два или более ядра меньшего размера. Расщепление любых ядер крупнее железа сопровождается выделением энергии. Такое расщепление (оно также называется атомным расщеплением) — источник энергии во всех современных ядерных заводах.

Реликтовое излучение. Океан *фотонов*, образовавшийся во Вселенной вскоре после *Большого взрыва*, который до сих пор наполняет Вселенную. Его текущая *температура* составляет 2,73 К.

Рентгеновское излучение. *Фотоны* с частотами выше, чем у *ультрафиолетового излучения*, но ниже, чем у *гамма-излучения*.

РНК (рибонуклеиновая кислота). Крупная сложная молекула, состоящая из тех же типов молекул, что и ДНК, которая отвечает за ряд очень важных процессов в живых клетках, включая передачу генетической информации, заложенной в ДНК, к местам образования *белков*.

С

Сверхмассивная черная дыра. *Черная дыра*, масса которой в несколько сотен раз больше массы Солнца.

Сверхновая звезда. *Звезда*, которая взрывается по окончании своего жизненного цикла, исчерпав свои возможности *ядерного синтеза*; в течение нескольких недель после взрыва она сияет так ярко (обладает столь высокой *светимостью*), что по объему выделяемой энергии сопоставима с полноценной самостоятельной *галактикой*. Сверхновые звезды производят и распространяют в межзвездном пространстве *химические элементы*, по весу превышающие *водород* и *гелий*.

Свет (видимый свет). *Электромагнитное излучение*, состоящее из фотонов, чьи *частоты* и *длины волн* попадают в пределы одноименного диапазона, расположенного между *инфракрасным* и *ультрафиолетовым* излучением.

Светимость. Суммарное количество *энергии*, выделяемой в секунду объектом в форме любого *электромагнитного излучения*.

Световой год. Расстояние, которое свет или *электромагнитное излучение* любой другой формы проходит за один год, равное примерно 10 триллионам километров или 6 триллионам миль.

Сильное взаимодействие. Одно из четырех базовых взаимодействий, всегда притягательное, которое возникает между нуклонами (протонами и нейтронами) и удерживает их друг рядом с другом внутри атомного ядра, но только в том случае, если они оказываются друг от друга на расстоянии не более 10^{-13} см.

Синее смещение. Смещение излучения в сторону более высоких частот и волн менее короткой длины, вызываемое, как правило, эффектом Доплера.

Синтез. Образование более крупных ядер из более малых. Когда в синтезе участвуют ядра меньше железа, выделяется энергия. Ядерный синтез — основной источник энергии для мирового ядерного оружия и для всех звезд Вселенной. Также называется термоядерным синтезом.

Скептицизм. Вопрошающее или сомневающееся состояние ума, которое лежит в основе научных исследований нашей Вселенной.

Скорость покидания. Для снаряда или космического корабля скорость покидания — это минимальная скорость, необходимая для того, чтобы, отправленный прочь с поверхности изначального объекта, он никогда не вернулся на нее, несмотря на гравитационное воздействие этого объекта.

Слабое взаимодействие. Одно из четырех базовых взаимодействий, вступающее в силу только между элементарными частицами на расстоянии не больше 10^{-13} см друг от друга и отвечающее за распад некоторых элементарных частиц на другие частицы. Недавние исследования показали, что слабое взаимодействие и электромагнитное взаимодействие представляют собой разные аспекты единого электро-слабого взаимодействия.

Собственное тяготение. Гравитационное воздействие каждой отдельной части объекта на все остальные его части.

Созвездие. Локальная группа звезд, наблюдаемая с Земли, получившая название в честь животного, планеты, научного инструмента или мифологического персонажа, которая изредка даже отражает своим названием фактическое очертание этой группы звезд. Всего в небе 88 созвездий.

Соединение (химическое соединение). Один из синонимов слова «молекула».

Солнечная система. Солнце и все объекты, что вращаются вокруг него, включая планеты, их спутники, астероиды, метеороиды, кометы и межпланетную пыль.

Солнечный ветер. Частицы, отброшенные от Солнца, в основном протоны и электроны, которые постоянно исходят потоками из внешних слоев Солнца; когда они делают это в особенно больших количествах, мы называем такое явление солнечной вспышкой или солнечным факелом.

Спектр. Распределение фотонов согласно их частотам или длинам волн, как правило представленное в виде графика, указывающего соответствующее количество фотонов для каждой конкретной частоты и длины волны.

Специальная теория относительности. Впервые представленная Альбертом Эйнштейном в 1905 году, данная теория предлагает обновленный свод понятий о пространстве, времени и движении. Теория основана на двух принципах относительности: (1) скорость света постоянна для всех и каждого независимо от методики и системы мер, в которой вы ее измеряете, и (2) законы физики одинаковы для каждого описываемого объекта или явления, статического или движущегося с постоянной скоростью. Позднее теория была дополнена описанием ситуаций, в которых присутствует ускорение, — так родилась *общая теория относительности*. Так сложилось, что два указанных Эйнштейном принципа относительности доказали свою состоятельность в каждом когда-либо проведенном эксперименте. Эйнштейн довел принципы относительности до ряда логических заключений и предсказал множество необычных концепций, включая следующие.

- ◆ Абсолютно одновременных явлений не существует. Одновременные для одного наблюдателя события могут быть отделены во времени для другого.

- ◆ Чем быстрее вы перемещаетесь, тем медленнее ваше продвижение во времени относительно кого-то, кто наблюдает за вами.
- ◆ Чем быстрее вы перемещаетесь, тем массивнее становитесь, поэтому двигатели вашего космического корабля теряют эффективность по мере набора вами скорости.
- ◆ Чем быстрее вы перемещаетесь, тем короче становится ваш космический корабль; все укорачивается в направлении движения.
- ◆ При достижении скорости света время останавливается, ваша длина составляет нуль, а ваша масса бесконечна. Осознав абсурдность подобного ограничения, Эйнштейн заключил, что достигнуть скорости света невозможно.

Эксперименты, разработанные для тестирования теорий Эйнштейна, подтвердили актуальность всех вышеуказанных прогнозов. Прекрасным примером служат частицы с периодом полураспада. По истечении предсказуемого отрезка времени половина из них, предположительно, должна распасться и превратиться в другие частицы. Когда такие частицы искусственным образом ускоряются практически до скорости света (в специальных ускорителях), их период полураспада вырастает ровно настолько, насколько в свое время предсказывал Эйнштейн. Чем быстрее они движутся, тем труднее становится дальнейшее их ускорение, что подразумевает, что их массы вследствие ускорения действительно вырастают.

Спиральная галактика. *Галактика*, представляющая собой сильно уплощенный диск звезд, газа и пыли, внутри которого визуально выделяются *спиральные ответвления (ветви)*.

Спиральная галактика с перемычкой. *Спиральная галактика*, в которой распределение звезд и газа в ее центральных регионах имеет вытянутую, сходную с перемычкой форму.

Спиральные ответвления (ветви). Спиралеобразные структуры внутри диска *спиральной галактики*, очертания которых обозначены самыми молодыми, раскаленными звездами с наибольшей све-

тимостью и облаками газа и пыли, из которых эти звезды недавно образовались.

Спутник. Относительно малый объект, вращающийся вокруг гораздо более крупного и массивного; если быть точнее, оба объекта в такой системе вращаются вокруг единого для них центра массы по орбитам, чьи размеры обратно пропорциональны массам этих объектов.

Спутник COBE (COsmic Background Explorer). Отправленный в космос в 1989 году спутник, который наблюдал за *реликтовым излучением* и первым обнаружил некоторую неравномерность в распределении этого излучения, идущего с разных направлений.

Спутник WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Запущенный в 2001 году спутник, предназначенный для исследования *реликтового излучения* с гораздо большей точностью, чем его предшественник, *спутник COBE*, смог обеспечить.

Сублимация. Переход из твердого состояния в газообразное или из газообразного в твердое, минуя жидкое.

Субмиллиметровое излучение. *Электромагнитное излучение, чьи частоты и длины волн лежат между аналогичными показателями инфракрасного и радиоизлучения.*

Сухой лед. Замороженный углекислый газ (CO_2).

Сфера. Единственное сплошное тело, у которого все до единой точки на поверхности равноудалены от центра этого тела.

Т

Тектоника плит. Медленное движение плит земной коры или коры других подобных планет.

Телескоп (гамма-телескоп, рентгеновский, ультрафиолетовый, оптический, инфракрасный, микроволновый, радиотелескоп). Астрономы разработали разные телескопы и детекторы для каждого

отдельного сегмента *спектра*. Некоторые сегменты спектра не достигают поверхности Земли. Так, чтобы разглядеть *гамма-, рентгеновское, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение*, которое исходит от многих космических объектов, такие телескопы должны быть выведены на орбиту, расположенную выше тех слоев земной атмосферы, что поглощает данные типы излучения. Дизайн и принцип работы телескопов могут различаться, но все они одинаковы с точки зрения следующих трех принципов: (1) они собирают *фотоны* (2) они фокусируют фотоны и (3) они записывают данные об этих фотонах с помощью каких-либо детекторов.

Телескоп JWST (James Webb Space Telescope). Космический телескоп, начало работы которого запланировано на второе десятилетие XXI века; ему предстоит превзойти по своим возможностям *телескоп Хаббла* за счет более крупного зеркала и более продвинутого оборудования.

Темная материя. Материя неизвестной формы, которая не выделяет *электромагнитного излучения*; ее существование было обнаружено по тому *гравитационному воздействию*, которое она оказывает на видимое вещество. Считается, что на долю темной материи приходится бóльшая часть всего вещества во Вселенной.

Темная энергия. *Энергия*, которую невозможно увидеть или обнаружить с помощью прямых методов измерения; ее количество зависит от размера *космологической постоянной*, и она провоцирует расширение пространства.

Температура. Мера средней *кинетической энергии* произвольного движения внутри заданной группы частиц. Согласно *абсолютной температурной шкале Кельвина* температура газа прямо пропорциональна средней кинетической энергии частиц этого газа.

Температурная шкала Кельвина (абсолютная шкала). *Температурная шкала*, названная в честь лорда Кельвина (Уильям Томсон, 1824–1907 годы) и разработанная в середине XIX века: согласно этой шкале самая низкая из возможных температур составляет 0 градусов. Температурные интервалы на этой шкале (обозначаемые К) соот-

ветствуют интервалам *температурной шкалы Цельсия*, поэтому по шкале Кельвина вода замерзает на уровне 273,16 градуса и кипит при 373,16 градуса.

Температурная шкала Цельсия. *Температурная шкала*, названная в честь шведского астронома Андерса Цельсия (1701–1744), который представил ее миру в 1742 году; согласно этой шкале вода замерзает при температуре 0 градусов и кипит при температуре 100 градусов.

Температурная шкала Фаренгейта. *Шкала температур*, названная в честь урожденного немецкого физика Габриэля Даниэля Фаренгейта (1686–1736), который представил ее в 1724 году; согласно этой шкале вода замерзает при температуре 32 градуса и кипит при 212 градусах.

Тепловая энергия. Энергия, образующаяся внутри объекта (твердого, жидкого или газообразного) за счет его атомных или молекулярных вибраций. Средняя *кинетическая энергия* этих вибраций и представляет собой *температуру*.

Термофил (термофильный организм). Организм, который успешно живет и развивается в высокотемпературной среде, включая температуру, почти равную точке кипения воды.

Термоядерный синтез. Альтернативное название *ядерного синтеза*, отдельно подчеркивающее необходимые для него высокие температуры («термо»); иногда также называется *сплавлением*.

Туманность. Диффузная масса газа и пыли, как правило освещенная изнутри молодыми звездами с высокой светимостью, которые недавно образовались из этого материала.

У

Углевод. *Молекула*, состоящая только из *атомов углерода, водорода и кислорода*; нередко атомов водорода в ней в два раза больше, чем атомов кислорода.

Углекислый газ. Молекулы двуокиси углерода (CO_2), в составе каждой из которых — один атом углерода и два атома кислорода.

Углерод. Химический элемент, состоящий из атомов, в ядрах которых по шесть протонов; его разные изотопы содержат в себе по шесть, семь или восемь нейтронов.

Ультрафиолетовое излучение. Фотоны с частотами и длинами волн, расположенные по этим двум показателям между видимым светом и рентгеновским излучением.

Ускорение. Изменение в скорости движения объекта или в его направлении (или и то и другое).

Ф

Формула Дрейка. Уравнение, впервые полученное американским астрономом Фрэнком Дрейком, которое отражает приблизительное количество цивилизаций с навыками межзвездного сообщения, существующих во Вселенной в данный или любой другой заданный момент времени.

Фотон. Элементарная частица без массы и электрического заряда, способная переносить энергию. Потоки фотонов образуют собой электромагнитное излучение и перемещаются в пространстве со скоростью света, преодолевая 299 792 км в секунду.

Фотосинтез. Использование энергии видимого света или ультрафиолетовых фотонов с целью образования углеводов молекул из углекислого газа и воды. В некоторых организмах сульфид водорода (H_2S), он же сероводород, играет ту же роль, что вода (H_2O) в большинстве фотосинтетических реакций, протекающих на Земле.

Х

Хромосома. Одна молекула ДНК, которая наряду с белками связана с этой молекулой и хранит генетическую информацию в субъеди-

ницах, называемых *генами*, а также может передавать эту информацию во время *размножения* клеток.

Ц

Цивилизация. В рамках *программы поиска внеземного разума SETI* представляет собой группу существ с возможностью межзвездного сообщения не менее низкого уровня, чем у нас на Земле.

Ч

Частота. Частота *фотонов* — это количество их колебаний или вибраций в секунду.

Черная дыра. Объект со столь громадным *гравитационным воздействием*, что ничто — включая свет — не может покинуть его окрестности, находясь в рамках определенного расстояния от центра черной дыры; это расстояние называется *радиусом черной дыры*.

Ш

Широта. Земная координата, определяющая в градусах положение точек на поверхности Земли с точки зрения их направления от экватора (нуль градусов) к Северному полюсу (90° северной широты) или к Южному полюсу (90° южной широты).

Э

Эволюция. В биологии — непрекращающийся результат *естественного отбора*, который при определенных условиях заставляет группы похожих организмов, называемых видами, меняться с течением времени

таким образом, чтобы их потомки основательно отличались от них по структуре и внешнему облику. В общем и целом любое постепенное изменение формы или состояния объекта можно считать эволюцией.

Экзопланета. Планета, которая вращается вокруг любой звезды, не являющейся Солнцем.

Экзосолнечный. Лежащий за пределами Солнечной системы. Созвучно с термином «экзобиология», который обозначает науку, изучающую формы жизни за пределами Земли.

Экстремофил. Организм, успешно развивающийся в условиях высоких температур, в среднем от 70 до 100 градусов по шкале Цельсия.

Эксцентриситет. Значение уровня вытянутости эллипса, равное отношению расстояния от центра эллипса до его фокуса к длине большой полуоси.

Электрический заряд. Врожденное свойство элементарных частиц, которое может приобретать положительное, отрицательное или нулевое значение; противоположные электрические заряды притягиваются, в то время как одинаковые электрические заряды отталкивают друг друга под воздействием электромагнитного взаимодействия.

Электромагнитное взаимодействие. Одно из четырех фундаментальных типов взаимодействий в природе, образующееся между частицами с электрическим зарядом и падающее пропорционально квадрату расстояния между двумя такими частицами. Недавние исследования показали, что это и слабое взаимодействие являются разными аспектами единого электрослабого взаимодействия.

Электромагнитное излучение. Потоки фотонов, которые уносят энергию прочь от источника такого фотонного излучения.

Электрон. Элементарная частица с одним отрицательным электрическим зарядом, которая вращается вокруг ядра атома.

Электрослабое взаимодействие. Объединенные электромагнитное и слабое взаимодействия, аспекты которых отличаются друг от друга при низких уровнях энергии, но объединяются при воздействии

с участием огромных объемов энергии — например, как в первые моменты существования *Вселенной*.

Элементарная частица. Фундаментальная природная частица, как правило неделимая. *Протоны* и *нейтроны* обычно называют элементарными частицами, хотя каждый из них, в свою очередь, все же состоит из трех субчастиц — *кварков*.

Элементы (химические элементы). Базовые составляющие компоненты вещества, отличающиеся друг от друга количеством *протонов* в атомных ядрах. Все обычное вещество во *Вселенной* состоит из 92 элементов диапазоном от самого малого атома — *водорода* (один протон в ядре) — до самого крупного из встречающихся в естественных условиях — *урана* (92 протона в ядре). Элементы тяжелее урана были получены искусственным путем в лабораториях.

Эллипс. Закрытая кривая, для которой справедливо, что сумма расстояний от любой точки на этой кривой до двух фиксированных точек внутри полученной фигуры (называемых фокусами) одинакова.

Эллиптическая галактика. Галактика с эллиптическим распределением звезд, в которой почти нет межзвездного газа или пыли; ее форма в двухмерной проекции напоминает эллипс.

Энергия. Способность производить работу; в физике под «работой» подразумевается количество силы, *воздействующей* на заданном расстоянии.

Энергия движения. См. «*Кинетическая энергия*».

Энергия массы. Выраженный в виде *энергии* эквивалент заданного количества массы, равный произведению массы на квадрат скорости света.

Энзим. Тип *молекулы* — *белка* или *РНК*, — который служит площадкой для взаимодействия молекул, становясь в том числе *катализатором* для ряда определенных молекулярных реакций.

Эукариот. Одно- или многоклеточный организм, который хранит свой генетический материал в каждой из своих клеток внутри защищенного мембраной ядра.

Эукариоты. Один из трех доменов существующих в природе организмов.

Эффект Доплера. Изменение в частоте, длине волн и энергии, которое можно наблюдать в фотонном излучении, идущем от источника, обладающего относительной скоростью приближения или удаления вдоль луча зрения наблюдателя по направлению к этому источнику. Эти изменения в частоте и длине волн представляют собой общее явление, которое происходит с любым типом волнового движения. Они не зависят от того, что именно является источником движения — наблюдатель или наблюдаемый источник излучения; роль играет только движение этого источника относительно луча зрения наблюдателя.

Я

Ядерный синтез. Соединение двух ядер под влиянием сильного взаимодействия, возможное только в том случае, если эти ядра окажутся на расстоянии друг от друга, сопоставимом с размером протона (10^{-13} см).

Ядро. (1) центральная область атома, состоящая из одного или более протонов и нуля или более нейтронов; (2) область внутри клетки эукариота, которая содержит ее генетический материал — в форме хромосом; (3) центральный регион галактики.

Нил Деграсс Тайсон, Дональд Голдсмит

**История всего: 14 миллиардов лет
космической эволюции**

Перевела с английского М. Герман

Заведующий редакцией

Ведущий редактор

Литературный редактор

Корректоры

Верстка

О. Сивченко

Н. Гринчик

О. Андриевич

Т. Курьянович, Е. Павлович

Г. Блинов

ООО «Питер Пресс», 192102, Санкт-Петербург, ул. Андреевская (д. Волкова), 3, литер А, пом. 7Н.

Налоговая льгота — общероссийский классификатор продукции ОК 034-2014, 58.11.12 —

Книги печатные профессиональные, технические и научные.

Подписано в печать 30.09.15. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Усл. п. л. 22,000.

Тираж 3000. Заказ 3749.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных издательством материалов
в Первой Академической типографии «Наука». 199034, Санкт-Петербург, 9-я линия, 12/28.



Нил Деграсс Тайсон,
Дональд Голдсмит

.....

ИСТОРИЯ ВСЕГО

14 миллиардов лет
космической эволюции

.....

Наше происхождение началось не на Земле, а, на самом деле, в космосе. Основываясь на научных открытиях и исследованиях, где пересекаются несколько наук — геология, биология, астрофизика и космология, — вы узнаете, как сформировались наши знания о космосе. В этой книге Нил Деграсс Тайсон и Дональд Голдсмит отправят вас в космический тур, где вы узнаете о рождении галактики, исследованиях Марса, об открытии воды на одной из лун Юпитера и многое другое.

Нил Деграсс Тайсон — астрофизик, сотрудник Американского Музея Естественной Истории, директор всемирно знаменитого Хейденского планетария, автор бестселлеров «Space Chronicles», «Death by Black Hole» и «The Pluto Files». Живет в Нью-Йорке.

Дональд Голдсмит — автор научно-популярных книг по астрономии, его перу принадлежит более 20 работ. Голдсмит живет в городе Беркли, штат Калифорния.



Заказ книг:

Санкт-Петербург
тел.: (812) 703-73-74, postbook@piter.com

www.piter.com — каталог книг и интернет-магазин



NORTON

ISBN: 978-5-496-01745-9



9 785496 017459