

М. Рис

НАША КОСМИЧЕСКАЯ ОБИТЕЛЬ





MARTIN REES

OUR COSMIC HABITAT

PRINCETON UNIVERSITY PRESS

PRINCETON, NEW JERSEY

МАРТИН РИС

НАША КОСМИЧЕСКАЯ ОБИТЕЛЬ

Перевод с английского Н. А. Зубченко
Под редакцией к. ф.-м. н. И. С. Мамаева



Москва ♦ Ижевск

2002

Интернет-магазин

MATHESIS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
 - математика
 - биология
 - техника
-

Рис М.

Наша космическая обитель. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002, 192 стр.

Эта в высшей степени увлекательная книга исследует потрясающие следствия положительного ответа на знаменитый вопрос Эйнштейна: «А мог ли Бог создать этот мир по-другому?»

Автор рассматривает мнение о том, что наша Вселенная является лишь частью огромного «мультиверса», или ансамбля вселенных, в большинстве из которых нет жизни. Согласно такому сценарию наша космическая обитель — это всего лишь особая, возможно, уникальная Вселенная, где превалирующие законы физики позволили зарождение жизни. Именно об этом и повествует книга.

Написанная живым, доступным языком книга, несомненно, будет интересна широкому кругу читателей.

ISBN 5-93972-184-2

© Перевод на русский язык,
Институт компьютерных исследований, 2002

<http://rcd.ru>

Я осознал, что нахожусь на небольшой горошине из камня и металла, покрытой тончайшей пленкой воды и воздуха, кружащейся в солнечном свете и темноте. И на кожице этой крохотной горошины толпы людей, поколение за поколением, жили, ослепленные, в труде, со случайными всплесками веселья и случайной же прозорливостью духа. И вся их история, с кочующими племенами, империями, философиями, надменными науками, социальными революциями, растущей жаждой общества, была всего лишь мигом в одном дне жизни звезд.

ОЛАФ СТЕПЛДОН
Создатель звезд (1937)

Оглавление

Предисловие	7
Пролог. «Мог ли Бог создать этот мир иным?»	9
Часть I. От Большого взрыва к биосферам	15
ГЛАВА 1. Звезды и планеты	17
ГЛАВА 2. Жизнь и разум	27
ГЛАВА 3. Атомы, звезды и галактики	44
ГЛАВА 4. Внегалактическая перспектива	57
ГЛАВА 5. Догалактическая история	72
ГЛАВА 6. Черные дыры и машины времени	91
Часть II. Начало и конец	99
ГЛАВА 7. Замедление или ускорение?	101
ГЛАВА 8. Перспективное будущее	112
ГЛАВА 9. Как все началось: первая миллисекунда	120
Часть III. Основы и гипотезы	133
ГЛАВА 10. Космос и микромир	135
ГЛАВА 11. Законы и устав в мультиверсе	148
Приложение. Масштабы структуры	170
Примечания	173
Предметный указатель	183

Предисловие

Для меня лестным было приглашение выступить перед слушателями на тему «Наша космическая обитель» на первых Скрибнеровских лекциях — новом ежегодном курсе, финансируемом совместно Принстонским университетом и его издательством. Одновременно оно и обескураживало, ведь именно Принстон является одним из ведущих мировых центров по изучению космологии; я обычно езжу туда пополнять знания, нежели преподавать.

Один из наиболее выдающихся исследователей в Принстоне, профессор Джон А. Уилер, тонко подметил: «Время — выдумка Природы, призванная останавливать одновременно происходящие явления». В ответ я предположил более легкомысленно: «Господь изобрел пространство для того, чтобы не всем явлениям приходилось происходить в Принстоне».

Однако многое в изучении космологии сделано именно там, и с моей стороны, возможно, безрассудством было выбрать тему, исследованную в Принстоне много глубже. И все же мои лекции адресованы не здешним ученым: я ставил целью расширить некоторые глубоко научные вопросы, выделяя новые направления так, чтобы они были понятны широкой аудитории.

В этой книге я определил более умозрительную последовательность рассматриваемых вопросов, акцентируя внимание на наименее известных.

Ректор Принстонского университета, Джереми Острайкер, оказал мне честь, пригласив меня читать Скрибнеровские лекции. Я благодарю его, а также других своих друзей

и коллег, в особенности Дж. Ричарда Готта, за их гостеприимство и поддержку. Я также благодарю Уолтера Липпинкотта, Тревора Липскума и Фреда Эппела из издательства университета за их практическую помощь во время моего визита, Элис Кэлапрайс и Джо Висновски за редакторскую правку при подготовке этой книги и Ричарда Суорда за выполнение рисунков.

Пролог. Мог ли Бог создать этот мир иным?

Самая глубокая тайна заключается в том, почему что-либо существует вообще. Что вдыхает жизнь в уравнения физики и воплощает их в реальном космосе? Подобные вопросы, впрочем, не относятся к области точных наук: привилегия их решения принадлежит философам и богословам. В науке же главная проблема — понять, как простое событие генезиса, которое можно описать несколькими словами, через 13 миллиардов лет привело к развитию того сложного космоса, частью которого мы являемся. Был ли этот результат «естественным», или же нам стоит удивиться случившемуся? Возможны ли другие вселенные? Сегодня ученые всерьез рассматривают такие вопросы, прежде относившиеся к области спекуляции. История космологии насчитывает тысячелетия, но никогда ранее она не продвигалась в концептуальном плане столь быстрыми темпами, как в начале двадцать первого века.

Солнце и небесные тела есть часть окружающей нас среды — нашей космической родины. Гении изобразительного искусства и мистицизма солидарны в этом с учеными. Тому можно найти бесчисленные свидетельства в произведениях искусства. Д. Г. Лоуренс писал: «Я — часть Солнца, как мой глаз — часть меня». «Звездная ночь» Ван Гога написана в том же духе, что и его пейзажи с полями кукурузы и подсолнухами.

Наука обладает свойством углублять наше чувство близости к неземному. На размерной шкале мы находимся между космосом и микромиром. Если массу Солнца измерить в человеческих телах, то их потребуется столько же, сколько атомов образует тело каждого из нас. Наше существование зависит от способности атомов слипаться и образовывать сложные молекулы, из которых состоят и все живые ткани. Что касается атомов кислорода и углерода, из которых состоят наши тела, то они появились на далеких планетах, живших и погибших миллиарды лет назад.

Технические достижения двадцатого века, в особенности последних десятилетий, помогли нам лучше понять нашу космическую родину. Космические исследовательские станции передали на Землю материалы фотосъемки всех планет нашей Солнечной системы: новые технологии позволили мировой общественности наблюдать захватывающее освоение космоса. Более миллиона посетителей интернета практически в реальном времени увидели снимки кометы, упавшей на Юпитер; снимки эти были получены с Hubble Space Telescope*. В течение первого десятилетия двадцать первого века космические исследовательские станции прокатятся по поверхности Марса и даже облетят вокруг него; они приземлятся на Титане, самой гигантской из лун Сатурна; они соберут и доставят на Землю образцы почвы Марса.

Наша Вселенная простирается в миллионы раз дальше видимых нами самых отдаленных звезд — до тех галактик, свет которых доходит до Земли лишь через 10 миллиардов лет. Названия причудливых космических объектов: квазары, черные дыры и нейтронные звезды, — вошли в общепринятую лексику, если не в общественное сознание. Мы узнали, что бóльшая часть материи космоса отнюдь не состоит из привычных для нас атомов: она образована загадочными темными частицами, или энергией, которая скрыта в пространстве. Теперь мы можем представить себе Землю в процессе эволюции, начавшейся задолго до появления нашей Солнечной системы — именно с того первичного события, положившего начало всему кос-

*Космический телескоп Хаббл — Прим перев

мосу, развившемуся из некоего микроскопического организма.

Более глубокое изучение природы пространства и времени может расширить наше понимание космоса и включить в него вселенные, существующие за пределами нашей. При этом могут появиться дополнительные пространственные измерения и иные понятия, настолько выходящие за пределы возможностей нашего разума, что мы с трудом сможем их понять, если сможем вообще. Более остального поражает тот факт, что эта затея вообще сдвинулась с места.

Общество воспринимает Альберта Эйнштейна не как целеустремленного и честолюбивого исследователя, каким он был в юности, но как доброго и немного неопрятного мудреца в бытность его в Принстоне в более поздние годы жизни. Чаше иных цитируют такой его афоризм: «Самое непостижимое из свойств Вселенной есть ее постижимость». В такие слова он облакал удивление тому, что законы физики, которые каким-то образом нам понятны, действуют не только на Земле, но и всюду, куда ни посмотреть. Наша Вселенная могла оказаться беспорядочным местом, где атомы и управляющие ими силы в пределах космоса отличались бы от тех, что мы можем изучить на Земле. Но атомы даже в самых далеких галактиках практически идентичны атомам, изучаемым в наших лабораториях. Если бы атомы не обладали таким многое упрощающим свойством, наш прогресс в понимании космоса был бы куда менее значительным.

Но как быть с множеством недоступных пониманию вещей? Самый обескураживающий вызов бросает нам биосфера с ее безмерной сложностью и разнообразием организмов, экосистем и разумов. Меня интересуют вопросы, которые я искренне считаю более простыми: определение основных законов, действующих в масштабе микромира атомов и макромира космоса, а также понимание того, как благодаря этому возникли планеты, звезды и галактики, что на определенном этапе развития привело к зарождению жизни.

В последние годы двадцатого столетия появилась новая область исследований: обнаружение планет у других

звезд. Скоро картина ночного неба будет более занимательной. Звезды станут для нас не просто светящимися точками: у многих из них появится явная свита планет, главные свойства которых будут нам известны. Существуют ли на этих планетах разумные существа или хотя бы самые примитивные формы жизни?

Если инопланетяне реальны и если нам удастся установить с ними контакт, что может стать нашей общей культурой? Ответ очевиден: наша космическая обитель. Несмотря на различия эволюции, инопланетяне все же могут состоять из атомов, управляемых теми же силами, что управляют и нами. Если бы инопланетян были глаза и небо в их мире было ясным, они бы увидели те же звезды и галактики, что и мы. Нас и их разделяли бы огромные пространственные и временные расстояния. Разумные инопланетяне уже, возможно, нашли ответ на вопросы: что предшествовало Большому взрыву? чем вызваны гравитация и масса? бесконечна ли Вселенная? каким образом атомы объединились — хотя бы на одной из планет вокруг одной из звезд — в существа, способные размышлять над подобными загадками? Такие вопросы до сих пор ставят всех нас в тупик. Вряд ли «конец науки» столь близок, судя по всему, мы только начали исследование космоса.

Для связи между космосом и микромиром необходим переворот. В двадцатом веке физическая наука ограничилась двумя крупными открытиями: теорией квантов (действующей во «внутреннем пространстве» атомов) и теорией относительности Эйнштейна, описывающей время, мировое пространство и гравитацию, но не затрагивающей квантовые эффекты. Структуры, созданные на основе этих открытий, доныне не имеют общих элементов. Пока не существует единой теории сил, управляющих одновременно космосом и микромиром, мы не сможем понять основ устройства нашей Вселенной: ведь эти свойства присущи ей с самого рождения, когда все было сжато настолько, что квантовые колебания могли бы потрясти целую Вселенную.

В поздние годы жизни Эйнштейн сосредоточил свое внимание на проблемах, которые, судя по всему, привлекут б'ольший интерес в двадцать первом веке, нежели в два-

дцатом. Последние тридцать лет жизни он потратил на бесплодные (и, как показало время, преждевременные) поиски единой физической теории. Появится ли такая теория — сочетающая теорию гравитации с квантовым принципом и преобразующая наше представление о пространстве и времени — в ближайшие десятилетия?

Разумно ставить на концепцию, называемую «теория суперструн», или М-теория, в которой каждая точка пространства в действительности является плотно сплетенным узором в шести дополнительных измерениях, настолько скрученным, что размер его, возможно, в миллиарды миллиардов раз меньше ядра атома, а частицы представлены вибрирующими петлями «струны». Эту сложную математическую теорию и то, что на сегодняшний день мы можем измерить, разделяет пропасть. Однако сторонники этой теории убеждены в том, что теория струн имеет под собой реальные основания и ее нужно рассматривать всерьез.

Вселенная, благосклонная к жизни, — можно назвать ее *биофиличной* — должна во многом быть особенной. Предпосылки любой жизни — долговечных стабильных звезд, периодической таблицы атомов со сложной химией и т. д. — подчиняются законам физики и не могли возникнуть после Большого взрыва с каким-то иным составом. Многие составы ведут к образованию мертвых вселенных, где нет атомов, химических элементов и планет; или вселенных, слишком кратковременных или пустых для возможности развития в них чего-либо, кроме стерильной однородности. Такой особый состав кажется мне глобальной тайной, которую не стоит отмечать как грубый факт.

Разгадка нами этой тайны будет зависеть от ответа на другой вопрос Эйнштейна: «Мог ли Бог создать этот мир иным?». Наша Вселенная, наряду с действующими в ней законами физики, может оказаться уникальным следствием фундаментальной теории — иными словами, для Вселенной природа могла предусмотреть только один «рецепт». Или же, основополагающие законы могли допускать множество сочетаний, ведущих к появлению различных вселенных, и такие вселенные действительно могут существовать.

Мы не знаем, какой из этих вариантов главенствует. Ответ сможет дать лишь успешная фундаментальная те-

ория, а предсказывать его было бы необоснованно самоуверенным. Однако в этой книге рассматриваются захватывающие последствия утвердительного ответа на вопрос Эйнштейна, сформулированного в заголовке пролога: да, у Бога действительно был выбор. Сущес, обычно называемое Вселенной, — вся область, изучаемая астрономами, или последствия «нашего» Большого взрыва, — здесь рассматривается как один небольшой элемент или атом, из бесконечного, весьма разнообразного ансамбля. В этом «мультиверсе» действует некоторая совокупность фундаментальных законов, а так называемые законы природы — не более чем принципы местного действия, результат исторических случайностей, произошедших в первые мгновения после нашего Большого взрыва.

В этой книге я доказываю, что концепция мультиверса уже является частью эмпирической науки: возможно, у нас уже есть свидетельства существования других вселенных, из чего мы могли бы сделать некоторые выводы как в отношении самих вселенных, так и «рецептов», приведших к их появлению. В бесконечном ансамбле существование некоторых вселенных, не создающих преград для жизни в них, не вызывает удивления; в этом случае наша собственная космическая обитель просто относится к этому необычному подмножеству. А вся наша Вселенная — это плодородный оазис в мультиверсе.

Часть I

**От Большого взрыва
к биосферам**

Глава 1

Звезды и планеты

Солнце

«Пока эта планета вращается по установленному закону гравитации, наиболее прекрасные формы развиваются из самого элементарного». Это знаменитые заключительные слова труда Чарльза Дарвина «*О происхождении видов*».

Гений Дарвина заключался в понимании того, как «естественный отбор удачных вариаций» мог преобразовать примитивные организмы, (зародившиеся, по его мнению, в «теплой лужице») в разнообразные удивительные создания, ползающие, плавающие или летающие по Земле. Но это превращение — беспорядочный, самодостаточный процесс — по природе своей происходит очень медленно. Дарвин считал, что до завершения его пройдет ни много ни мало — сотни миллионов лет. Столь огромный временной промежуток, по-видимому, не очень беспокоил его, так как ко времени его исследований геологи уже объявили, что именно в течение такого времени происходило формирование горной системы и всего ландшафта Земли. И действительно, в первом издании своей книги Дарвин оценил скорость эрозии обширной равнины неподалеку от своего дома в графстве Кент, и предположил, что возраст этой геологической единицы — никак не менее 300 миллионов лет. Он настаивал на том, что «в таком взгляде на жизнь есть величие». Для современных ему ученых девятнадцатого века

столь огромная шкала, по сравнению с более ограниченными временными промежутками традиционной западной космологии, была непривычна.

Тем не менее, существовали некоторые факты, опровергающие такой возраст Земли. Лорд Кельвин, один из знаменитейших физиков своего времени, подсчитал, что для выхода тепла из расплавленного ядра Земли потребовалось бы всего несколько миллионов лет. Он заявил также, что само Солнце излучало свою внутреннюю энергию с такой скоростью, что запас ее истощился бы за 10 миллионов лет. Суждения Кельвина имели большой вес: «Можно с уверенностью сказать, — писал он, — что жители Земли не смогут наслаждаться необходимыми для их существования светом и теплом в течение многих миллионов лет, если только в огромном хранилище созидания не припасены для нас какие-то пока неизвестные источники тепла»¹. Американский геолог Томас Чемберлен парировал: «... возможно, нет более хитрого и опасного заблуждения, чем продуманный и изящный математический процесс, построенный на неподтвержденных гипотезах».

Эти слова написаны Чемберленом в 1899 году, но сегодня они вызывают особый резонанс. В последующих главах я буду рассказывать о некоторых интеллектуально заманчивых теориях, которые, возможно, объясняют большинство основных свойств нашей физической Вселенной — причины именно такого ее расширения, нахождения в ней атомов (и других частиц), величину сил взаимодействия между ними и саму природу космического пространства. Однако самые смелые и претенциозные из этих теорий по-прежнему основаны на «неподтвержденных гипотезах».

Еще до смерти Кельвина достижения физики опровергли его предположения. Открытие Анри Беккерелем в 1896 году загадочного излучения урана стало первым свидетельством существования незнакомой до того времени энергии, скрытой в атомах, а также подсказало, что на самом деле может быть топливом для Солнца. Более того, ученые поняли, что энергия, высвобождаемая при радиоактивном распаде в ядре Земли, могла бы пополнить запасы расходуемого тепла. Однако точные реакции, благодаря ко-

торым Солнце светит уже 10 миллиардов лет и, вследствие сил гравитации не распадается на части, были определены, лишь когда ученые смогли лучше понять строение ядра атома.

К тридцатым годам двадцатого столетия было доказано, что атом состоит из положительно заряженного ядра, окруженного вращающимися по орбитам электронами с отрицательным электрическим зарядом. Атомы различных элементов отличаются друг от друга зарядом своего ядра и количеством электронов, его нейтрализующих. Для атома водорода это один электрон, а для атома урана, самого тяжелого из встречающихся, — 92. Химические свойства различных элементов были известны уже в девятнадцатом веке, когда великий русский химик Дмитрий Менделеев предложил периодическую таблицу элементов, отражавшую определенные закономерности и связи разных групп элементов. В начале двадцатого века новая квантовая теория предложила естественное объяснение этих закономерностей, демонстрируя их зависимость от точных орбит электронов, окружающих ядра атомов.

Сами ядра атомов состоят из протонов и нейтронов: количество протонов определяет электрический заряд ядра и место элемента в периодической таблице. Ядро гелия, второго простейшего элемента, состоит из двух протонов и двух нейтронов. Оно весит на 0,7% меньше четырех частиц, составляющих его, и эта разница в массе соответствует (согласно знаменитому уравнению Эйнштейна $E = mc^2$) количеству энергии, высвобождаемой при превращении водорода в гелий. При ядерном синтезе высвобождается в миллион раз больше энергии на килограмм вещества, чем при любой из химических реакций — горении или взрыве. Подтверждением тому служит сила воздействия водородной бомбы. В результате протекающих химических процессов вращающиеся электроны просто изменяются или перестраиваются; а ядерный синтез высвобождает намного большее количество энергии в самих ядрах.

Первым расчетом процесса синтеза, происходящего в звездах наподобие Солнца, мы обязаны проницательности трех великих физиков. Первый — русский ученый Георгий Гамов, один из пионеров космологической теории Большо-

го взрыва, с которым мы снова встретимся в главе 5. Гамов с помощью новой квантовой теории определил, какой должна быть температура ядра Солнца, чтобы синтез водорода происходил непрерывно. Карл Фридрих фон Вайцзеккер и Ханс Бете составили подробные цепные реакции. Оба этих выдающихся (и в то время молодых) ученых — немцы; хотя, уже будучи признанным пионером ядерной физики, Бете в тридцатые годы двадцатого века переехал в США. Удивительно, но и в начале двадцать первого века он все еще занимается этой наукой.

Наша концепция жизненного цикла Солнца представлена на рис. 1.1 во временном формате, причем промежуток между последовательными структурами составляет 150 миллионов лет. ПротоСолнце конденсировалось из облака диффузного межзвездного газа. Гравитация обеспечила взаимное притяжение частиц до такой степени сжатия центра облака, чтобы оно стало достаточно горячим, чтобы начался ядерный синтез, в процессе которого водород превращается в гелий со скоростью, достаточной для уравновешения тепла, излучаемого поверхностью облака. Пока в этой реакции было использовано менее половины водорода, содержащегося в центре Солнца, хотя Солнцу уже 4,5 миллиарда лет. Солнце будет светить в последующие 5 миллиардов лет. Затем оно раздуется и превратится в «красный гигант», достаточно большой и яркий для того, чтобы поглотить внутренние планеты и испарить всю жизнь на Земле. Во время этой фазы «красного гиганта», длящейся около 500 миллионов лет, продолжится горение водорода в оболочке вокруг гелиевого ядра. Затем Солнце подвергнется быстрым пульсациям, вызванным начавшимся в ядре синтезом гелия. В ходе этой реакции взорвутся некоторые внешние слои, составляющие примерно четверть от общей массы Солнца. Оставшаяся субстанция превратится в белый карлик — плотную звезду, состоящую из пыли, и размером не больше Земли, — который будет освещать голубоватым светом, не ярче привычной нам полной Луны, остатки Солнечной системы.

Для иллюстрации такого обширного временного пространства воспользуемся аналогией. Представьте себе про-

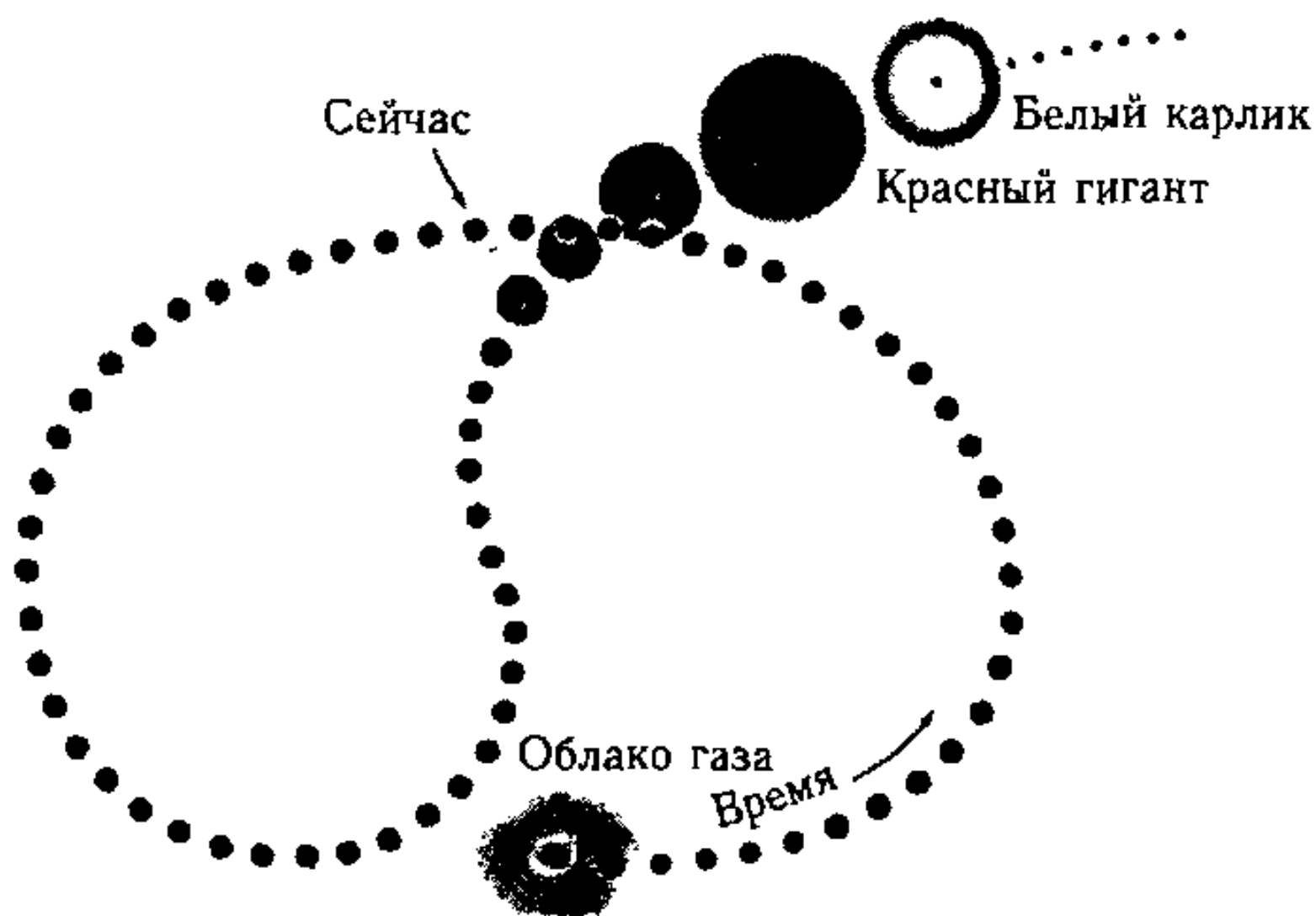


Рис. 1.1. Описание жизненного цикла Солнца во времени. Сейчас фаза сгорания водорода, протекающая в течение 10 миллиардов лет, находится примерно на середине.

гулку по Америке, начавшуюся в Нью-Йорке с рождением Солнца и закончившуюся в Калифорнии с его смертью. Чтобы совершить эту прогулку, вам пришлось бы делать шаг через каждые 2000 лет. Вся история человечества уложилась бы в несколько шагов. Более того, эти шаги располагались бы примерно на полпути — скажем, где-нибудь в Канзасе, а не в конечном пункте путешествия. Так и у нашего Солнца впереди простирается много больше времени, чем позади; а всю нашу Вселенную, возможно, ожидает бесконечное будущее.

Может быть, мы все еще недалеко ушли от определенного Дарвином «простого начала»: если жизнь не погибнет преждевременно, наши потомки через много веков обязательно будут жить далеко за пределами этой планеты. Даже если в настоящий момент жизнь существует только на Земле, для того, чтобы «озеленить» всю галактику и даже выйти за ее пределы, времени предостаточно.

Другие Солнечные системы

В начале двадцатого века ученые склонны были считать, что наша Солнечная система является результатом столкновения нашего Солнца с проходившей мимо звездой, вырвавшей из Солнца поток газа. Этот поток сгустился в капли, каждая из которых представляла собой протопланету. Однако стоит отметить, что в пространстве звезды расположены на значительном расстоянии: если рассмотреть модель Солнечной системы, в которой Солнце имеет размер теннисного мяча, то ближайšie к нему звезды будут удалены от него и друг от друга на тысячи километров. Поэтому столкновения планет были бы слишком редкими; и столь же редкими были бы планетарные системы, будь эта теория правильной. Такие «катастрофные» взгляды оказались в немилости во второй половине прошлого столетия. Астрономы предпочли иную теорию, согласно которой планеты естественным образом сопутствуют формированию звезды.

При сжатии межзвездного газа в звезду плотность его повышается в миллиарды миллиардов раз. Любой самый малый вихрь в потоке первичного газа при коллапсе усилился бы настолько (космический аналог того, что происходит, когда фигурист, выполняющий пируэт, прижимает к себе руки), что центробежные силы предотвратили бы сжатие газа в звезду. Вместо этого любая первичная звезда, едва сжавшись, естественным образом закручивает вокруг себя диск. В этих дисках, состоящих из газа и пыли, заполняющей межзвездное пространство, частицы пыли слипаются и образуют твердые «частицы малых планетарных размеров», которые, в свою очередь, сливаются в планеты.

Недавно в туманности Ориона и других созвездиях были обнаружены диски, окружающие формирующиеся протозвезды. Открывшие их ученые придумали для них название «пропиды» — сокращение от «диски протопланет». Пропиды являются естественными спутниками рождения любой звезды, поэтому есть все основания полагать, что другие звезды окружены сонмами планет.

Даже если бы эти планеты вращались вокруг одной ближайших к нам звезд, они столь тусклы, что их невоз-

можно увидеть в современные телескопы. Планета светится во много раз слабее породившей ее звезды во много раз — так Венеру и Юпитер мы видим намного более тусклыми, чем наше Солнце. Хотя в последние годы появилась возможность косвенного нахождения планет: по их влиянию на материнскую звезду. Ученые обнаружили, что некоторые звезды колеблются относительно своего обычного положения, как если бы вокруг них вращались планеты. Планета тянет звезду по небольшой орбите в обратном направлении, подобно упирающемуся на поводке щенку.

Первооткрывателями в этой области стали два швейцарских астронома — Мишель Майор и Дидье Кело. Они провели спектральный анализ света близкой к нам звезды Персей 51, очень похожей на Солнце, чтобы определить, выказывает ли она небольшие изменения в цвете (или, говоря на языке физики, в длине световой волны). Если объект движется по направлению к нам, световые волны собираются в пучок и длина волны уменьшается — другими словами, волны сдвигаются к фиолетовому краю спектра. И наоборот, если источник света удаляется, свет становится красным. Это свойство аналогично так называемому эффекту Доплера для звуковых волн, когда частота возрастает по мере приближения источника. (В свое время этот изученный сейчас эффект Доплер демонстрировал на примере игры трубачей, ехавших в железнодорожном вагоне.) Майор и Кело обнаружили небольшие сдвиги света звезды Персей 51 в сторону фиолетового, затем в сторону красного, затем опять к фиолетовому краю спектра; последовательность колебаний подчинялась некоторой закономерности. Эта закономерность предполагала почти круговое движение звезды, вызываемое невидимой планетой: планета и звезда вращаются вокруг общего центра масс, поэтому планета заставляет двигаться и звезду. Размер упомянутой планеты приблизительно равняется размеру Юпитера, и вращается она со скоростью примерно 50 км/сек. Скорость вращения самой звезды составляет лишь 50 м/сек — в тысячу раз медленнее планеты, так как звезда в тысячу раз тяжелее.

Открытие этих незначительных колебаний было настоящим достижением техники. На сегодня титул чемпио-

нов по поиску планет принадлежит Джеффри Марси и Полу Батлеру из Калифорнии. Для обнаружения планет вокруг множества других звезд они использовали ту же методику, что и Майор с Кело. При этом способе измеряется лишь часть движения звезды по линии зрения — малое движение *поперек* луча зрения не проявляется как доплеровское смещение. Хотя вскоре с помощью специально оборудованных телескопов по небольшим изменениям положения звезды на небе можно будет выявить незначительное колебание из стороны в сторону, вызванное вращением по ее орбите планеты. В 1999 году Марси и Батлер обнаружили, что близкую звезду Ипсилон Андромеда окружают, по меньшей мере, три планеты размером с Юпитер: одна — на очень близкой круговой орбите с периодом 4,6 дней и две другие, вращающиеся медленнее, — на отдаленных орбитах. В настоящее время выявляется все больше звезд, окруженных вращающимися планетами. Системы поражают разнообразием: есть планеты, масса которых приблизительно в 20 раз превышает массу Юпитера; орбитальный период вращения может составлять всего несколько дней; орбиты иногда почти круговые, но в большинстве своем имеют форму эллипса.

Конечной целью исследований, конечно же, является получение четкого и чувствительного изображения, показывающего непосредственное вращение планет. Такое изображение мы получим только в будущем. Хотя некоторые ученые заявили, что планеты проявляют себя как-то иначе — например, вызывая небольшие изменения видимой яркости света материнской звезды. Каждый раз, как только планета, двигаясь по орбите, пройдет по диску звезды (как в нашей Солнечной системе Венера иногда проходит по диску Солнца), звезда будет слегка тускнеть. Эта методика применима, конечно, только в том случае, если луч нашего зрения практически совпадает с плоскостью орбиты.

Другие Земли?

Далеким планетам, вращающимся вокруг звезд, подобных Солнцу, примерно равны по размерам Юпитеру или Сатурну. Но есть все основания считать эти планеты круп-

нейшими планетами других «солнечных систем», в которых меньшие по размеру планеты отыскать еще не представляется возможным. Планеты размером с Землю породили бы движения центральной звезды, измеряемые в см/сек, а не в м/сек; эти движения слишком малы, чтобы обнаружить их с помощью современных технических средств. Эти планеты сложно выявить и какими-либо иными способами. Если бы такая планета прошла по диску звезды, яркость последней снизилась бы менее чем на одну десятитысячную. Более всего остального для наблюдения такого малейшего потускнения подошло бы использование телескопа в космическом пространстве, где свет звезд не подвержен влиянию атмосферы Земли и, следовательно, более стабилен. Разработанная в Европе космическая программа «Эддингтон», названная в честь знаменитого английского астронома, сможет обнаружить в следующем десятилетии прохождения планет, подобных Земле, по диску ярких звезд. В перспективе рассматривается возможность прямого наблюдения планет размера Земли, вместо простого угадывания их по косвенным признакам. Для выполнения этого пункта программы понадобится огромная сеть телескопов в космическом пространстве — и это вовсе не сумасбродство.

Находясь в Англии, я с интересом и восхищением наблюдаю за космической программой США. Она много обширнее европейской, причем масштаб ее является наследием конкуренции сверхдержав. Меня приводит в восторг Международная космическая станция. Хотя неизмеримо приятнее было узнать о том, что в чем-то фанатичный главный исполнитель NASA Дэн Голдин сосредоточил менее дорогостоящую автоматическую программу на научной теме «Происхождение», основной упор в которой делается на так называемую «Terrestrial Planet Finder»*, способную обнаруживать такие малые, как наша Земля, планеты. В Европе разрабатывается подобный проект под названием «Дарвин»².

Всех нас в юности обучали основам устройства нашей собственной Солнечной системы: рассказывали о размерах

* Система поиска планет земной группы. — Прим. перев.

девяяти основных планет и о том, как они движутся вокруг Солнца. Но через двадцать лет мы сможем раскрыть своим внукам более чарующую картину звездного неба. Ближние звезды перестанут быть лишь светящимися точками — мы будем считать их Солнцами других солнечных систем. Мы изучим орбиты планет из свиты каждой звезды, а равно и размеры (и даже некоторые топографические подробности) более крупных планет.

Более остального нас интересуют возможные двойники нашей Земли — планеты того же размера, вращающиеся вокруг других, подобных Солнцу, звезд, с умеренными климатическими условиями. Нам по сей день не известно количество таких планет.

Кстати, большинство уже открытых систем разительно отличаются от нашей Солнечной системы, что ослабляет надежду на существование в них обитаемых планет. Во многих системах есть планеты, подобные Юпитеру, вращающиеся по эксцентрическим орбитам и расположенные намного ближе к материнской звезде, чем наш Юпитер — к Солнцу. Эти массивные космические тела дестабилизировали бы любую из подобных Земле планет с почти круговой орбитой, расположенную на «правильном» расстоянии от материнской звезды. Это обескураживающее открытие может быть отчасти следствием избирательности наблюдения: Марси и Батлеру легче было обнаружить тяжелые планеты, вращающиеся с большой скоростью близко от породившей их звезды. Мы до сих пор не можем быть уверены в том, в каких планетарных системах возможно существование подобной Земле планеты, движение которой по почти круговой орбите в течение миллиардов лет оставалось бы невозмущенным; но среди миллионов планетарных систем (сформированных с одной, двумя или тремя тяжелыми планетами), обязательно есть планеты на орбитах, подобных орбите Земли, с температурами, при которых вода не кипит и не замерзает.

Глава 2

Жизнь и разум

Вероятность жизни

Иконой 1960-х годов была первая фотография Земли, сделанная с Луны. Вместителище суши, океанов и облаков явилось нам тонкой, хрупкой оболочкой. Наша родная планета — «третий от Солнца камень» — во многом особенна. Красота и хрупкость «космического корабля под названием Земля» контрастирует с застывшей и бесплодной поверхностью Луны, на которой остались следы астронавтов. До момента, когда мы сможем повесить на стену плакат иной Земли, может пройти более двадцати лет, но как только мы это сделаем, это наверняка произведет бóльший фурор, чем классический снимок нашей родной планеты.

Но еще до того, как мы сможем получить подробные изображения таких планет, мы обретем более глубокие знания о них, добыть которые поможет сеть космических телескопов «Terrestrial Planet Finder» или ее европейский двойник. Наблюдаемая с расстояния, скажем, в десять световых лет — расстояние до ближайшей звезды — Земля будет казаться, по выражению Карла Сагана, «бледно-голубой точкой», причем находящейся очень близко к звезде, свет которой в миллиарды раз ярче свечения планеты. Оттенок голубого будет незначительно меняться в зависимости от того, будет повернут в нашу сторону Тихий океан или Евразийский материк, а яркость — в зависимости от времени года. Наблюдая за другими Землями, мы сможем сделать

заклучение о продолжительности их дня, их климате и даже о некоторых крупных деталях рельефа, даже если не сможем рассмотреть их поверхность более подробно.

Из спектра света и инфракрасного излучения мы смогли бы определить, какие газы образуют атмосферу такой планеты. Обнаружение озона, предполагающего насыщенность атмосферы кислородом, означало бы высокую вероятность существования биосферы. Атмосфера нашей родной планеты при ее формировании не содержала значительного количества кислорода, но состав ее на раннем этапе развития изменился под влиянием примитивных бактерий. Обнаружение при спектроскопическом исследовании атмосферного метана — продукта разложения растительных организмов или жизнедеятельности жвачных животных — также указывало бы на биосферу, подобную земной.

Какова вероятность того, что в других мирах существует жизнь? Этот вопрос волнует как NASA, так и широкую общественность. Какова вероятность появления простейших организмов при благоприятных условиях окружающей среды? Зарождается ли жизнь на любой из планет с подходящими температурными условиями, где есть вода и другие нужные элементы, например, углерод? Возможно ли, что на других планетах, вращающихся вокруг других звезд, таятся формы жизни, много более интересные и экзотичные, чем мы могли бы обнаружить на Марсе? Какова возможность того, что некоторые формы развились до такой степени, чтобы назвать их разумными?

Так как мы обладаем знанием только об одной биосфере, мы не можем оценить возможность или невозможность этого явления. Возможно, жизнь существует в космосе повсеместно, но может быть и так, что все складывается против нее. Исследование Солнечной системы в ближайшие десятилетия может укрепить такую уверенность. В центре внимания по-прежнему остается Марс. Начиная с шестидесятых годов двадцатого века космические исследовательские станции обнаружили поразительный рельеф Марса: вулканы высотой до 20 километров и каньон, глубина которого достигает 6 километров, а протяженность — 4 000 километров. Но самыми примечательными являются русла высохших рек — свидетельство того, что на каком-то

отрезке времени на Марсе могла существовать жизнь, даже если сегодня ситуация выглядит по-другому. Обнаружены даже слоистые образования, напоминающие береговую линию океана. Если когда-либо в прошлом на поверхности планеты действительно была вода, занимавшая обширное пространство, она, похоже, возникла в недрах планеты, и на поверхность ее вытолкнула вечная мерзлота. Следовательно, на Марсе никогда не было первичных признаков побережья.

В 1970-х годах NASA провела первое серьезное исследование поверхности Марса. Исследовательский корабль «Викинг» приземлился в бесплодной каменистой пустыне, и его манипулятор собрал образцы почвы, исследованные затем бортовым оборудованием. Не было обнаружено ни одного прямого признака даже самых примитивных жизненных проявлений. Единственное серьезное подтверждение жизни, застывшей в ископаемом виде, появилось позже и было основано на анализе обломка с Марса, долетевшего до Земли. Марс постоянно подвергается ударам, в результате которых в космос выбрасываются обломки. Некоторые из таких камней, после пребывания на орбите в течение миллионов лет, метеоритами обрушиваются на Землю. В 1996 году служащие NASA объявили, что на метеорите, найденном в Антарктике, обнаружено нечто, что может быть следом марсианской жизни. На отрежиссированной пресс-конференции президент США Билл Клинтон заявил: «Сегодня, через миллиарды лет и миллионы миль, с нами разговаривает метеорит 84001. Он говорит о возможности жизни». Было найдено два вида свидетельств: сложные органические молекулы, подобные земным молекулам, образующимся при разложении организмов, и похожие на ископаемые бактерии структуры, по размеру меньше реальных бактерий. Несмотря на шумиху, эти притязания до сих пор считаются спорными: жизнь на Марсе может исчезнуть так же, как столетие назад это произошло с «каналами».

Но надежда остается. Через несколько лет в направлении Красной планеты будет произведен запуск армады космических станций, которые исследуют поверхность планеты и пролетят по ее орбите, а следующей их задачей будет доставка образцов на Землю. В 2004 году исследователь-

ская космическая станция Европейского управления космических исследований «Гюйгенс», входящая в оборудование миссии NASA Кассини на Сатурн, будет сброшена на парашюте в атмосферу Титана для поиска любого признака жизни на этой гигантской луне. Застывшие луны Юпитера Европа и Ганимед рассматривают как другие пристанища жизни: есть планы приводнения на эти планеты подводных исследовательских станций для поиска жизненных форм под ледяной коркой океанов.

Пока мы располагаем знанием только о нашей биосфере, мы не можем исключить возможности того, что жизнь на Земле является результатом необычайной цепи событий, столь невероятной, что ее повторения не происходит ни на одной другой планете из окружения 10^{21} звезд, видимых в наши телескопы. У нас все еще недостаточно знаний о зарождении жизни для того, чтобы исключить эту возможность. Но представим, что жизнь возникла в пределах Солнечной системы дважды. В таком случае это не могло быть счастливой случайностью: жизнь на планетах вокруг других звезд обязательно была бы одинаковой. Следовательно, необходимо обнаружить жизнь на одной из планет или лун нашей Солнечной системы. Однако существует важное условие: до того, как исключить повсеместность распространения жизни, мы должны быть уверены в том, что любая из внеземных форм жизни зародилась независимо, а организмы не переместились с одной планеты на другую с помощью частиц космической пыли или метеоритов.

Мечта Бруно: внеземной разум?

Даже если жизнь возникла еще в какой-то части нашей Солнечной системы, никто не сомневается в том, что формы ее примитивны. Наша галактика содержит миллионы — возможно, миллиарды — других планет, вращающихся вокруг звезд. Каковы же перспективы того, что на некоторых из этих космических тел есть развитые формы жизни?

В 1584 году доминиканский монах Джордано Бруно опубликовал книгу *«О бесконечности, Вселенной и мирах»*. Десятилетием раньше Бруно сбежал из монастыря в Неаполе и начал странствовать по Европе, наслаждаясь такой

жизнью. Но в 1592 году он опрометчиво возвратился в Италию — как полагают, влекомый надеждой получения должности профессора в Падуе, которую вместо него занял молодой Галилей, — и попал в лапы Инквизиции. В Риме его бросили в темницу за его «упорную и настойчивую ересь». В феврале 1600 года его сожгли заживо на Кампо деи Фиори (Площадь цветов) в Риме, где теперь он увековечен в виде прекрасной бронзовой статуи.

Одна из гипотез Бруно звучала так: «Есть бессчетное множество созвездий, Солнц и планет; мы видим только Солнца, так как они светят; планеты нам не видны, потому что они малы и темны. Есть также бесчисленное множество вращающихся вокруг своих Солнц Земель, которые не хуже и не меньше нашего земного шара». В последние годы двадцатого века его пророческие убеждения подтвердились: несомненно, вокруг многих других звезд есть системы планет.

Бруно был убежден и в следующем: «Ни один разумный человек не может предположить, что небесные тела, возможно, более величественные, чем наше, не населены созданиями, подобными людям или превосходящими их». В те времена эта идея, естественно, казалась вздорной, но концепция «множественности населенных миров» с тех самых пор нашла неожиданную поддержку. Великий астроном восемнадцатого века, Уильям Гершель, открывший планету Уран, предполагал, что обитаемо даже Солнце; а сто лет назад многие люди верили в существование марсиан. Хотя наша концепция физической вселенной изменилась со времен Бруно, мы все еще не можем оценить вероятность инопланетного разума.

Несмотря на продолжительное незнание — или, может быть, по причине его — обсуждение этого предмета разделило ученых на два полярных лагеря. Некоторые согласны с Бруно; иные категорично заявляют, что мы одни. Что касается меня, единственно разумной позицией в этом вопросе я считаю агностицизм. Нам не хватает знаний о происхождении жизни — их до сих пор недостаточно даже для определения возможностей естественного отбора, — чтобы судить о вероятности или невероятности существования внеземного разума.

Чтобы повысить шансы на обнаружение внеземного разума, нам необходимо более четкое понимание особенностей окружающей среды Земли, благодаря которым стал возможен столь длительный процесс отбора, приведший к возникновению человечества. Некоторые астрономы утверждают, что Земля практически уникальна, и лишь несколько планет (даже схожих с Землей температурными условиями и размерами) вокруг других звезд обеспечили бы требуемую долговременную стабильность для длительного процесса эволюции, предшествующего появлению развитых форм жизни. В своей книге «*Rare Earth*»^{*} Дональд Браунли и Роберт Уорд представляют пугающе длинный список предварительных условий. Орбита планеты не должна находиться ни слишком близко к материнскому солнцу, ни слишком далеко от него, как бывает, когда другие, более крупные, планеты приближаются и смещают ее на другую орбиту. Вращение ее должно быть стабильным (в случае с нашей Землей эта стабильность обеспечивается крупным спутником — Луной). Не должно быть чрезмерной бомбардировки планеты астероидами, что требует присутствия на почти круговой внешней орбите планеты размером примерно с Юпитер, служащей заслоном от блуждающих астероидов. Далее, она должна вращаться вокруг звезды, расположенной на подходящем месте в нашем Млечном Пути для гарантии защищенности как от чрезмерного облучения космическими лучами, так и от столкновения с другими звездами. Если бы другая звезда попала в орбиту Юпитера, она бы резко поколебала движение планет, вытеснив Землю на другую орбиту, возможно, имеющую значительный эксцентриситет. Но звезда могла бы угрожать Земле, даже не приближаясь настолько: Солнце окружено огромным облаком комет, расположенных главным образом на безопасном расстоянии от планет внешней орбиты, но гравитационное притяжение звезды, даже при достаточно далеком пролетании комет, может отклонить некоторые из них на траектории, ведущие к Земле.

Тут же на ум приходит и влияние внешнего окружения, — например, частые падения комет, — которое препятствовало бы биологической эволюции. Но даже при са-

^{*} «Редкая Земля». — Прим перев

мом благоприятном физическом окружении вопрос развития биосферы остается открытым. Самые сложные и неясные проблемы касаются биологии, а не астрономии. Существует два самых важных вопроса, которые не нужно путать. Первый: как началась жизнь? Если бы мы знали ответ, мы бы знали, что такое жизнь — счастливая случайность или почти неизбежность в виде первичного «бульона», обязательного для молодой планеты. Вот и второй вопрос: даже если существует простейшая жизнь, каковы шансы на развитие ее в нечто, признаваемое нами разумным? Ответить на этот вопрос намного сложнее. Даже если бы простейшие формы жизни существовали повсеместно, более сложные формы могли бы и не появиться.

Нам в общих чертах известны основные этапы развития жизни на Земле. Простейшие организмы, по-видимому, появились в течение 100 миллионов лет окончательного охлаждения земной коры после активной вулканической деятельности, примерно 4 миллиарда лет назад. Но до появления первых клеток-эукариотов (содержащих ядро) прошло около 2 миллиардов лет, а до возникновения многоклеточных организмов — возможно, еще один миллиард лет. Самые ранние свидетельства существования большинства известных типов животных относятся к так называемому кембрийскому периоду, имевшему место полмиллиарда лет назад. С того времени на Земле появились разнообразнейшие создания — естественно, эволюционные пути прерывались глобальным вымиранием, как 65 миллионов лет назад произошло событие, в результате которого с лица Земли исчезли все динозавры.

По-видимому, возникновение простейших форм жизни было достаточно скоротечным, однако, самые основные многоклеточные организмы появились лишь через 3 миллиарда лет. Такое несогласование времени предполагает существование значительных препятствий, мешавших возникновению любых сложных форм жизни. Следовательно, разум мог быть уникален даже при широчайшем распространении простейших форм. Несомненно, возникновение человечества — следствие времени и счастливой случайности. При повторном развитии Земли фауна могла бы быть иной. Если бы, к примеру, динозавры не исчезли,

цепь эволюции млекопитающих, в результате которой появился человек, могла вообще не начаться. Мы не знаем, смог ли бы какой-то другой вид взять на себя роль человека.

Некоторые эволюционисты утверждают, что даже в сложной биосфере разум возник случайно. Другие, например, Саймон Конуэй Моррис, имеют иное мнение. Моррис замечает, что схожие внешние условия для выживания обеспечили возникновение похожих друг на друга животных по независимым линиям эволюции — например, у многих сумчатых Австралии, Океании и Новой Зеландии есть плацентарные двойники на других континентах, — и утверждает, что аналогичная конвергенция допускает более одного эволюционного пути к разуму. Он пишет: «Я думаю, что при всем своем разнообразии и множестве формы жизни настолько взаимосвязаны, что видимое нами на Земле вовсе не является чем-то вроде небольшого болотца или провинциального зоопарка, не говоря уже о цирке уродцев... Существующая взаимосвязь определяет не только предсказуемость того, что мы видим на земле, но и, косвенно, того, что существует в любом другом месте Вселенной»¹.

Экзотичная «жизнь»?

Ищущие жизнь оправданно сосредоточат поиски на планетах, подобных Земле, двигающихся по орбите вокруг долгоживущих звезд вроде нашего Солнца. Но научные фантасты напоминают нам, что есть более экзотичные варианты. Телосложение разумных инопланетян во многом зависело бы от условий обитания на их планете. Например, они могли бы быть шароподобными созданиями, плавающими в плотной атмосфере; или, на больших планетах, где гравитационное притяжение значительно, они могут бы иметь размер насекомого.

Возможно, жизнь способна существовать и при более низких температурах; даже на планете, заброшенной в ледяную темноту межзвездного пространства, — планете, главный источник тепла которой — внутренняя радиоактивность, в результате которой нагревается ядро Земли.

Планеты, открытые недавно, вращаются вокруг звезд, напоминающих наше Солнце. Но уже самые первые открытые внесолнечные планеты находятся в более необычном окружении. В 1992 году радиоастроном Алекс Вольшан открыл три планеты, каждая из которых меньше Земли и вращается не вокруг простой, а вокруг нейтронной звезды — объекта столь плотного, что, хотя масса его превышает массу Солнца, радиус его составляет 10 километров, а плотность превосходит плотность обычного твердого тела в 100 000 000 000 000 раз².

Нейтронные звезды — это сжатый пепел, оставшийся после взрывов сверхновых. Физики интересуются ими, поскольку эти звезды служат примером экстремальных условий, воспроизвести которые в земных лабораториях невозможно, и эти звезды дают шанс проверить законы природы в критической точке и даже узнать что-то фундаментально новое. Излучение этих звезд значительно ярче земного лазера, а интенсивность их магнитных полей поверхности в миллионы раз превышает создаваемую в лабораториях. Гравитационное притяжение на нейтронных звездах в 1000 миллиардов раз сильнее, чем на Земле: когда мы роняем ручку со стола, она падает со стуком; на нейтронной звезде то же действие высвободило бы количество энергии, эквивалентное килотонне химических взрывчатых веществ.

Самая известная из нейтронных звезд находится в центре Крабовидной туманности — облака обломков сверхновой, замеченной китайскими астрономами в 1054 году нашей эры. Главный астролог и составитель календаря Янг Вей Те записал ее как «звезду-гостью» и счел, что «желтый цвет ее благоприятствует Императору». Та же сверхновая была отмечена в Корее и Японии; заявляли даже, что именно она изображена на некоторых рисунках коренных американских индейцев. Нейтронная звезда в Крабовидной туманности вращается со скоростью тридцать три оборота в секунду и испускает поток мощного излучения, который можно наблюдать при каждом обороте, когда он, подобно лучу маяка, пересекает линию зрения. Науке известны сотни подобных «пульсаров». Большая их часть — остатки сверхновых, существовавших миллионы лет назад. Оскол-

ки этих ранних взрывов теперь не видны, в отличие от Крабовидной туманности; они давным-давно диспергировали и смешались с диффузным межзвездным газом³.

Замеченная Вольшаном нейтронная звезда излучает очень слабое свечение, хотя испускает проникающие рентгеновские лучи и примерно со скоростью света извергает ветер частиц. На этой звезде нет подходящей для жизни среды. Вообще, очень сложно понять, каким образом эта звезда оказалась в окружении столь особенной системы планет. Система могла сформироваться после взрыва сверхновой из газа, ливнем омывшего нейтронную звезду и образовавшего диск; хотя более правдоподобным кажется предположение, что планетами уже была окружена звезда-предшественница, впоследствии превратившаяся в сверхновую. Для развития на планетах простейших форм жизни времени могло быть достаточно, если некоторые из них вращались на более отдаленных, чем три обнаруженные планеты, орбитах. Но эти формы не выжили бы в условиях формирования нейтронной звезды. Жизнь могла возникнуть, но только для того, чтобы погибнуть от взрывной волны со сверхновой, выжигающей все вокруг.

Однако для гибели земной жизни не потребуются взрыва. Наше Солнце никогда не станет сверхновой и с течением времени скорее станет белым карликом, нежели нейтронной звездой. Но интересна возможность существования разумной жизни на планете из системы, в которой центральная, подобная Солнцу, звезда стала гигантом и взорвала свои внешние слои. Такие рассуждения напоминают о скоротечности населенных миров, а также о том, что любой, на первый взгляд искусственный, сигнал, который, возможно, мы когда-либо зафиксируем, может исходить от суперинтеллектуальных (хотя не обязательно обладающих сознанием) компьютеров, созданных погибшей расой инопланетных существ.

Быть может, жизнь могла зародиться на самой нейтронной звезде — версия классика научной фантастики Роберта Форварда. Обмен веществ в неких гиперплотных микроскопических организмах, которые могли существовать в таких условиях, управляемых ядерными силами, мог бы протекать намного быстрее, чем в обычных для жизненных

форм химических реакциях, так что вся экосистема могла бы зародиться и развиваться в течение нескольких лет.

Ударившись в другую крайность, фантасты напомнили нам, что возможно существование диффузных живых структур, свободно парящих в межзвездных облаках. Они бы, вероятно, пребывали (и думали, если разумны) в медленном движении, но, тем не менее, в далеком будущем они могли бы сыграть важную роль (см. главу 7).

Поговорим о межзвездном пространстве

Утверждениям, что развитые формы жизни распространены повсеместно, следует противопоставить известный вопрос, заданный впервые великим ученым-физиком Энрико Ферми: «Почему здесь нет инопланетян?». Почему они все еще не посетили Землю или хотя бы несомненным образом не заявили о своем существовании? Почему мы не встречаем их самих или хотя бы признаки их существования? Этот аргумент становится весомее по мере того, как мы осознаем, что некоторые звезды старше нашего Солнца на миллиарды лет: если бы жизнь была всюду, возникнуть она должна была бы на планетах вокруг этих древних звезд⁴.

Даже если инопланетяне не нанесли нам визит (а быть в этом полностью уверены мы, конечно же, не можем), нам не стоило бы, несмотря на вопрос Ферми, делать вывод о том, что их не существует. Намного проще, чем преодолевать невероятные расстояния в межзвездном пространстве, было бы послать радио- или лазерный сигнал. Действительно, сейчас мы можем посылать сигналы, которые цивилизация с равным нашему уровню развития технологии, находящаяся на орбите близлежащей звезды, могла бы уловить. Но расстояния даже до ближайших звезд столь велики, что сигналы могут путешествовать годами. (В любом случае, инопланетные станции, оборудованные крупными радиоантеннами, могли бы принять мощные сигналы радаров антибаллистических ракет, а равно и комбинированный выходной сигнал всех наших телевизионных передатчиков. Если бы они смогли расшифровать эти сигналы, нетрудно

догадаться, что бы они подумали о «разумности» земной жизни.)

Имеет смысл сначала ждать сигналов извне, прежде чем передавать их. Если бы сигнал был обнаружен, для отправки вразумительного ответа хватило бы времени, но Вселенная огромна: в лучшем случае двусторонний обмен растянулся бы на десятилетия. Конечно, можно посылать закодированные изображения или даже светокопии трехмерных структур — как искусственных объектов, так и молекулярных образцов вроде генома. В конце концов, развитие диалога вероятно. Логик Ганс Фройденталь предложил для межпланетного общения целый язык, называемый «линкос», продемонстрировав, что сначала можно пользоваться примитивным словарем, который ограничивается простыми математическими формулировками, и постепенно разнообразить лексикон.

Поиск внеземных цивилизаций (SETI) — стоящая авантюра: даже если принять во внимание, что шансы на успех велики, то огромное значение имеет философский смысл любого обнаруженного сигнала. Очевидный искусственный сигнал — даже если он будет примитивен настолько, что не будет содержать ничего более интересного, чем простые числа или цифры π в двоичном представлении, — означал бы, что разум (пусть и без сознания) не уникален для Земли и развился где-то в другом месте, и концепции логики и физики свойственны не только нашему мышлению.

Институт SETI в Маунтин Вью, Калифорния, стоит во главе этого поиска; его работа поддерживается в основном частными пожертвованиями. Любой интересующийся любитель, обладатель ПК, может загрузить и анализировать небольшой фрагмент потока данных с радиотелескопа. Ко времени написания этой книги этим предложением воспользовались три миллиона людей — каждый, без сомнения, вдохновленный надеждой обнаружить внеземное первым. В свете такого широкого интереса публики удивительно, что на поиски SETI ученые никак не могут получить государственного финансирования, хотя бы на уровне налоговых поступлений от единственного научно-фантастического фильма. Если бы я был американским ученым, свиде-

тельствующим в Конгрессе, я бы с бóльшим удовольствием запрашивал несколько миллионов долларов для SETI, чем изыскивал фонды для более специализированных научных работ или для традиционных космических проектов.

Даже если бы разум был везде, мы могли бы так никогда и не узнать о чем-то, кроме небольшой и нетипичной части того, что находится за пределами нашей галактики. Некий разум может облачить реальность в непостижимые для нас формы. Другой разум может оказаться необщительным: живя своей жизнью, возможно, где-нибудь под толщами вод океана какой-то планеты, он не делает ничего, чтобы обнаружить себя. Жизнь может быть куда более обширной, чем мы когда-нибудь сумеем определить. Отсутствие свидетельства не есть свидетельство отсутствия. Единственным видом разума, который мы смогли бы выявить, мог бы стать тот, технология которого схожа с нашей.

Другие «Солнца» за много световых лет от нас, возможно, освещают пристанища инопланетян, такие же замысловатые и сложные, как наше собственное. История эволюции каждого из них будет отличаться от истории эволюции остальных. Даже крайне конвергентная точка зрения на эволюцию не может привести нас к мысли о том, что другие биосферы в нашей Галактике в точности схожи с нашей. Существование двух экологий, повторяющих одна другую, менее вероятно, чем существование двух мартышек, печатающих одну и ту же пьесу Шекспира. Это могло бы случиться в бесконечном времени и пространстве, но не в пределах огромной, но конечной, территории, которую мы видим в действительности. Даже если бы все обезьяны мира печатали в течение миллиарда лет, вероятность появления у них правильного сонета Шекспира все равно была бы ничтожно мала. Любая экосистема содержит гораздо большее разнообразие, чем то, что свойственно одному языку.

Если бы Вселенная была бесконечна в буквальном смысле слова, то могло бы случиться все, что угодно. Это немыслимое могло бы повторяться бесконечно часто, приводя к появлению точных копий Земли, даже к бесконечному их множеству. Но эти клоны располагались бы далеко за

пределами нашей Галактики — в действительности, далеко за горизонтом нашей видимости.

Мы бы несколько огорчились, если бы поиски внеземного разума были обречены на провал. С другой стороны, это дало бы человечеству повод повысить самооценку: если бы наша крохотная Земля оказалась единственным (по крайней мере, в пределах видимости наших телескопов) носителем разума, она имела бы бóльшее значение в масштабах космоса, чем в том случае, когда Галактика изобиловала бы жизнью. Мы бы тогда проявляли неизмеримо больше усердия для того, чтобы лелеять нашу бледно-голубую точку в космосе и не строить преград будущему жизни.

Наше Солнце израсходовало меньше половины своего ядерного топлива и будет светить дольше, чем потребовалось для развития нашей биосферы из простейших форм на молодой Земле, — в действительности, в несколько раз дольше, чем прошло времени с момента появления первой многоклеточной формы. Будущее космоса простирается перед нами — в последующих главах я буду говорить о его бесконечности. Даже если сейчас жизнь существует только на Земле, мы не должны утверждать, что наша Вселенная не биофилична: жизнь еще может распространиться, со временем заполняя и даже захватывая космическое пространство. Жизни, укоренившейся на Земле, отпущено много времени для распространения по всей Галактике и даже за ее пределами. Здесь мы, конечно, не имеем в виду нечто, схожее с человеком. Еще Дарвин писал, что «... судя по прошлому, мы можем сделать безошибочный вывод о том, что ни один из существующих видов не сохранится в неизменной форме в отдаленном будущем». Теперь же искусственные генетические изменения могут вызвать перемены быстрее, чем это возможно при естественном отборе.

Распространение жизни с Земли может произойти при условии, что действия человека не будут создавать препятствий этому долговременному процессу. Земля постоянно находится под угрозой столкновения с астероидом, достаточно большим, чтобы вызвать вссмирное опустошение, — океанские волны высотой в сотни метров, ужасные землетрясения и изменения глобального климата. Кинофильмы вроде «Столкновения с бездной» повысили осведомлен-

ность публики о подобных возможных катаклизмах, хотя, возможно, их создатели несколько перестарались, скрывая тот факт, что для любого из ныне живущих риск составляет менее одного шанса из десяти тысяч. (Такая возможность для среднестатистического человека, однако, не ниже шанса погибнуть в авиакатастрофе. В действительности же она выше любой из опасностей естественной смерти, которым подвергается большинство европейцев и жителей Северной Америки, и по этой причине имеет смысл предпринять некоторые усилия в области наблюдения за небом в поисках потенциально опасных для Земли астероидов.)

Нам также угрожает меньшая опасность — хотя некоторые склонны считать ее все увеличивающейся — быть стертыми с лица Земли в результате некоей катастрофы, причем катастрофа эта будет техногенной. Это может быть неудачно завершившийся эксперимент или теракт с использованием биотехнологий. Однако, как только вне Земли появились бы самоподдерживающиеся сообщества, человечество как вид стало бы неуязвимым для любой подобной катастрофы. По-моему, такие рассуждения являются самым сильным стимулом для рассмотрения программы пилотируемых космических полетов, хотя достижения робототехники и миниатюризации уменьшают ее практическое применение. Развитие космической среды обитания — вполне осуществимое до конца двадцать первого века — обеспечило бы необходимую страховку от риска потенциально возможного вымирания нашего вида.

Наша Одиссея во внешние миры?

«Первый шаг» Нила Армстронга по поверхности Луны в июле 1969 года сделал космические путешествия реальными. В то время этот шаг казался лишь самым началом. Впоследствии большинство из нас строили далеко идущие планы: постоянная база на Луне, вроде той, что находится на Южном полюсе; или огромные космические отели, вращающиеся на орбите Земли. Естественным продолжением этого шага казались пилотируемые экспедиции на Марс. Но ни одно из этих предположений пока не воплотилось в

жизнь. Год 2001 от Рождества Христова не сходится с описанием Артура С. Кларка, как год 1984 не схож (по счастливой случайности) с описанием Оруелла.

Программа, провозглашенная Президентом Джоном Ф. Кеннеди в 1961 году, — «высадить человека на Луне до конца десятилетия и в целостности и сохранности вернуть его на Землю» — щедро финансировалась из соображений конкуренции сверхдержав. Конечной целью был полет до Луны: цель была достигнута, стимул пропал, и с 1972 года экспедиций на Луну не предпринималось.

Сколько времени пройдет до того момента, как человек вернется на Луну и, возможно, расширит исследования далеких планет? Ключевым моментом программы США является новая Международная космическая станция: эта массивная конструкция, размером с футбольное поле, займет место на орбите в нескольких сотнях километров от поверхности Земли. Даже если ее строительство завершится — в чем я сомневаюсь, видя огромные и все возрастающие затраты и длительные проволочки, — станция эта будет скучной, если люди смогут только лишь двигаться на ней по земной орбите, платя за это очень большие деньги. Само по себе это не столь волнующий подвиг через тридцать лет после прогулки человека по Луне. Для большинства наук, за явным исключением космической медицины, и, конечно, для большей части астрономии существование космической станции отчасти оправдано, если рассматривать ее в качестве базы, какой для наземных телескопов являлся бы океанский лайнер. В научных целях ее будут использовать как базу для сборки большого и хрупкого оборудования (например, тончайших, как паутина, зеркал для огромных космических телескопов), которое затем со всяческими предосторожностями будет отправлено на более отдаленные орбиты.

Постепенно космическая станция также могла бы стать временной стоянкой на пути к другим планетам. Но такие приключения возможны лишь после некоторого технического прорыва, благодаря которому космические путешествия станут много дешевле и безопаснее. Современные технологии запуска в космос предполагают такую же неумеренную стоимость полетов, которую мы оплачивали

бы, летая на самолетах, если бы после каждого авиаперелета производился капитальный ремонт воздушного судна. Космические полеты будут доступны только тогда, когда для них будут использованы те же технологии, что и для сверхзвуковой авиации. В то же время полеты в космос стоили бы намного дешевле, если бы совершались экипажами, идущими на огромный риск, к которым относились бы как к летчикам-испытателям или яхтсменам кругосветной гонки. В конце концов, космические полеты необязательно должны предусматриваться правительственной программой, но могут финансироваться неофициально — возможно, став прерогативой обеспеченных искателей приключений, готовых к большим опасностям в отважном исследовании дальних границ Галактики.

Космические путешественники, куда бы они ни отправились, лицом к лицу столкнутся с враждебным окружением. Создание удобной среды обитания, как свободно плавающей в пространстве, так и на поверхности Луны или Марса, сопряжено со значительным риском. Но это выполнимо: необходимую инфраструктуру можно заранее установить с помощью беспилотных космических исследовательских станций и роботов. Сырье можно добывать и обрабатывать на месте, что обеспечит независимое от поставок с Земли существование сообществ. В тот момент, когда вне Земли — на Луне ли, на Марсе, или висящие в пространстве — будут основаны самоподдерживающиеся сообщества, человечество окажется неуязвимо для любой глобальной катастрофы и не исчезнет, каким бы ни был его потенциал на будущие 5 миллиардов лет.

Глава 3

Атомы, звезды и галактики

Звездное вещество

Французский философ Огюст Конт заявил в 1835 году, что, если даже мы изучим размеры и траектории движения звезд, мы никогда не узнаем, из чего они состоят. Однако по прошествии всего 20 лет это пессимистичное утверждение оказалось несостоятельным.

Знаменитый опыт Ньютона с призмой показал, что солнечный свет можно разложить на спектр, содержащий все цвета радуги. В начале девятнадцатого века немецкий оптик Йозеф фон Фраунгофер применил более точный инструмент для отображения спектра солнечного света в виде ленты, которую затем он мог рассмотреть под микроскопом. Он обнаружил, что ленту пересекает множество темных полос, означавших отсутствие определенных оттенков цвета (соответствующих определенной длине световой волны). Роберт Бунзен (помните бунзеновскую горелку?) и Густав Кирхгоф в лаборатории исследовали излучение мерцающих газов и обнаружили подобные спектральные линии. Каждый вид атомов излучает свет с определенной палитрой четких цветов — например, желтый цвет обусловлен натрием, голубой блеск, знакомый всем по уличным фонарям, — парами ртути. Если атомы находятся перед более горячим источником света, они поглощают те же самые цвета и излучают спектр с характерной структурой, похожий

на современный штрих-код. Темные линии в спектре солнечного света обусловлены поглощающей способностью некоего более холодного газа, покрывающего сверкающую поверхность Солнца.

С появлением фотографии в астрономии наступил переворот: при длительной экспозиции свет может накапливаться, проявляя свойства, слишком бледные, чтобы обнаружить их при простом наблюдении в телескоп. Для изучения света звезд богатый английский астроном-любитель Уильям Хаггинс использовал эту новую методику; он обнаружил, что при разложении света звезд в спектр появляются те же спектральные линии, которые присутствовали и в спектре солнечного света. Солнце и Земля одинаковы по своему составу; то же самое относится к звездам.

В спектрах света звезд видны «штрих-коды» множества химических элементов. Но интенсивность спектральной характеристики и относительное содержание элемента, к которому она относится, напрямую не связаны. Преобладание характеристики отдельного элемента зависит, как мы теперь понимаем, от тонкостей атомной физики, а также от температуры и строения внешнего слоя звезды. Эти вопросы были разрешены даже не в начале двадцатого века.

Действительно, вплоть до двадцатых годов прошлого столетия во внимание не принимался тот факт, что в Солнечной системе, да и не только в ней, в подавляющем большинстве содержатся водород и гелий — два простейших элемента. Из-за своей летучести эти легколетучие атомы на Земле присутствуют в недостаточном объеме, но в Солнце и гигантских внешних планетах их содержание доходит до 98%. Большая заслуга доказательства этого тезиса принадлежит Сесилии Пэйн, чья кандидатская диссертация в 1925 году была в центре внимания. К сожалению, под давлением скептицизма наиболее известного ученого того времени, Генри Норриса Рассела из Принстона, ей пришлось умалить значение своего величайшего открытия и предупредить читателей, что предполагаемое содержание водорода и гелия «невероятно велико и наверняка нереально». Пэйн сделала выдающуюся карьеру и получила запоздалое признание, уже будучи профессором Гарварда. (Печально признавать, что это был отнюдь не последний случай, когда

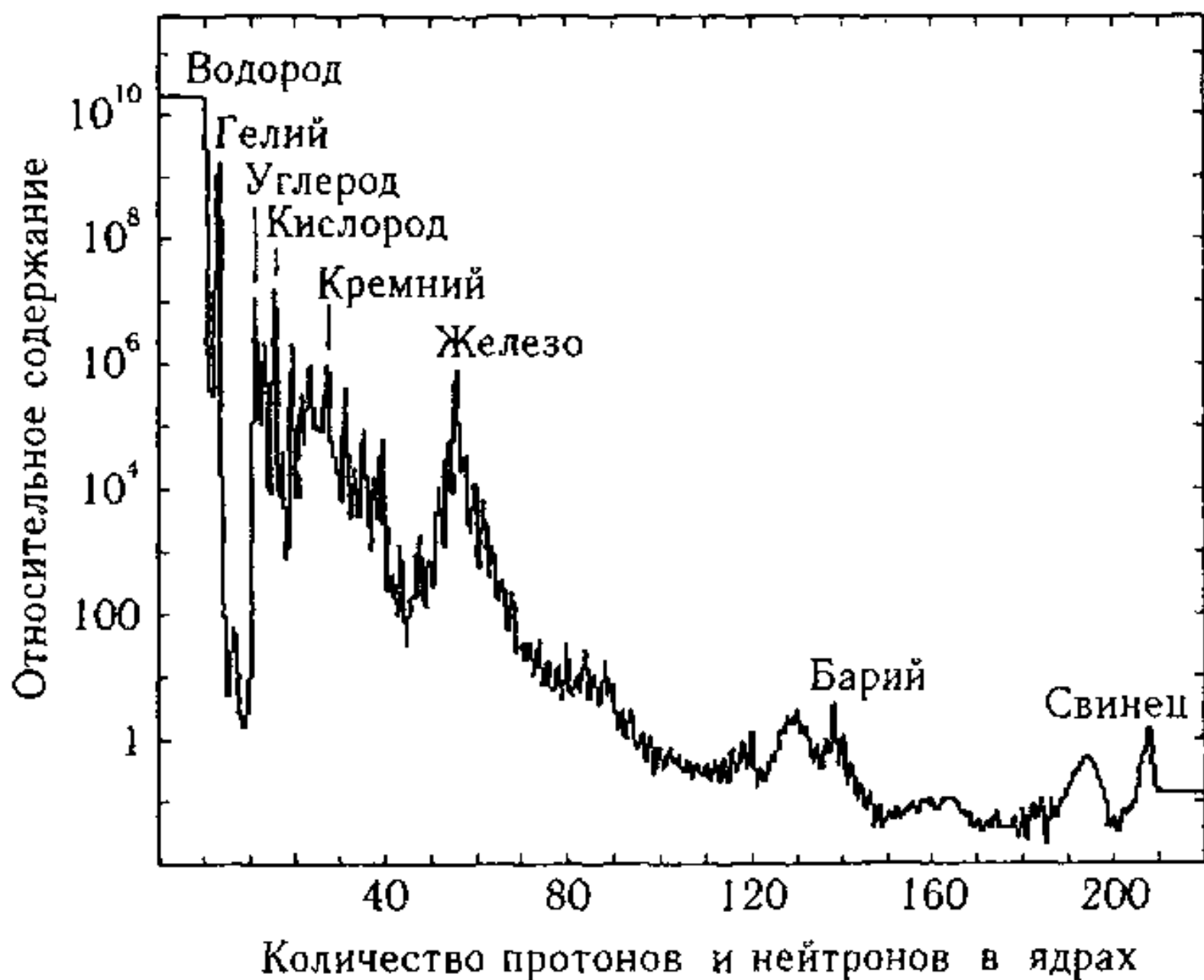


Рис. 3.1. Соотношение химических элементов.

выдающийся вклад ученых-женщин в науку прошел почти незамеченным.)

Звездная алхимия

Постепенно становится ясно, что относительное содержание элементов в звездах отражает закономерности каждой из них, и эти соотношения схожи с пропорциями элементов, обнаруженными в нашей Солнечной системе (рис. 3.1). Как возникла эта особая смесь? К тридцатым годам двадцатого столетия как звездная, так и атомная физика стояли на той ступени развития, что уже могли обращаться к подобному вопросу. Возможно ли, что атомы являются результатом ядерных превращений в звездной материи?

Астрономы могут рассчитать цикл жизни звезд, которые, скажем, в десять раз легче, или в десять или трид-

цать раз тяжелее Солнца. На рис. 3.2 представлено описание развития различных видов звезд во времени: более массивные звезды намного ярче, и жизнь их короче, так как они быстрее расходуют свое топливо. Однако даже самые тяжелые звезды живут так долго по сравнению с астрономами, что, в сущности, мы располагаем единственным снимком из жизни каждой звезды. Но мы, в принципе, можем проверить достоверность своих расчетов, подобно тому, как приземлившийся инопланетянин мог бы быстро представить жизненный цикл деревьев или людей.

Мы можем наблюдать за целыми популяциями звезд. Лучшее всего для проверки подходят звездные скопления — группы, насчитывающие до 100 000 звезд самых разных размеров, сформировавшихся в одно время. И действительно, есть области, где звезды находятся в процессе формирования: например, в окрестностях туманности «Орел». Эти замечательные газообразные структуры, находящиеся примерно за семь тысяч световых лет от нас, занимают центральное положение на одном из наиболее распространенных снимков с космического телескопа Хаббл. В холодных межзвездных облаках скрываются как яркие молодые звезды, так и новообразующиеся протозвезды, окруженные пылевыми дисками — возможным источником формирования планет.

Во временных масштабах человечества изменения в звездах большей частью незаметны, хотя это и не всегда так. Жизнь крупных звезд оканчивается неистовыми взрывами, в которых рождаются сверхновые. Ближайшая из открытых в двадцатом веке сверхновых была обнаружена в 1987 году: яркий объект, не видный предыдущей ночью, появился на небосводе 24 февраля. Спустя несколько недель он начал тускнеть; за его развитием до сих пор наблюдают с помощью всех технических достижений современной астрономии. Это дает теоретикам возможность проверить свои тщательные компьютерные модели взрывов сверхновых и иллюстрирует предоставляемый нам космосом шанс изучить «экстремальную физику» — проверить законы природы в условиях, которые невозможно воспроизвести в земных лабораториях.

1 триллион лет

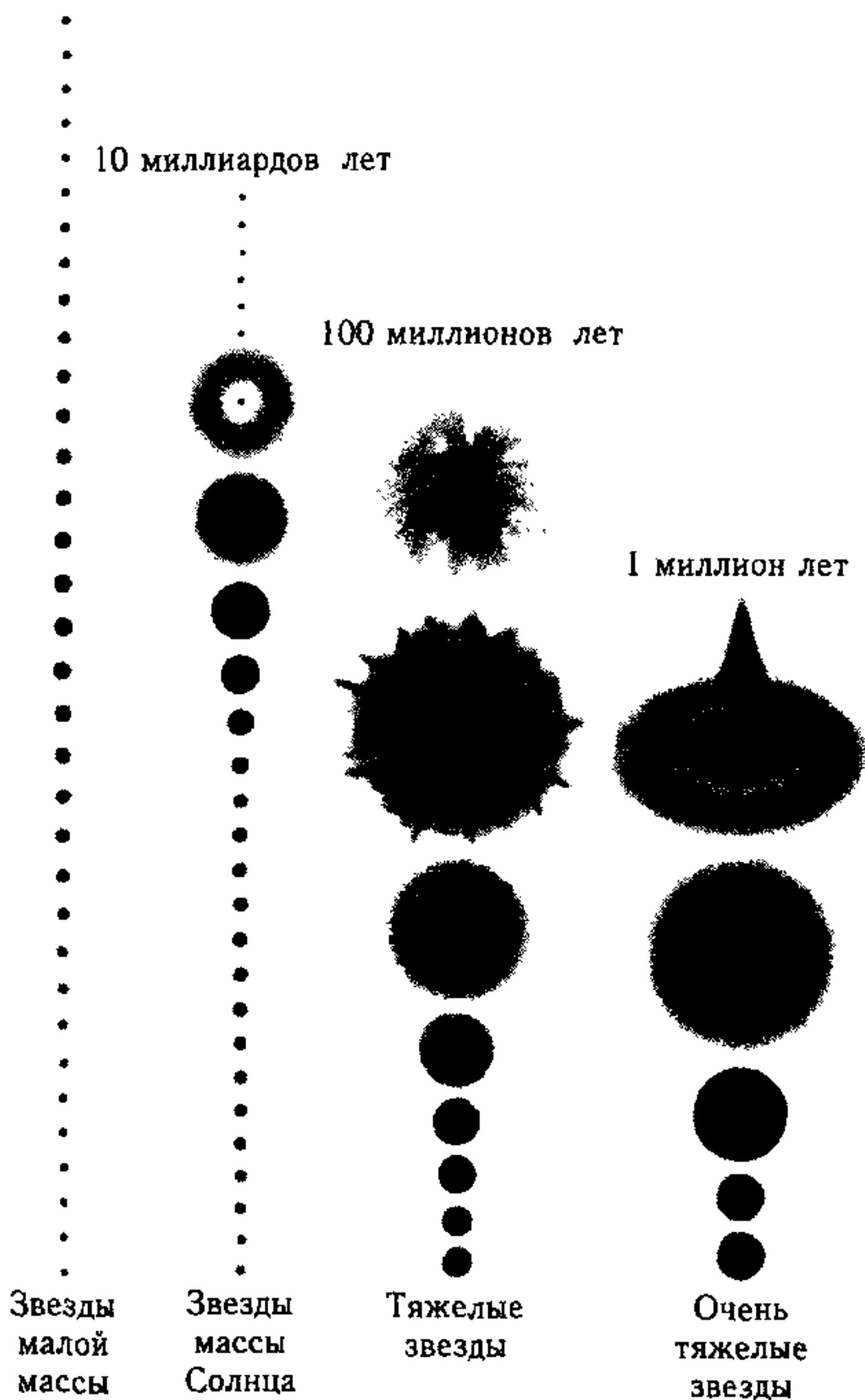


Рис. 3.2. Жизненные циклы развития звезд различной массы во времени (время увеличивается снизу вверх).

Через тысячу лет выбросы сверхновой 1987 будут похожи на знакомую нам Крабовидную туманность — мерцающий голубым блеском остаток сверхновой (о которой говорилось в главе 2), обнаруженной в 1054 году нашей эры. Спустя еще 10 000 лет разлетающиеся обломки потускнеют и сольются с окружающим межзвездным газом.

Астрономы пленяются сверхновыми, но из 10 000 человек только один является астрономом. Какова важность этих взрывов, происходящих за тысячи световых лет отсюда, для остальных 9 999 человек? Ответ заключается в том, что во взрывах заложен ключ к ответу на обыденный земной вопрос: откуда появились атомы, из которых мы состоим, и почему некоторые из них широко распространены — например, кислород, углерод и железо, — тогда как другие, к примеру, золото и уран, встречаются очень редко?

Звезды, которые тяжелее Солнца в десять раз, расходуют находящийся в ядре водород в сотни раз быстрее, чем Солнце; следовательно, светят они много ярче. Затем силы гравитации сжимают их, их центры нагреваются до той степени, когда ядра гелия могут слипаться и формировать ядра атомов, следующих за гелием в периодической таблице элементов. Структура таких звезд напоминает луковицу: слой углерода окружает слой кислорода, который, в свою очередь, окружает слой кремния; сердцевина состоит главным образом из железа. Ядро атома железа — ядро с наиболее прочными связями, и в тот момент, когда большая звезда преобразовала элементы ядра в железо, наступает энергетический кризис. Ядро взрывается, становясь в миллион миллиардов раз плотнее обычного твердого тела и обращаясь в нейтронную звезду или даже черную дыру. Но при этом гибельном для звезды коллапсе высвобождается количество энергии, достаточное для начала грандиозного взрыва — сверхновой, — сметающего внешние слои звезды. К этому времени в звезде накапливаются продукты всей ядерной алхимии, благодаря которой звезда светила на протяжении всей жизни.

В этом отрывке приводится лишь часть истории, но не объясняется происхождение всех девятиста двух элементов, встречающихся в природе. В периодической таблице железо значится под номером 26; для любых процессов,

в которых формируются более тяжелые элементы, железу необходима энергия (причем ее нужно добавлять, а не высвобождать). Эти элементы существуют лишь в незначительном количестве. Некоторые — к примеру, торий и уран — образуются в очаге взрыва сверхновой. Другие, такие как барий и висмут, формируются при захвате нейтронов в красных гигантах. Звезды, недостаточно тяжелые для превращения в сверхновые, также принимают в этом участие: они являются главным источником углерода, так как по мере сгорания порождают ветер отработанного материала.

Глубже остальных исследовал эти вопросы в середине сороковых годов двадцатого века астрофизик из Кембриджа Фред Хойл. Он первым постиг внутреннее строение и эволюцию звезд; он располагал также достаточной научной базой для понимания основополагающих ядерных реакций. Еще существеннее тот факт, что он смог заинтересовать и других ученых, в особенности Уильяма Фаулера, в лаборатории которого в Калифорнийском технологическом институте были проведены многие ключевые эксперименты, проливающие свет на определенные реакции, считавшиеся критическими. Ключевые процессы звездного нуклеогенезиса схематично описаны в длинной статье, опубликованной в 1957 году в соавторстве с астрономами Джеффри и Маргарет Бербидж. (Эту статью, уже ставшую классикой, называют « B^2FH », по инициалам четырех авторов.)*

Наша космическая обитель похожа на экосистему. Газ подвергается циклической переработке в сменяющих друг друга поколениях звезд (рис. 3.3). Быстро сгорающие массивные звезды преобразуют первоначальный водород в углерод, кислород, железо и остальные элементы периодической таблицы; затем они выбрасывают отработанное топливо обратно в космос как в виде звездных ветров, так и в виде взрывов сверхновых. Атом кислорода, вытесненный с массивной звезды, мог странствовать в межзвездном пространстве сотни миллионов лет. Затем он вполне мог

*Канадский физик Элистер Кэмерон независимо развил некоторые ключевые идеи. В последующие десятилетия эти соображения были конкретизированы, особенно с учетом осмысления того, что происходит во взрывной волне при взрыве самой сверхновой.

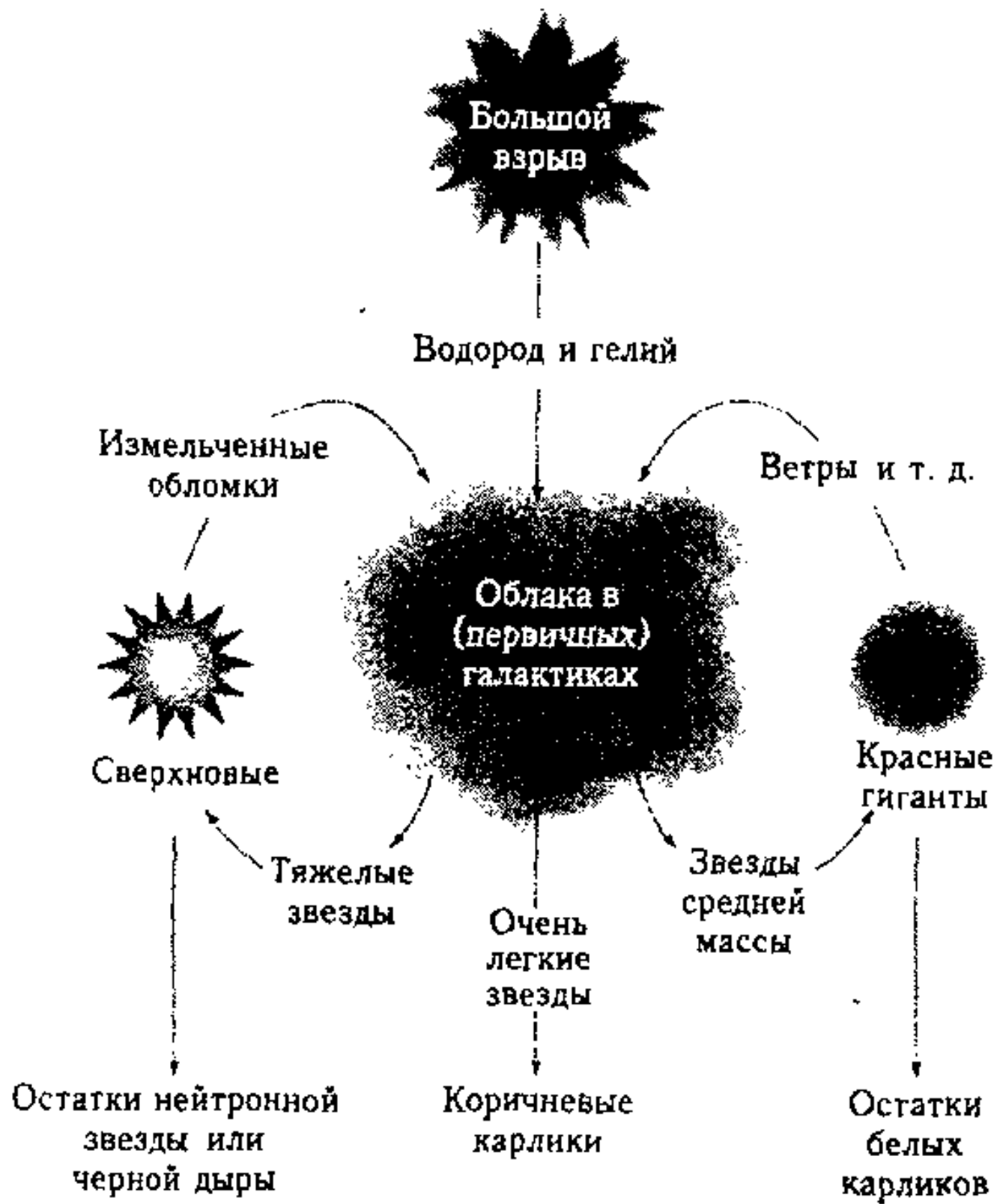


Рис. 3.3. В результате Большого взрыва образовались водород и гелий (а также остаточное количество лития). Этот первичный газ конденсируется под действием гравитации в протогалактические облака. В таких облаках формируются звезды. Масса самых малых (и наиболее медленно стареющих) звезд составляет менее одной десятой массы Солнца; самые тяжелые превышают Солнце по массе примерно в 100 раз. В реакциях ядерного синтеза, протекающих в звездах, создаются более тяжелые ядра. Некоторое количество этого «отработанного» материала выбрасывается со средних и тяжелых звезд и затем перерабатывается в новые звезды. В этих процессах могут образоваться элементы периодической таблицы в соотношении, показанном на рис. 3.1. По мере старения галактик содержание более тяжелых элементов возрастает. Увеличивающаяся часть первичного газа превращается в «мертвые» плотные остатки.

оказаться в плотном облаке под действием собственных гравитационных сил, образуя новую звезду, окруженную пылевым диском. Этой звездой вполне могло оказаться наше Солнце, и именно этот атом мог в конце концов попасть на Землю, чтобы в один прекрасный день совершить свой цикл в человеческой клетке. Чтобы понять наше происхождение, нужно понять принцип формирования звезд, появившихся очень давно в отдаленных уголках Млечного Пути.

По нашим предположениям, инопланетяне состоят из атомов, подобных тем, что образуют наши тела. И инопланетяне могли бы осознать, как это уже сделали мы, что эти атомы своим происхождением обязаны взрывам звезд. И мы, и инопланетяне родственны звездам. Все мы, должно быть, суть не более чем звездная пыль — или немного прозаичней — отходы ядерного топлива, благодаря которому звезды светят.

Цепь ядерных реакций, сотворивших элементы периодической таблицы, во многом зависит от физики микромира, а именно: от того, что происходит при столкновении двух ядер атомов, какие сочетания элементарных частиц могут образовывать стабильные соединения, и т. д. Эти реакции зависят, в частности, от равновесия двух сил, управляющих главными компонентами внутри ядра атома: электрического отталкивания между протонами и сильного ядерного взаимодействия между протонами и нейтронами. Это ядерное взаимодействие на более глубоком уровне понимается как зависимое от субъядерных частиц, называемых кварками и глюонами.

Периодическая таблица стабильных элементов существует благодаря ядерным силам, которые также обеспечивают ядерную энергию, являющуюся эффективным источником энергии в звездах. Более того, синтез определенных атомов оказывается очень чувствительным к силе ядерного взаимодействия. Например, каждое ядро атома углерода (содержащее шесть протонов и шесть нейтронов) образуется из трех ядер атома гелия. Первыми до того, что этот процесс результативен только при условии, что ядро углерода проявляет неожиданное свойство — моду колебаний с очень особой энергией, — додумались Фред Хойл и амери-

канский астрофизик Эдвин Салпетер. В противном случае возможность соединения трех ядер гелия была бы столь ничтожна, что атомы углерода — важные для существования жизни — встречались бы редко. На самом же деле Хойл еще до получения экспериментальных доказательств подозревал, что ядра углерода обладают этим свойством. Он соблазнил своих коллег на проведение лабораторных исследований, и результаты подтвердили его предположения. Частоты колебаний ядер атомов зависят от силы взаимодействия, удерживающего протоны и нейтроны. Надежды Хойла не оправдались бы, покажи опыты изменение силы этого взаимодействия более чем на 1 или 2 процента; факт, который часто приводится как свидетельство удивительной биофиличности законов, действующих в нашей Вселенной.

Из других свойств ядра также вытекают важные последствия. Нейтрон на 0,14 процента — чуть более одной тысячной — тяжелее протона. Но эта разница, какой бы малой она ни была, превышает общую массу электрона. Не будь электроны такими легкими, они сливались бы с протонами и образовывали нейтроны, не оставляя водорода. (В нашей реальной Вселенной такое слияние провоцируется только сверхвысоким давлением внутри нейтронных звезд.)

Тот факт, что электроны много легче ядра атома, не менее важен. Эта несоразмерность предопределяет склонность молекул наподобие ДНК сохранять свою точную и особенную структуру. Принцип неопределенности Гейзенберга предполагает неизбежную размытость положения любой частицы, хотя для более тяжелых частиц вероятность этого меньше. В молекуле неопределенность положения атома определяется массой его ядра. Орбиты электронов, окружающих ядро, намного больше, так как электроны легче ядра, следовательно, их положение более неопределенно. Общий размер атомов и расстояние между атомами в молекуле определяется как раз орбитами электронов. Так как протоны в 1836 раз тяжелее электронов, атомы могут быть достаточно точно расположены относительно своих соседей; такие сложные молекулы могут иметь очень четкие формы.

Необычная история звездного нуклеогенезиса разочаровала Георгия Гамова. Как рассказывается в следующей главе, его вера в то, что все атомы возникли в результате Большого взрыва (или, как он его называл, «илема»), не подтвердилась расчетами. В течение нескольких первых минут случилось столь резкое падение температуры, что для протекания всей цепи необходимых реакций не осталось времени; кроме того, наблюдения показали, что молодые звезды содержат большее количество тяжелых элементов, чем старейшие, что подкрепляет теорию формирования звезд из межзвездного газа, «загрязнившегося» с течением времени. Но, по крайней мере одно убеждение Гамова оказалось правильным: дейтерий, гелий и литий образовались в юной раскаленной Вселенной. Даже старейшие звезды содержат 23% гелия — именно то количество, которое выделилось при Большом взрыве.

Звезды, атомы и гравитация

Инопланетяне, способные размышлять, даже если они подобны облакам или слепы, вполне могли бы исследовать атомы и гравитацию в достаточной мере, чтобы определить строение звезд. Поскольку в нашем понимании звезды — гравитационно связанные реакторы синтеза, их размер мы вычислим с помощью очень простого параметра — количества атомов, необходимого для образования одной звезды.

Гравитация — очень, очень слабая сила. Величина гравитационного притяжения между протонами в 10^{36} раз слабее электрической силы, действующей между ними. Но в любом крупном объекте, содержащем огромное количество атомов, положительные и отрицательные электрические заряды практически нейтрализуют друг друга: количество электронов почти равняется количеству протонов. Напротив, знак гравитационного заряда для любых частиц одинаков, так что, чем крупнее объект, тем выше значение гравитации по сравнению с остальными силами. Из-за того, что гравитация так ничтожно мала — в 10^{36} раз меньше электрического притяжения между двумя протонами, — она по-настоящему торжествует только в очень крупных

объектах. Физик из Принстона, Роберт Дик, первым подчеркнул, что именно это является причиной столь больших размеров звезд: Солнце, типичная звезда, содержит примерно 10^{57} протонов*. Дик также рассчитал время рассеяния тепла со звезды, доказав, что, несмотря на большие размеры, звезды *живут долго* именно из-за того, что гравитация столь слаба.

Предваряя размышления последующих глав, скажу, что забавно представить, какой была бы Вселенная, не будь гравитация такой слабой. Предположим, к примеру, что гравитация была бы «всего» в 10^{26} , нежели в 10^{36} , слабее электрических сил, действующих в атомах, но при этом микрофизические свойства остались бы неизменными. Атомы и молекулы вели бы себя так же, как и в нашей реальной Вселенной, но объектам не нужно было бы быть столь огромными для того, чтобы гравитация могла соперничать с другими силами. В этой воображаемой Вселенной масса звезд составила бы 10^{-15} массы реального Солнца. Если бы звезды эти были окружены планетами, последние были бы во столько же раз меньше существующих планет Солнечной системы, но гравитация на их поверхности была бы намного сильнее, чем на Земле. Мощная гравитация на этих гипотетических мини-планетах вокруг мини-Солнц

* Аргумент Дика вытекает из достаточно простых арифметических вычислений. Предположим, вы собираете увеличивающиеся куски материи, содержащие 10, 100, 1 000 и так далее атомов. Двадцать четвертый кусок, содержащий 10^{24} атомов, будет равен по размеру куску сахара; сороковой — будет размером с гору или небольшой астероид.

Влияние гравитации на каждый атом — то, с какой силой она привязывает его к остальным атомам в куске, — возрастает пропорционально общему количеству атомов, но понижается со средним расстоянием между ними. На каждое 1 000-кратное увеличение массы 100-кратно возрастает важность гравитации. (Это происходит потому, что, хотя количество атомов возрастает в 1 000 раз, среднее расстояние между ними увеличивается в 10 раз.) Несмотря на начальный барьер, значение которого равно 10^{36} , гравитационные силы становятся доминирующими, когда более чем 10^{54} протонов собраны вместе (36 — это две трети от 54). Эта масса равна приблизительно массе Юпитера, самой большой планеты нашей Солнечной системы. Для превращения в звезду тело должно быть еще более тяжелым — содержать более 10^{56} атомов, — чтобы гравитационные силы не дали ему распасться на части, даже несмотря на то, что его центр достаточно нагрет для прохождения в нем ядерного синтеза. В приложении, на рис. А1, эти выкладки представлены графически.

расплющила бы любые объекты больше насекомого. Но более жестким ограничителем служит время. Вместо того, чтобы жить 10 миллиардов лет, мини-Солнце существовало бы примерно год, в течение которого оно израсходовало бы всю энергию, не дав ни малейшей возможности начаться даже самым первым шагам органической эволюции.

В этой придуманной Вселенной с мощной гравитацией перспективы сложной эволюции были бы, попросту говоря, менее благоприятны, так как Вселенная располагала бы меньшим пространством и меньшим временем. Гораздо меньший разрыв разделял бы звездные временные шкалы с микрофизическими шкалами, определяющими физические или химические реакции. Хотя в космосе гравитация имеет решающее значение: чем она слабее (при условии, что она не равняется нулю), тем грандиознее и сложнее могут быть ее проявления.

Вселенная без больших величин не могла бы включать в себя такой многослойной иерархии структур и не предоставила бы времени для сложной эволюции. Широчайший диапазон шкал есть предпосылка «интересной» Вселенной; этот диапазон в нашей Вселенной появился благодаря огромному значению 10^{36} , характеризующему слабость гравитации. Вследствие этой слабости космические объекты, управляемые гравитацией, должны быть огромными и долгоживущими.

Глава 4

Внегалактическая перспектива

Другие галактики

Мы живем в дисковой Галактике, содержащей 100 миллиардов звезд. Солнце вращается вокруг ее центра на расстоянии 25 000 световых лет, совершая полный оборот за 200 миллионов лет (галактический год). Но наша Галактика — лишь одна из многих. Например, Туманность Андромеды, ее ближайшая соседка, лежит на расстоянии примерно двух миллионов световых лет. Для наблюдателя, находящегося в Туманности Андромеды, наша Галактика выглядит примерно такой же, какой нам видится Туманность Андромеды: обширный, медленно вращающийся, состоящий из звезд и газа диск, который кажется овальным, так как мы наблюдаем эту галактику под некоторым углом.

Галактики — основные составляющие крупномасштабной Вселенной, как звезды — основные составляющие галактик. В диапазоне видимости наших телескопов находится столько же галактик, сколько звезд насчитывается в каждой из них. (Как человек находится примерно на середине размерной шкалы между атомами и звездами, так и галактики являются промежуточным звеном между звездами и нашей видимой Вселенной.)

Теперь сущность звезд в основном понятна: мы обладаем достаточными знаниями об атомах и гравитации, чтобы вычислить вид гравитационно связанного реактора синтеза. Результат этих вычислений учитывает размеры, яркость и цвета видимых нам звезд и позволяет сделать

предположения об их возрасте и жизненном цикле. Однако, несмотря на стремительный технический прогресс последних лет, полное понимание галактик все еще ускользает от нас. Почему в обширном космическом пейзаже господствуют эти прекрасные и заметные скопления газа и звезд? Почему некоторые из них имеют форму диска, а другие — эллиптические галактики — представляют собой бесформенные рои звезд? Факторы, препятствующие современным попыткам ответить на эти вопросы, будут рассмотрены в последующих главах: в галактиках находится все еще неизученный ингредиент — темная материя, — и некоторые из свойств галактик зафиксировались в самом начале формирования нашей Вселенной.

В пространстве галактики не разбросаны случайно: большинство из них составляют группы или скопления, существующие благодаря гравитационным силам. В нашей Местной группе, размером в несколько миллионов световых лет, самыми большими являются наша Галактика и Туманность Андромеды; помимо этого, вся группа содержит (по последним подсчетам) тридцать пять малых галактик-спутников, каждая из которых удерживается на гигантской орбите гравитационным притяжением всей группы. Местная группа находится на периферии архипелага галактик, сосредоточенного вокруг скопления в созвездии Девы, центр которого, в свою очередь, удален от нас примерно на 50 миллионов световых лет. Такие скопления объединяются в сверхскопления. Ближайшее и наиболее известное из них — так называемая Великая стена, плоский массив галактик на расстоянии примерно 200 миллионов световых лет от нас.

Крупномасштабная структура и расширение

Если бы во Вселенной находились скопления скоплений скоплений, и так до бесконечности, — если бы Вселенная была тем, что на техническом жаргоне называется простым фракталом, — то, какое бы огромное пространство мы ни исследовали, галактики в нашем представлении размещались бы подобно лоскуткам: мы бы просто собирали

образцы из все бóльших и бóльших масштабов в иерархии скоплений. Но наша Вселенная выглядит не так (рис. 4.1)

Телескопы в наше время собирают данные быстрее, чем когда-либо: используя оптическое волокно, астрономы могут записывать сотни спектров за один раз, вместо того чтобы производить наблюдения галактик по очереди. С помощью программ наподобие Sloan Digital Sky Survey*, рассчитанного на пять лет проекта сканирования небосвода с помощью специально оборудованного в Нью-Мексико телескопа, ученые проводят систематическое изучение галактик на расстоянии примерно в десять раз большем, чем в ранних исследованиях. В ходе более глубокого изучения астрономы открывают все больше скоплений, подобных скоплению Девы, и все больше структур, похожих на Великую стену. Однако на бóльших расстояниях подобных структур пока не видно. Куб со стороной 200 миллионов световых лет мог бы вместить хороший образец нашей Вселенной. Где бы он ни располагался, этот куб содержал бы, в грубом приближении, то же количество галактик, сгруппированных статистически подобным образом в скопления, нитевидные структуры и т. д. А по сравнению с масштабом наших наблюдений в 10 миллиардов световых лет, 200 миллионов световых лет — небольшое расстояние.

Мы вполне способны вообразить Вселенную, которая действительно походит на фрактал (см. рис. 4.2) и в крупных масштабах не обладает гладкостью нашей реальной космической родины. В такой Вселенной космология была бы еще более сложной наукой, чем она в нашем мире. Для иллюстрации воспользуемся аналогией. Предположим, вы находитесь в лодке посреди океана. Если штормит, вы увидите сложный рисунок волн, но расстояние между гребнями даже самых обширных океанских волн будет мало по сравнению с расстоянием до горизонта; для сбора статистических данных вы увидите достаточно длинный экземпляр каждого вида волн. С другой стороны, в горах (которые действительно могут подходить под фрактальное описание), одна вершина может доминировать над всем пейзажем. Космология понятна нам только потому, что наша Все-

* Цифровая съемка неба Слоун. — Прим. перев.

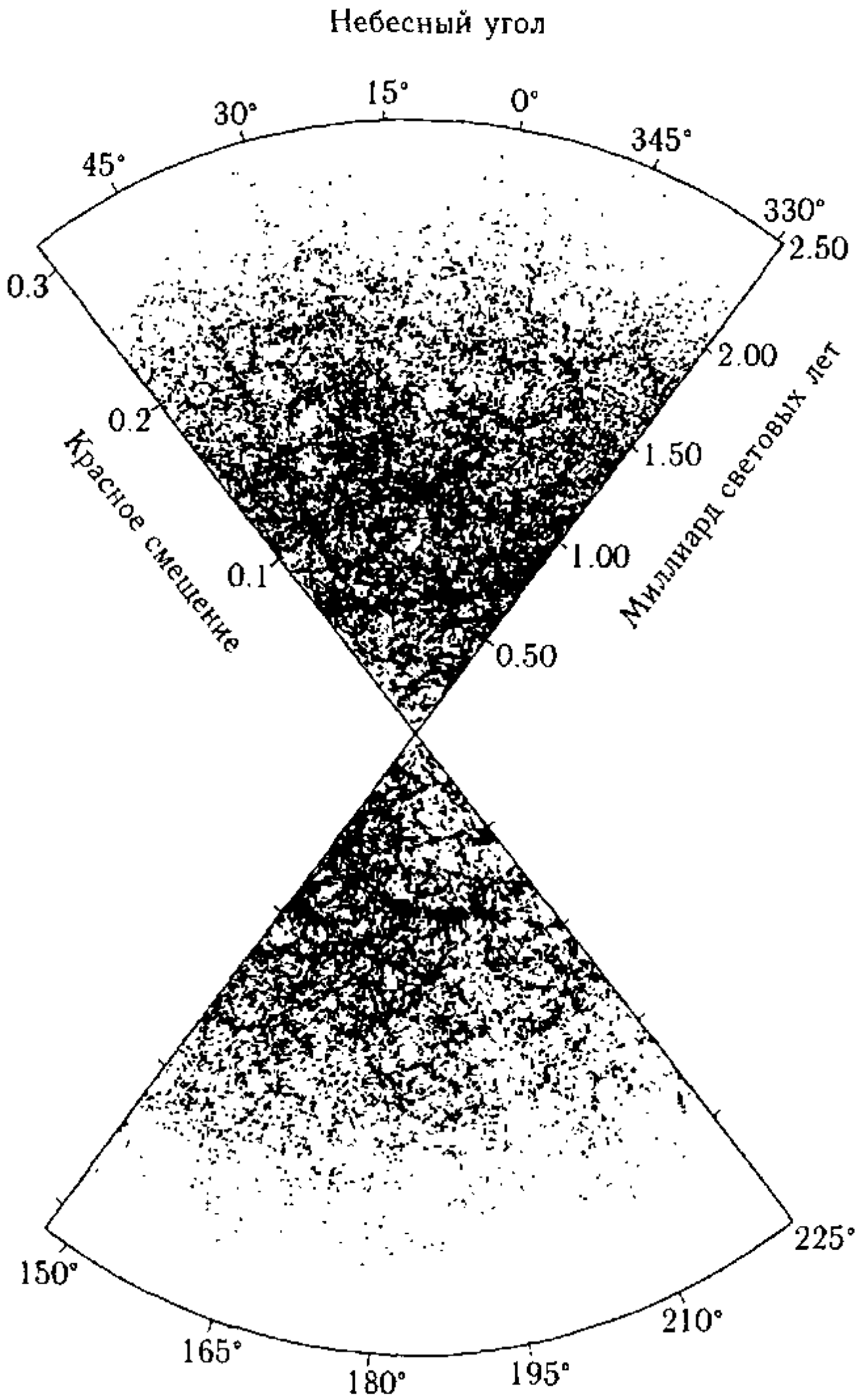


Рис. 4.1. Крупномасштабное скучивание галактик: срезы Северного и Южного полушарий, снятые Anglo-Australian Telescope.*

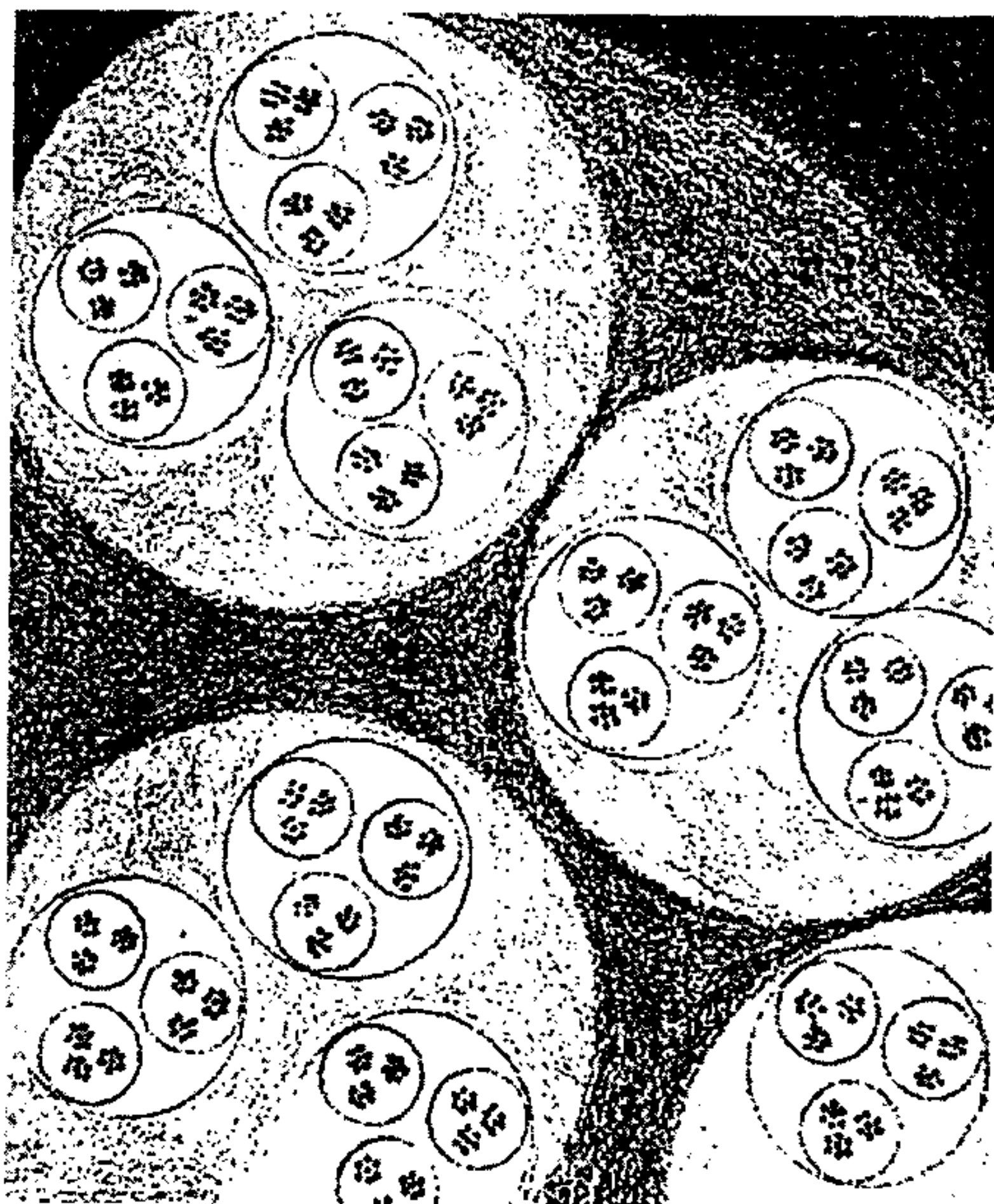


Рис. 4.2. Представление фрактальной Вселенной, вмещающей скопления скоплений скоплений до бесконечности, шведским астрономом Шарлье в начале двенадцатого века.

ленная по своему строению больше похожа на поверхность океана, нежели на горный массив. Эта крупномасштабная гладкость позволяет устанавливать средние величины.

Так же просты и суммарные движения. Пожалуй, самое важное из приблизительных знаний о нашей Вселенной заключается в том, что все галактики (за исключением

некоторых близлежащих объектов в скоплениях, похожем на наше) удаляются от нас. Более того, красное смещение (единица измерения скорости удаления) больше для менее видимых и более отдаленных галактик. Судя по всему, мы живем в расширяющейся Вселенной, где скопления галактик с течением времени расходятся все дальше — более редко располагаются в пространстве.

Простая зависимость между красным смещением и расстоянием до галактики называется законом Хаббла, по имени Эдвина Хаббла, открывшего эту зависимость в 1929 году. Концептуально, правильнее объяснить красное смещение отдаленной галактики расширением пространства, которое произошло, пока свет двигался по Вселенной. Значение красного смещения — иначе, величина растяжения длин волн — показывает, насколько Вселенная расширилась, пока свет шел до нас.

Закон Хаббла не подразумевает какого-то особого положения нашей галактики. Предположим, что все галактики соединены между собой стержнями. Если бы эти воображаемые стержни растягивались пропорционально, то есть, если бы любой треугольник, сторонами которого являлись бы эти растягивающиеся стержни, сохранял подобие первоначальному треугольнику, наблюдатель из любой галактики видел бы одинаковое расширение. То есть в этом случае расширялось бы само пространство, прихватывая с собой галактики*.

В какой-то момент времени наша Вселенная могла быть сжата в одну точку, но каждый — на Земле ли, в Туманности Андромеды, или даже в самых отдаленных галактиках — может наравне с другими заявлять о происхождении из этой точки. Мы не можем ткнуть пальцем в какое-то место в существующей Вселенной и заявить: «Это центр»; основа у всех галактик одна и та же.

У Хаббла была возможность изучать только галактики, относительно близкие к нашей — те из них, скорости удаления которых составляли менее одного процента от ско-

* Эта зависимость применима исключительно к скоплениям, а не к галактикам: в скоплении галактик на отдельные его составляющие влияет гравитационное притяжение других, и расширения не происходит. Также отсутствует расширение Хаббла и *внутри* галактик.

рости света. Благодаря более мощным телескопам и (даже в большей степени) усовершенствованным датчикам, способным улавливать слабый свет, объем данных ныне значительно расширился, включив сведения о таких далеких галактиках, скорость удаления которых составляет 90% от скорости света. Свет из этих очень далеких галактик начал странствие, когда галактики были на несколько миллиардов лет моложе и Вселенная была более сжатой (другими словами, когда воображаемые стержни, соединяющие их, были не в пример короче). Делая заключения о скоростях и расстояниях, мы, безусловно, должны учитывать влияние относительности и расширения пространства.

Телескопы: космические и наземные

Прогресс астрономии не является результатом деятельности кабинетных теоретиков, даже если им помогают суперкомпьютеры; он зависит главным образом от наблюдений и высокоточного оборудования, являющегося последним достижением техники. История астрономии длиннее истории остальных наук, исключая, наверное, только медицину. В астрономии впервые применены точные измерения, и она была, возможно, первой наукой, принесшей больше пользы, чем вреда. И, без сомнения, она первой потребовала применения крупного оборудования. Астрономические предметы — астролябии, часы и телескопы — были (и остаются) свидетельствами человеческой изобретательности и зачастую, кроме того, величайшей эстетической привлекательности.

На протяжении всего прошлого столетия оптические телескопы создавались с использованием все увеличивающихся зеркал, дающих возможность улавливать больше света. К восьмидесятым годам двадцатого века диаметр зеркал в более чем двенадцати телескопах превышал 4 метра. Мощность этих телескопов несказанно увеличилась, когда обычную фотографическую пленку заменили светочувствительными микроэлектронными схемами, называемыми ПЗС, приборами с зарядовой связью. Эффективность обнаружения слабого света возросла с 1 до 80 процентов теоретического максимума, безмерно повысив значение

этих 4-метровых телескопов. Но даже по достижении такой высокой эффективности единственным способом обнаружения еще более тусклых объектов остается улавливание бóльшего количества света, для чего требуются зеркала с бóльшим диаметром. Телескопы с зеркалами 8 или 10 метров в поперечнике могут собирать в четыре раза больше света от самых слабо светящихся и далеких галактик, чем наземные телескопы прошлого поколения. К двум телескопам Кеск на Гавайях теперь добавились еще несколько. Самой впечатляющей является тривиально названная *Very Large Telescope** группа из четырех соединенных телескопов с зеркалами диаметром 8,2 метра, установленная в Чилийских Андах консорциумом Европейских государств.

Проект космического телескопа Хаббл тормозился проволóчками, перерасходами и проблемами технического характера, но в конце концов он оправдал надежды астрономов. Его зеркало, дававшее нерезкое изображение, отремонтировал экипаж первой ремонтной миссии в 1994 году; бортовые светочувствительные детекторы были усовершенствованы позднее. Если не случится аварии, он сможет функционировать до 2010 года. Хотя диаметр его зеркала составляет всего 2,4 метра, размещение телескопа над земной атмосферой, затрудняющей обзорение, дало возможность делать очень четкие и подробные снимки даже самых отдаленных областей.

Через несколько лет за телескопом Хаббл в космосе будет реализован международный проект *Next Generation Space Telescope*** , зеркало которого в поперечнике должно составлять 6 или 8 метров и обладать чувствительностью к инфракрасному излучению. Этот аппарат будет исследовать еще более отдаленные области космоса — и, возможно, вернет нас назад во времени к темному веку, предшествовавшему формированию любой из существующих галактик, когда единственным источником света, должно быть, были малые «субгалактики».

К наземным 10-метровым телескопам прибавятся более претенциозные «гигантские окуляры». В Европе суще-

* Очень большой телескоп. — *Прим. перев.*

** Космический телескоп следующего поколения. — *Прим. перев.*

ствуют серьезные планы разработки так называемого OWL (Overwhelmingly Large) Telescope* со 100-метровым зеркалом, которое будет представлять собой мозаику из меньших по размеру элементов, устанавливаемых по отдельности для компенсации атмосферных колебаний. Этот футуристский наземный прибор можно создать со значительно меньшими затратами, чем космический телескоп Хаббл. С его помощью мы сможем получать четкие изображения очень тусклых объектов — сверхотдаленных галактик, малых планет и т. д.

Основную информацию о далеких звездах и галактиках мы, естественно, получаем благодаря их свету, который нам удастся уловить. Но обычный видимый свет является лишь частью электромагнитного спектра. За пределами фиолетового края спектра находится ультрафиолетовый, состоящий из волн более коротких, чем волны фиолетового излучения, переносимого протонами с большей энергией. За ультрафиолетовым идет полоса рентгеновского излучения, соответствующая протонам с еще большей энергией. На другом конце спектра красное излучение перетекает в инфракрасное, тепловое, излучение, испускаемое объектами, недостаточно раскаленными, чтобы давать видимый свет. Еще более длинным волнам соответствуют микроволновое и радиоизлучение.

Если провести аналогию со звуковыми волнами, ультрафиолетовое и рентгеновское излучение будут соответствовать самым высоким нотам; инфракрасные и радиоволны окажутся на противоположной стороне клавиатуры музыкального инструмента. Диапазон полного электромагнитного спектра, излучаемого космическими объектами, будет превышать сто октав. По этой аналогии видимый свет, от красного до фиолетового краев спектра, будет соответствовать всего одной октаве. Следовательно, оптические наблюдения сами по себе предоставляют нам неполную перспективу наблюдения космического пейзажа — узкий и неинтересный средний диапазон созвучий вместо огромного диапазона частот, действительно излучаемых большинством космических объектов. Это ограничение стало оче-

* Чрезвычайно большой телескоп. — *Прим. перев*

видным еще на заре развития радиоастрономии, когда небо-свод исследовали с помощью первых радиоантенн. Отыскать некоторые из самых мощных источников космического радиошума не составило труда: одним из них, например, является Крабовидная туманность. Другие объекты были внегалактическими (среди них, как мы теперь понимаем, были и источники образования энергии вокруг гигантских черных дыр) и настолько далекими, что их едва ли можно вообще заметить в оптические телескопы. Наиболее выдающиеся характеристики радионеба, безусловно, не совпадали с ярчайшими видимыми объектами. Физические процессы, в результате которых тело испускает радиоволны, хотя и вполне понятны нам сегодня, предсказаны не были.

Многие виды излучения космических объектов поглощаются в воздухе и не проникают в наземные обсерватории. Космические телескопы предоставили астрономам новые методики исследования космоса — например, способ обнаружения космического рентгеновского излучения. Каждый из первых детекторов рентгеновского излучения, установленных на ракетах, сообщал полезную информацию в течение всего нескольких минут, после чего падал обратно на Землю. Как и в случае с программой высадки человека на Луну «Аполлон», толчок к развитию рентгеновской астрономии обеспечила конкуренция сверхдержав в космических технологиях и производстве ядерного оружия. Эта наука начала стремительно развиваться в 1970-х годах, когда NASA запустила первый спутник с рентгеновскими детекторами на борту; он оставался на орбите, собирая информацию, в течение нескольких лет, а не минут. Этот маленький спутник был создан и управлялся группой исследователей во главе с Рикардо Джаккони, итальянским физиком, обосновавшимся в США. С помощью этого проекта и многих, следовавших за ним, рентгеновскую астрономию признали абсолютно новым «окном» во Вселенную. Появление космических рентгеновских телескопов впечатляет ничуть не меньше, чем переход от «оптического стекла» Галилея к 10-метровым телескопам, и все это случилось в течение менее чем за тридцать лет.

Источниками теплового рентгеновского излучения являются объекты, в тысячи раз раскаленные поверхности

обыкновенных звезд; следовательно, снимки неба в рентгеновских лучах содержат самые горячие и обладающие наибольшей энергией космические объекты. Например, интенсивное рентгеновское излучение исходит от очень горячего газа, закручивающегося в черные дыры. Огромные черные дыры такого типа, вес каждой из которых равняется общему весу миллионов или даже миллиардов звезд, таятся в центрах галактик. Излучение близлежащих к ним областей содержит ключ к самым замечательным аспектам теории Эйнштейна — об искажении пространства и растяжении времени под действием сильной гравитации. Астрофизиков особо интересуют самые экстремальные и суровые условия космоса: яростные взрывы, выбросы частиц со скоростью, составляющей 99,99% от скорости света, вспышки, извергающие за несколько секунд намного большее количество света, чем Солнце за все 10 миллиардов лет своей жизни. Космос предлагает нам себя в качестве лаборатории, где мы сможем проверить законы природы в экстремальных условиях, недостижимых на Земле.

Взгляд в далекое прошлое

Как уже говорилось в главе 3, на основе полученных в лабораторных экспериментах знаний о гравитации, атомах и ядрах атомов мы можем рассчитать жизненный цикл Солнца и других звезд. Теперь ученые начинают рассматривать макроскопические свойства целых галактик. Звезды в нашем Млечном Пути и в Туманности Андромеды вращаются в диске таким образом, который Ньютона понял бы без особого труда. Но галактикам при этом присуща сложная «погода», которая смещает межзвездный газ и использует его в последующих поколениях звезд — именно так из первичного водорода образуются атомы элементов периодической таблицы.

В своей классической книге *Galactic Dynamics** Джеймс Бинни и Скотт Тремэйн выдвигают изящный тезис о том, что галактики для астрономии являются тем же, чем экосистемы — для биологии. Атомы, из которых мы состоим,

* «Динамика галактик». — Прим. перев

образовались в нашей Галактике, но некоторые из них происходят из других галактик. Но откуда же появился первичный водород? И почему существуют галактики? Почему наша Вселенная состоит из этих скоплений газа и звезд поперечником в десятки тысяч световых лет каждое? Для ответа на эти вопросы нужно вернуться к тому, что происходило в первые минуты истории космоса.

Так же, как геологи определяют климатические условия разных периодов, просверливая слой за слоем антарктический лед, астрономы выводят историю нашей галактики, изучая и пытаясь датировать различные популяции звезд внутри нее. Но у астрономов есть преимущество перед геологами: они могут совершенно четко увидеть далекое прошлое, рассматривая галактики настолько далекие, что их свет был испущен миллиарды лет назад.

На рис. 4.3 изображена наша мировая линия и мировые линии других галактик. Те части пространства-времени части, которые нам известны, изображены в виде затемненных областей: наша мировая линия и части внутри «светового конуса», направленного в прошлое. В совершенно беспорядочной Вселенной (больше похожей на горный массив, чем на поверхность океана) отдаленные области не обязательно напоминают близкие к нам объекты и могут иметь совершенно отличную историю происхождения и развития. Крупномасштабная гладкость нашей Вселенной здесь имеет решающее значение. Только благодаря общей гладкости Вселенной у нас есть основания верить, что все ее составляющие развивались одинаково, и снимок галактик, находящихся, скажем, за 5 миллиардов световых лет от нас, схож с изображением нашей Галактики и ее соседей, какими они были 5 миллиардов лет назад.

Самые детальные из полученных за все время съемки неба снимков появились с недельных экспозиций, сделанных космическим телескопом Хаббл. На каждом из таких снимков виден кусок неба величиной едва ли с одну сотую поверхности полной Луны. При наблюдении в обычный телескоп такой кусок кажется пустым. Но на самом деле эти снимки обнажают сотни бледных пятен, каждое из которых есть целая галактика поперечником в тысячи све-

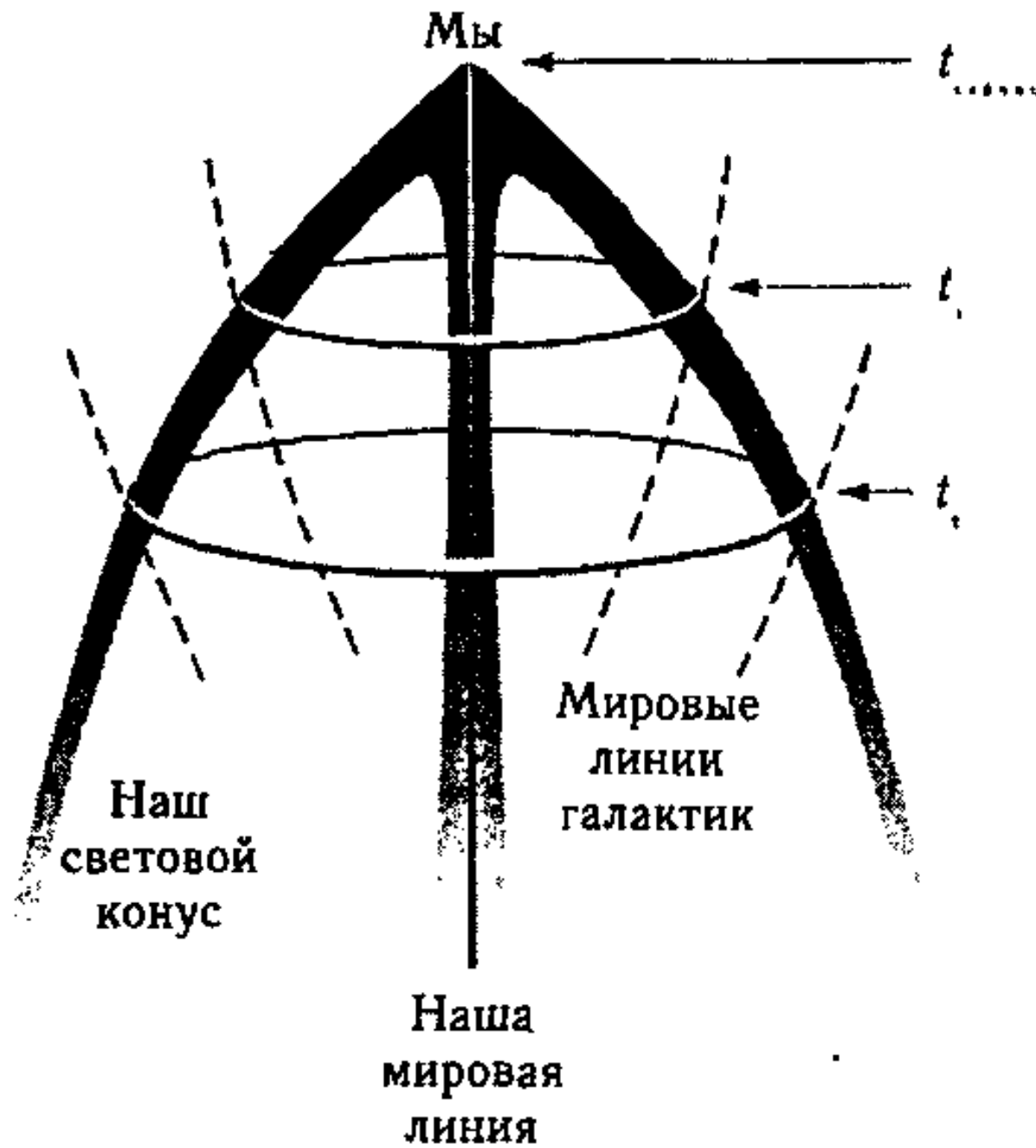


Рис. 4.3. На этой пространственно-временной диаграмме показаны наша мировая линия и мировые линии некоторых отдаленных галактик. Для нашего прямого наблюдения доступны события только в затемненных областях: события в нашей Галактике (происходящих в окрестности нашей мировой линии), и события внутри светового конуса, направленного в прошлое. Так как наша Вселенная практически однородна, на каждом отрезке времени (они изображены в виде горизонтальных плоскостей) условия были схожи повсюду, и мы можем делать надежные выводы о промежуточных областях.

товых лет. Они кажутся такими маленькими и тусклыми из-за своей удаленности: их свет начал свое путешествие 10 миллиардов лет назад. Мы их видим такими, какими они были в далеком прошлом, когда все звезды в них были молодыми. Ученые Space Telescope Institute* в Балтиморе недавно опубликовали некоторые из этих Hubble Deep Field

* Институт космических телескопов. ---Прим. перев.

images^{*}, и выяснилось, что северные и южные области неба статистически выглядят одинаково. Это открытие еще раз подтверждает крупномасштабную гладкость Вселенной.

С начала двадцатого века мы знали, что нашей Солнечной системе уже несколько миллиардов лет, и нас не должно удивлять, что наша расширяющаяся Вселенная простирается на миллиарды световых лет. И все же нашему разуму сложновато вместить миллиарды галактик, каждая из которых может скрывать миллионы планет, подобных Земле. Принимая это во внимание, нужно отметить, что удивительные снимки с космического телескопа Хаббл и более крупных наземных приборов повлияют на общественное сознание не менее сильно, чем снимки нашей Земли и других планет, которые передавались из космоса, начиная с шестидесятых годов двадцатого века.

Наблюдая Туманность Андромеды, можно задаваться вопросом, смотрят ли на нас ее жители, возможно, в еще большие телескопы. Может быть, смотрят. Но в далеких галактиках, видных на снимках Hubble Deep Field, еще не могло развиться ничего столь разумного. Мы наблюдаем их на примитивной стадии развития, еще до завершения многими звездами своего жизненного пути и образования в звездных очагах атомов, необходимых для сложных химических реакций. В них слишком мало кислорода, углерода, кремния и иных элементов для формирования хотя бы скалистых отрогов, так что даже на само зарождение жизни шансов слишком мало.

Дружелюбно настроенные скептики иногда спрашивают меня: «Не слишком ли самоуверенны космологи, претендуя на объяснение чего-либо из огромного космоса?». Я отвечаю, что труднообъяснимыми вещи делает *степень их сложности*, а вовсе не их *размер*. В экстремальных условиях — внутри звезд или в ранней раскаленной Вселенной — любой объект разделяется на простейшие составляющие. Звезда по своему строению проще насекомого. Биологи, бьющиеся над запутанным многослойным строением бабочек и мозга, сталкиваются с куда более сложными задачами, чем астрономы.

* Подробнейшие снимки с телескопа Хаббл. — Прим. перев.

Этот ответ я привел преимущественно по той причине, что в следующей главе я излагаю определенные тезисы, которые могут по каким-либо соображениям показаться самонадеянными — например, что мы с почти стопроцентной уверенностью можем сделать выводы о том, что произошло в первые секунды истории космоса, и можем отследить все события вплоть до Большого взрыва, основные свойства которого описать не сложно.

Эти достижения заставляют обратить более пристальное внимание на новые вопросы и загадки. Как из такого простого «рецепта» за 13 миллиардов лет развился наш такой сложный мир, где — здесь, на Земле, и, возможно, в других мирах — атомы объединяются в создания, способные размышлять над своим происхождением? Возможно, на орбитах вокруг далеких Солнц существуют инопланетяне, уже знающие ответы. Но нам эти вопросы предстоит решить в новом тысячелетии.

Глава 5

Догалактическая история

До галактик: назад к раскаленным истокам

На снимках Hubble Deep Field запечатлена эра формирования галактик. Но что можно сказать о более раннем периоде истории космоса, еще до формирования самой первой звезды? Около 70 лет назад Жорж Леметр из Бельгии, избравший путь священника, хотя был математиком и выпускником Массачусетского технологического института, развил идею о том, что все началось со сжатого состояния. Он назвал его «первозданным атомом», но эта фраза не прижилась. Такая же участь постигла и слово «илем», предложенное энергичным русско-американским ученым Георгием (Джорджем) Гамовым. Эти неологизмы были ниспровергнуты выражением «Большой взрыв» — несерьезным термином, предложенным в 1950-х годах Фредом Хойлом в качестве ироничного описания нелюбимой им теории. Хойл затем увлекся идеей о неизменном состоянии нашей Вселенной: новые атомы создавались постоянно и объединялись в новые галактики, заполняющие пустое пространство между старыми таким образом, что все в целом всегда выглядело примерно одинаково, несмотря на расширение. Эта теория — предполагающая существование нашей Вселенной испокон веков и до бесконечности в самосогласованном состоянии — была популярна в Англии в 1950-х годах. Среди ее достоинств была способность давать конкретные предсказания; она была уязвима для опровержений и служила стимулом для исследователей. Но хорошо

слышные голоса трио ее авторов — Германа Бонди, Томаса Голда и Фреда Хойла, — в сущности, так и не достигли противоположных берегов Атлантики. Взгляды эти не были приняты также и в Советском Союзе, по идеологическим мотивам.

В сороковых и пятидесятых годах двадцатого века самым громким защитником теории Большого взрыва был Георгий Гамов. Вместе со своими молодыми сотрудниками Ральфом Альфером и Робертом Германом он исследовал физику горячего плотного начала Вселенной. Ситору Хаяши из Японии скорректировал и уточнил их расчеты, но в то время они мало кого интересовали, главным образом потому, что теории о плотном начале Вселенной (если такое имело место) казалось невозможным проверить с помощью наблюдений, а потому их воспринимали как всплески неукротимой фантазии.

Леметр писал: «Развитие Вселенной можно уподобить картине только что завершившегося фейерверка: несколько огненных завитков, пепел и дым. Стоя на застывшем пепле, мы наблюдаем за угасанием солнц и тщимся вызвать в памяти исчезнувшую яркость рождения миров»¹. Подтверждение этой «исчезнувшей яркости» относится к 1965 году, когда было обнаружено послесвечение горячего плотного начала нашей Вселенной — самое важное достижение космологии за последние пятьдесят лет. Это открытие, нанесшее теории неизменного состояния смертельный удар, было сделано совершенно случайно сотрудниками Лабораторий телефонной компании Белла в Нью-Джерси Арно Пензиасом и Робертом Вильсоном. Их насторожил избыточный «фоновый свист», зафиксированный чувствительной антенной, предназначенной для приема сигналов от искусственных спутников. Они описали это явление в знаменитой статье с прозаическим названием «Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s»^{*} в *Astrophysical Journal*. Другая статья в этом же выпуске журнала разъясняла ее значение. Авторство этой статьи принадлежит ныне покойному Роберту Дику и его коллегам из Принстона Джеймсу Пиблзу, Полу Роллу и Дэвиду Уилкинсону, намеревавшимся быть первооткрывателями этого излучения. Они немедленно со-

^{*} «Перегрев антенны на частоте 4080 МГц» — Прим. перев.

образили, что Пензиас и Вильсон опередили их со своим важным открытием, и поспешно произвели собственные измерения.

Межгалактическое пространство не совсем холодное, оно слегка нагревается всепроникающими микроволнами, не имеющими явного источника; это излучение заполняет всю нашу Вселенную. На графике его интенсивность при различной длине волн напоминает то, что физики называют кривой излучения «черного тела» или «тепловой» кривой. Именно такую кривую и следует ожидать, если излучение вступило в равновесие с окружением, как это происходит внутри звезды или в равномерно горящем очаге. Доказательство этого особого спектра обрастало новыми подробностями в течение 25 лет после открытия излучения; но в 1990 году для проведения наиболее достоверных измерений с погрешностями меньше толщины линии на графике (рис. 5.1) Джон Мэтер и его команда использовали спутник *Cosmic Background Explorer* (COBE)*. Результаты этих измерений отменяют все сомнения в том, что всё — все вещество, из которого состоят сегодняшние галактики — в какой-то момент времени находилось в состоянии сжатого газа, который был раскаленнее ядра Солнца. В результате расширения излучение охладилось и длина его волны увеличилась. Но это первозданное тепло — послесвечение созидания — все еще окружает нас: оно наполняет все пространство, ему некуда податься! Большинство из нас видят его ежедневно, так как оно создаст один процент помех на экранах телевизоров.

Пензиас и Вильсон были радиоастрономами, более компетентными в электронике, чем в космологии. Их успех был результатом упорства и технических навыков. Поэтому несудивительно, что лишь другие смогли объяснить им важность этого открытия. По сути, Вильсон вспомнил, что весь смысл их открытия дошел до него, только когда он прочел доклад о нем в «*Нью-Йорк Таймс*». Многие из нас тоже имеют подобный опыт, только, возможно, в отношении не столь важных событий. Любому исследователю приходится сосредотачиваться на отдельных технических подробностях, но профессиональный риск заключается в том,

* Исследователь фона космического излучения. — Прим. перев.

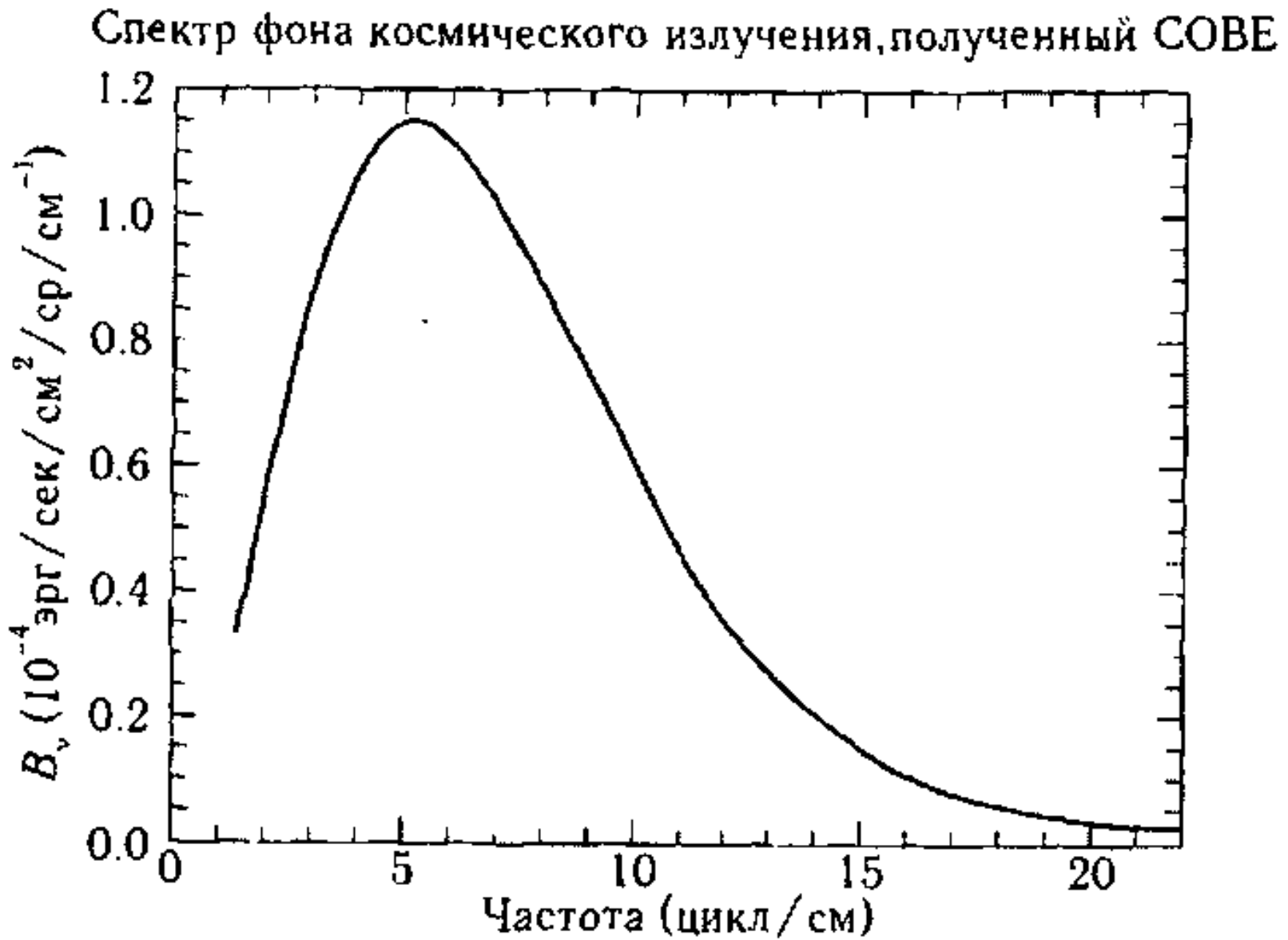


Рис. 5.1. Фоновое излучение по данным спутника COBE. Форма его совпадает со спектром черного тела с точностью до одной десятитысячной.

что, занимаясь небольшими и легко решаемыми задачами, он теряет из вида обширную перспективу. Вот почему — в своих же интересах — ученым-профессионалам следует передавать свою работу неспециалистам. Даже если сделана она из рук вон плохо, полезна сама попытка: мы вспоминаем, что наши усилия оправданы настолько, насколько они помогают осветить полную картину явлений.

В первые минуты своего существования наша Вселенная была много раскаленной ядра Солнца — горячее даже, чем крупные звезды в конце своей жизни, — и, безусловно, достаточно горяча для протекания в ней процессов ядерного синтеза. Однако она, к счастью для нас, остыла прежде, чем успела «переработать» все в железо, ядра атомов которого обладают самыми прочными связями. Если бы наша Вселенная оставалась такой горячей еще какое-то время (или реакции протекали бы быстрее), для питания звезд не осталось бы ядерного топлива. Но случилось только то, что 23% водорода обратилось в гелий, оставив в качестве

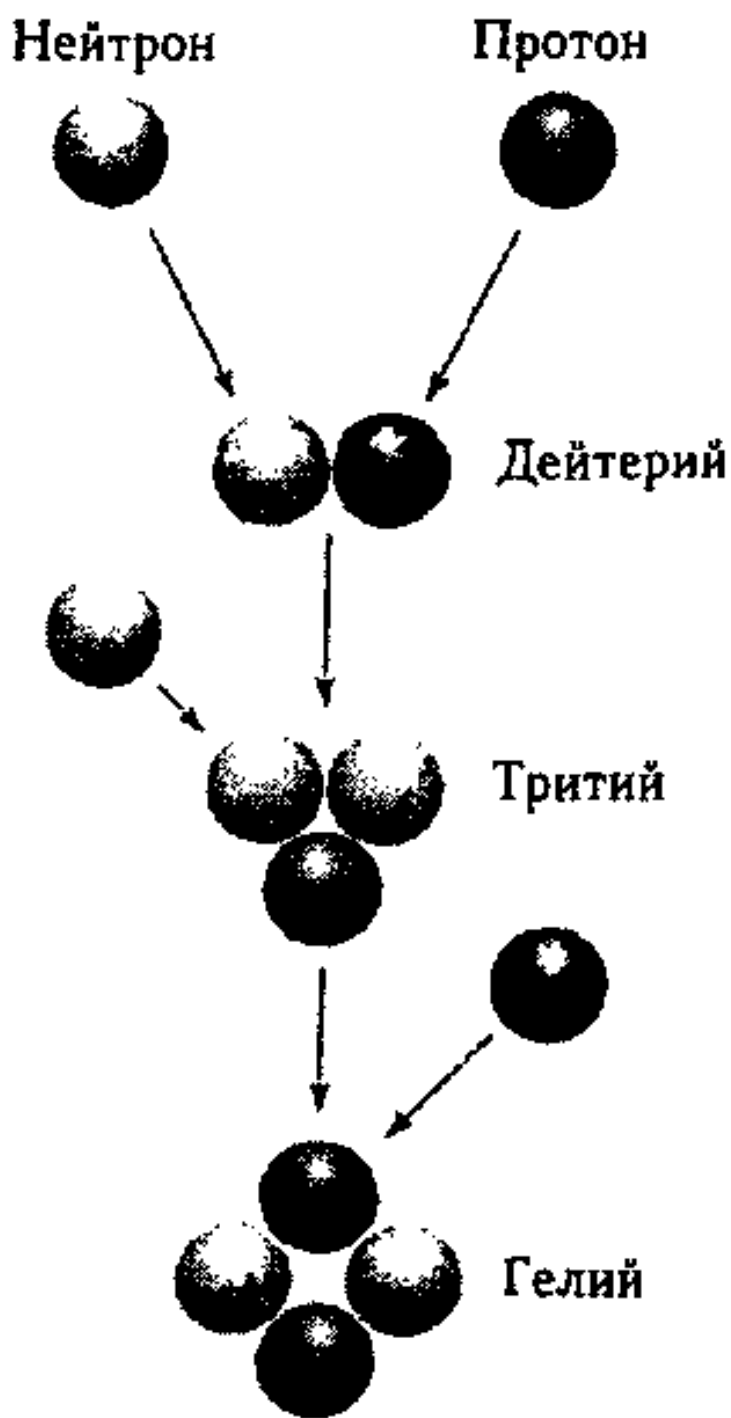


Рис. 5.2. Цепь ядерных реакций синтеза дейтерия и гелия в первые три минуты после Большого взрыва.

стала в буквальном смысле темной, пока первые сформировавшиеся звезды вновь не осияли ее. С того момента, когда Вселенная была более чем в тысячу раз моложе, микроволны странствуют беспрепятственно; они — прямые «посланцы» эры, предшествовавшей формированию звезд или галактик².

Темная материя

Мы не знаем, бесконечна ли наша Вселенная, но она, бесспорно, велика. Во время фазы огненного шара возникло достаточное для формирования всех звезд во всех галактиках количество атомов водорода и гелия; в зоне види-

промежуточного продукта реакций небольшое количество тяжелого водорода (дейтерия) (рис. 5.2). Эти пропорции соответствуют результатам астрономических измерений. Если не считать остаточного количества лития, сразу после Большого взрыва не образовалось никаких других химических элементов — ни углерода, ни кислорода, ни чего-либо еще.

Расширяющейся Вселенной, поначалу ослепительно яркой и горячей, потребовались сотни тысяч лет, чтобы остыть до температуры поверхности Солнца. На этом этапе развития электроны и ионы сливались в нейтральные атомы, которые уже не рассеивали излучения. Поднялся «туман», и Вселенная стала прозрачной. Первоначальный свет затем превратился в инфракрасный, и Вселенная

мости наших телескопов находится не менее 10^{78} атомов. Вселенная содержала, кроме того, кванты электромагнитного излучения, или фотоны, в значительно бóльших количествах — примерно 2 миллиарда фотонов на каждый атом, — вот почему мы часто говорим о *горячем* Большом взрыве.

От ранних горячих стадий нам досталось кое-что помимо этого — таинственная темная материя. Астрономы обнаружили, что галактики и целые их скопления разлетелись бы, если бы они не удерживались вместе гравитационным притяжением материи, количество которой в пять-десять раз бóльше видимого нами. Есть несколько способов наблюдения, подтверждающих это заключение. Я приведу только два.

Первым свидетельством являются дисковые галактики, подобные нашей Галактике или Туманности Андромеды. Звезды и газ обращаются вокруг центра таких галактик со скоростью, при которой центробежные силы смещают гравитационное тяготение к центру. Это аналогично — только в значительно бóльшем масштабе — тому, как гравитация Солнца удерживает планеты на своих орбитах. Радиоастрономы могут обнаружить облака холодного водорода, вращающиеся далеко за пределами видимого диска звезд; атомы водорода излучают на характерной длине радиоволны 21 сантиметр, о скорости же вращения облаков можно сделать вывод из доплеровского смещения этого излучения. Если бы на эти удаленные облака действовало гравитационное притяжение галактических звезд и газа, то, чем дальше за пределами галактики они находились бы, тем медленнее двигались бы — по той же причине Плутон вращается вокруг Солнца медленнее, чем Земля. Однако в действительности все происходит иначе, так как облака на разном удалении от галактики вращаются с более или менее одинаковой скоростью. Если бы в нашей Солнечной системе Земля и Плутон вращались вокруг Солнца с равной скоростью, нам пришлось бы заключить, что за пределами орбиты Земли, но в пределах орбиты Плутона существует некая материальная оболочка. Так же и здесь: высокая скорость вращения этих удаленных облаков свидетельствует о наличии в галактике чего-то, невидимого нам. Вся светящаяся галактика — совокупность звезд и мерцающего газа —

должна быть окружена темным гало, в несколько раз более тяжелым и обширным.

Кстати, скорости звезд и газа в галактиках составляют не более одной тысячной доли скорости света. Это означает, что поправки к теории Ньютона, внесенные общей теорией относительности Эйнштейна, незначительны, так как рассчитаны для планетарных орбит.

Проникающая темная материя существует и в больших масштабах. В 1930-х годах швейцарско-американский астроном Фриц Цвикки утверждал, что галактики в скоплениях разбегаются бы, если бы их не сдерживало гравитационное притяжение темной материи. Он предположил, что гравитационное искажение — вызванное гравитацией отклонение световых лучей от объектов, расположенных за гравитационным полем — может выдать присутствие темной материи. Эта методика сейчас, спустя 65 лет, принесла свои плоды; печально, что Цвикки не дожил до появления снимков вроде того, что помещен на обложке этой книги, на котором показано большое скопление галактик, находящееся за миллиард световых лет от нас. На снимке также видны многочисленные тусклые полосы и дуги: каждая — это далекая галактика, расположенная в несколько раз дальше, чем само скопление, видимое в искажающий объектив. Как узор куска обоев через изогнутое стекло видится искаженным, так и гравитация скопления галактик отклоняет лучи света, проходящие сквозь ее поле. Видимые в скоплении галактики содержат всего от 10 до 20 процентов материала, необходимого для создания таких искаженных изображений — доказательство того, что масса скоплений, как и отдельных галактик, в пять-десять раз превышает ту, что мы видим в реальности.

Главное доказательство существования темной материи основано на применении закона тяготения Ньютона в масштабах, в миллионы и даже миллиарды раз больше нашей Солнечной системы, которая, несомненно, является единственным местом, где этот закон был проверен. Следует осторожно обращаться со столь огромной экстраполяцией; некоторые даже усматривали в этом заблуждение, и говорили о более сильном, чем предсказывают стандартные теории, действии гравитации на больших расстояниях. В этой ситуации гравитационное искажение, хотя оно

основано на иной физической теории — эйнштейновой, а не ньютоновой, — является важным аргументом, так как подкрепляет другие доказательства.

В сущности, нет причин протестовать заявлению о том, что большая часть материи во Вселенной может быть темной: почему все небесные объекты должны быть ярче земных? То, что мы видим, может оказаться малой и нетипичной частью космоса. Но чем может быть темная материя? Космологов смущает, что для 90% Вселенной нет объяснения. Ранее за темную материю принимали очень тусклые звезды и мертвые звездные обломки. Но сегодня исследования проводятся с помощью намного более чувствительной техники, и, если бы для объяснения всей темной материи было достаточно таких объектов, их, скорее всего, уже обнаружили бы.

Мы укрепились в мысли, что темная материя не может состоять из чего-либо, созданного обычными атомами. Самой привлекательной кажется такая версия: темная материя состоит из массы частиц, доселе не обнаруженных из-за того, что они не имеют электрического заряда и пронизывают обычную материю, практически не взаимодействуя с ней³. До сих пор ведутся споры о том, что такое эти таинственные и неуловимые объекты; на их роль нет безупречных кандидатов. С другой стороны, физики создали теории о многих видах частиц, которые могли образоваться в первые сверхраскаленные мгновения после Большого взрыва и сохраниться до наших дней.

Каждую секунду тысячи таких частиц могут ударяться о нас, но почти все они проходят сквозь нас и сквозь любую лабораторию. Однако иногда одна из них сталкивается с атомом, и чувствительный прибор мог бы зафиксировать последующий за этим отскок, если бы это происходило, к примеру, в куске кремния. Несколько групп ученых в мире уже приняли этот вызов. Для такого эксперимента необходимо чувствительное оборудование, охлажденное до температуры около абсолютного нуля, установленное глубоко под землей для снижения фонового сигнала космических лучей, и т. д.

Одна из экспериментальных сложностей заключается в том, что такие же сигналы могут создавать и другие виды частиц (например, продукты радиоактивного распада в

горной породе). Но истинная темная материя будет обладать особым почерком, удостоверяющим ее галактическое, внеземное, происхождение. Солнце неуклонно движется сквозь массу частиц, формирующих гало нашей Галактики, но Земля вращается вокруг Солнца, так что скорость ее сквозь гало изменяется закономерно в течение года: наибольшая в июне и наименьшая в декабре. В 1999 году группа итальянских ученых заявила, что с помощью оборудования, установленного в глубокой пещере горы Гран Сассо в Апеннинах, им удалось распознать именно такие сезонные колебания полученных данных. Но их информация не подтвердилась. Ученым, посвятившим себя исследованию этого вопроса, придется совершенствовать свои методики и пребывать в своих туннелях и шахтах еще в течение ряда лет до того, как они обнаружат недвусмысленный сигнал. Но даже тогда успех не будет полным, так как до сих пор в отношении частиц, составляющих темную материю, многое неясно: по отдельности они могут оказаться слишком легкими, чтобы создать ощутимый отскок, или слишком тяжелыми и редкими.

Интеллектуальные ставки высоки. На сегодня темная материя является как первостепенной задачей в астрономии, так и важной проблемой физики. Если бы мы могли решить ее — я надеюсь, это случится в ближайшее десятилетие, — мы бы определили основную долю составляющего Вселенную вещества и открыли бы, помимо этого, нечто совершенно новое о микромире частиц. Более того, в следующей главе рассказывается, что количество темной материи оказывает влияние на долгосрочный космический прогноз: как будет расширяться Вселенная через десятки миллиардов лет.

Мы примирились с посткоперниковской идеей о том, что наша планета не является центром Вселенной. Но сейчас мы еще понизим наш космический статус. Шовинизм частиц должен возрасти: мы состоим не из доминирующего во Вселенной вещества. Мы, звезды и видимые галактики суть всего лишь остатки осадка — кажется, мы слишком поздно поняли это — в космосе; нечто качественно иное и до сих пор неизвестное управляет его крупномасштабной структурой и конечной судьбой.

От элементарного к сложному: значение гравитации

Наша космическая среда обитания очень контрастна и разнообразна. В ней наблюдается огромный диапазон температур. Поверхность звезд раскалена (а ядра имеют еще более высокую температуру), но темное небо нагрето всего лишь на 2,7 градуса выше абсолютного нуля микроволновым излучением, оставшимся после Большого взрыва. Плотность также различна: одни атомы все еще рассеяны в межгалактическом пространстве, едва ли один на каждый его кубометр; другие собираются в галактики, звезды и планеты — и как минимум одну биосферу.

Вся эта запутанная сложность возникла из бесформенного огненного шара, для описания которого понадобится не больше величин, чем для описания отдельного атома. Это может показаться попирательством священного принципа физики — второго закона термодинамики, описывающего неумолимую склонность объектов и структур распадаться или диспергировать: объекты стремятся остыть, когда накалены, и нагреться, будучи холодными; упорядоченные состояния стремятся к беспорядку, но обратного процесса не происходит. Энтропия, степень этого беспорядка, никогда не уменьшается.

Какова же разгадка этого кажущегося парадокса? Сила гравитации имеет решающее значение — особенно когда мы говорим об увеличении этой силой малых начальных различий плотности в расширяющейся Вселенной. Любая область с начальной плотностью чуть выше средней, или расширяющаяся немного медленнее средней скорости, будет замедляться сильнее остальных, ощущая дополнительное тяготение. Расширение такой области все больше и больше отстает от прочих, окончательно останавливается, и в итоге она отделяется в виде гравитационно связанной системы. Именно в этом процессе, по нашему разумению, примерно через миллиард лет после Большого взрыва сформировались звездные галактики.

Астрофизики могут изучить этот процесс, моделируя виртуальные вселенные на своих компьютерах, и демон-

стрируя, как слабые колебания начальной плотности под действием гравитации развивались в галактики, которые, в свою очередь, группировались в скопления.

На рис. 5.3 показаны шесть кадров простого фильма о кубике, достаточно большом, чтобы вместить множество образующихся галактик. Расширение показано без соблюдения масштаба, так что все кубики выглядят одинаковыми. Можно четко различить раскрытие и развитие зарождающихся структур. Этот рисунок демонстрирует только темную материю, обладающую доминирующим гравитационным действием. Меньшие по размеру структуры сливаются в протогалактики. Газ втягивается в эти скопления темной материи размером с галактику, где охлаждается и конденсируется в «капли», которые затем превратятся в звезды. Новые галактики впоследствии объединяются в скопления. В подобных фильмах возникновение галактик показано примерно в 10^{16} раз быстрее, чем это происходило на самом деле. Отправной точкой для таких расчетов служит расширяющаяся Вселенная с ее атомами, излучением и темной материей.

Уже Ньютон размышлял над происхождением строения космоса. Он не располагал нашей современной концепцией о действительных размерах Вселенной и, конечно, не мог знать о ее расширении; но в письме к Ричарду Бентли, схоласту, бывшему главой Тринити-колледжа в Кембридже, — он представлял возможный способ конденсации материи в бесконечной статичной Вселенной в звезды:

ТАВ «Если бы материя была равномерно распределена в бесконечном пространстве . . . некоторое количество ее соединилось бы в одну массу и некоторое количество в иную, так создавая бесконечное количество больших масс, разбросанных на значительных расстояниях одна от другой во всем бесконечном пространстве. И так могли сформироваться Солнце и неподвижные звезды.»

Дальше в его работе появляется оговорка: «при условии, что материя имеет светящуюся природу». Но рассматривать это как предчувствие темной материи значило бы принимать желаемое за действительное.

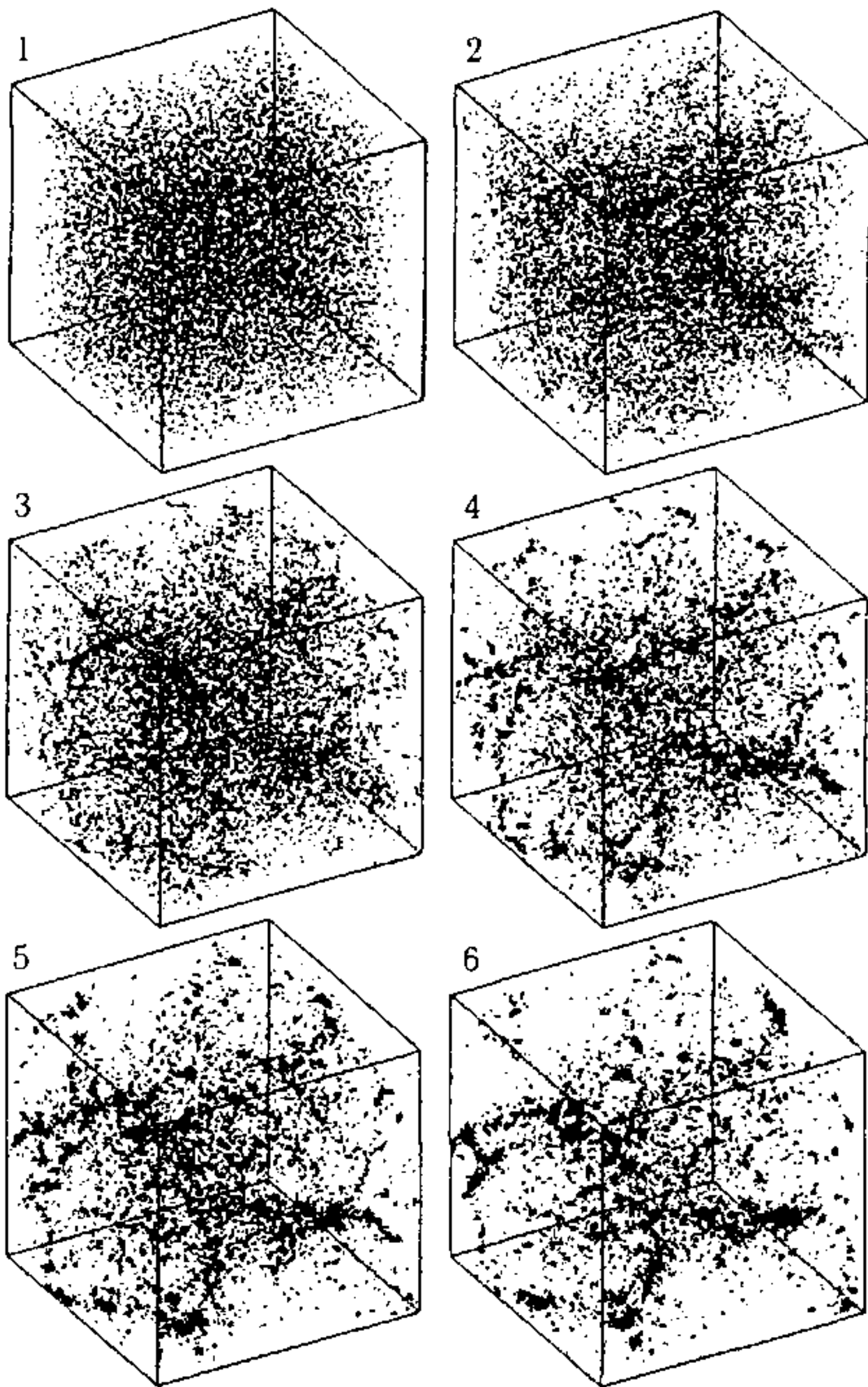


Рис. 5.3. Шесть кадров моделирования N -тела, демонстрирующие возрастание разницы плотности и развитие структуры. На этих рисунках масштаб начальных и конечных кубиков был изменен таким образом, что, несмотря на расширение, все они кажутся одинаковыми.

Компьютерные модели успешно имитируют основные свойства реальных галактик — присущие им размеры и формы, соотношения дисковые и соотношения эллиптические — и образ их скопления. Кстати, эти модели подпитывают веру в темную материю: результат этого моделирования не совпадает с реальной Вселенной, если считать, что все состоит из атомов, и темной материи, которая создавала бы избыточную гравитацию, не существует.

Более точные детали, «характер погоды» в каждой галактике, моделировать намного сложнее. После формирования звезд сохраняется тенденция от однородности к увеличению контраста температуры и плотности, так как гравитация порождает кажущуюся неправильной связь между теплом, энергией и температурой. Предположим, что прекратилась подача топлива в центр Солнца. Оно постепенно, по мере утечки энергии, уменьшится. Но центр звезды завершит существование *еще более горячим*, чем раньше: гравитационное притяжение сильнее ощущается на меньших расстояниях, и центру придется нагреться, чтобы достигнуть давления, способного противостоять мощной силе, действующей извне. Простые вещества (к примеру, вода) обладают так называемой «удельной теплоемкостью», определяющей количество поглощенной ими энергии при повышении их температуры. Объекты, удерживаемые вместе гравитацией, имеют отрицательную удельную теплоемкость: теряя энергию, они становятся более плотными, а их температура повышается.

С момента формирования звезд и планет дальнейшие события на некоторых из них по сложности, возможно, превосходили происходившее ранее. Согласно классической физике, в случае теплового равновесия не может работать ни один «тепловой двигатель», и не может возникнуть сложность. Для всего этого нужны области, нагретые больше остальных. Биосферы планет питаются светом центральной звезды. Эта «высококачественная» энергия обеспечивает фотосинтез, а ненужное тепло излучается в межзвездное пространство. Биологическая эволюция чувствительна к случайностям — изменениям климата, ударам астероидов, эпидемиям и т. д., — так что, если заново начать историю Земли, ее биосфера в результате оказалась бы совершенно иной. Это справедливо и для любой другой планеты.

Кстати, астрономы по привычке говорят об «эволюции» звезд и галактик, но более близкую к биологии параллель можно провести, используя слово «развитие». Объекты изучения астрономов — звезды, галактики и т. п. — проявляют тенденцию к увеличению сложности и разнообразия, как и развивающееся животное или растение. Но астрономия звезд и галактик не имеет в своем арсенале аналогов дарвиновской теории эволюции в результате естественного отбора.

Фактура космоса

Вселенная не могла родиться идеально гладкой и однородной. Если бы так случилось, содержание газообразных водорода и гелия в сегодняшнем ее составе было бы ничтожным — менее одного атома на каждый кубический метр повсюду. Вселенная была бы холодной и безынтесной: никаких галактик, следовательно, никаких звезд, ни намека на периодическую таблицу, никакой сложности и, конечно, никаких людей.

Но, благодаря «увеличению контраста», вызываемого гравитацией во время расширения, даже малейшая начальная неоднородность могла изменить все. Амплитуду этих неоднородностей можно описать простым числом Q — разностью энергии между максимальным и минимальным значениями плотности, выражаемой в виде доли от общей энергии (mc^2 Эйнштейна) материала. Q определяет величину самых крупных структур во Вселенной, причем увеличение Q указывает на «кусковатую» Вселенную. Согласно компьютерным расчетам, для того, чтобы объяснить сегодняшние галактики и скопления, Q должна равняться примерно 0,00001. Малое значение Q предполагает, что, говоря языком гравитации, наша Вселенная такая гладкая, какой была бы Земля, если бы горные пики или волны достигали в высоту всего 50 метров.

Такая неровность, или рябь, проявляется по-другому: она слегка нагревает фон в одних областях неба и слегка охлаждает в других. Спутник COBE составил карту температур всего неба и обнаружил колебания температуры в одну стотысячную градуса. Столь точное измерение стало

реальной победой техники. Остаточное излучение, нагретое едва ли до 3 градусов выше абсолютного нуля температур, в сто раз холоднее Земли и ее атмосферы, а перепад температур между горячими и холодными областями неба еще в 100 000 раз меньше.

Измерения COBE подтвердили предположение о том, что космические структуры возникли в результате гравитационной неустойчивости. Они показали, что юная горячая Вселенная была действительно заполнена рябью, причем ее амплитуда, согласно компьютерным расчетам, была как раз той, которая требуется для объяснения нынешней структуры Вселенной.

Флуктуации должны были быть заложены в самом начале, в одно время со смесью составляющих нашей Вселенной. Что бы ни вызвало Большой взрыв, после него Вселенная начала «звенеть» — испытывать затухающие колебания — или вибрировать, но до сих пор непонятно, чем регулируется амплитуда этих колебаний, — иными словами, неясно значение Q . Тем не менее, интересно, что ни более гладкая, ни более неровная Вселенная не обеспечила бы такой благоприятной среды обитания.

Если бы Q было меньше 0,00001 (или 10^{-5}), галактические «экосистемы» не сформировались бы вообще: на развитие скоплений ушло бы больше времени, причем гравитация их была бы слишком слабой, чтобы удерживать газ. Очень гладкая Вселенная осталась бы навсегда темной и невыразительной, даже если бы ее начальная смесь из атомов, темной материи и излучения была равноценна начальной смеси нашей Вселенной. С другой стороны, более неровная Вселенная, в которой Q намного превосходило бы значение 0,00001, была бы бурной и яростной. В начале ее истории конденсировались бы куски намного крупнее галактик. Они не распадались бы на звезды: вместо этого они в результате коллапса становились бы гигантскими черными дырами, много тяжелее целого скопления галактик в нашей Вселенной. Даже если бы формирование галактик завершилось успешно, звезды в них были бы стиснуты друг другом настолько, что любые планетарные системы были бы раздроблены проходящими соседними звездами*.

* По той же причине менее вероятно существование стабильных пла-

Насколько достоверна теория Большого взрыва?

Уверенность в том, что наша Вселенная расширилась из горячего плотного начального состояния, укрепилась с течением времени. Десятилетиями на теорию Большого взрыва совершались нападки — и она выжила. В восьмидесятих-девяностых годах двадцатого столетия можно было сделать открытия, опровергающие эту гипотезу, но этого не случилось. Например, обнаружение любого объекта, содержание гелия в котором было бы нулевым или, по крайней мере, намного ниже 23%, оказалось бы роковым, так как избыток образованного в звездах гелия может легко повысить его относительное содержание в догалактическом пространстве, но при этом, видимо, нет способа обратного превращения всего гелия в водород. Или фоновое излучение, столь точно измеренное спутником COBE (показано на рис. 5.1), могло выказать спектр, отличный от ожидаемой кривой излучения черного тела или тепловой кривой. Избыточное излучение на самой короткой (миллиметровой) длине волны могло быть обусловлено диффузной пылью или другими источниками. Но если бы на определенной длине волны наблюдался недостаток излучения, по сравнению с обычным излучением черного тела, это стало бы самой главной загадкой⁴.

Теория Большого взрыва заслуживает, по крайней мере, такого же серьезного отношения, как и сведения о ранней истории Земли, выдаваемые нам геологами или палеонтологами: выводы, которые делают эти ученые, столь же косвенны (и менее количественны). Жизнеспособность теории Большого взрыва даст мне (и, я думаю, большинству современных космологов) 99% уверенности в обоснованности экстраполяции к нескольким первым секундам истории космоса.

Один процент я бы предусмотрительно оставил на возможность того, что наше удовлетворение так же иллюзорно, как радость птолемея астронома, успешно подогнав-

петарных систем вблизи от центра нашей Галактики, где звезды плотно сгущены, а не разбросаны на значительном расстоянии друг от друга, как звезды, находящиеся в непосредственной близости к Солнцу.

шего еще несколько эциклов. Космологов иногда упрекают в том, что они часто ошибаются, но никогда не сомневаются.

Мой старый наставник, Фред Хойл, изобретатель теории «неизменного состояния», до сих пор не свыкся с этим: он преодолел лишь часть пути и верит в «устойчивый взрыв» — космос, претерпевающий очень медленное растяжение, на которое накладываются учащенные колебания. Физик Макс Планк однажды сказал, что теории никогда *полностью* не отвергаются, пока живы их сторонники. Когда я пишу эти строки, Фред, к счастью, очень даже жив.

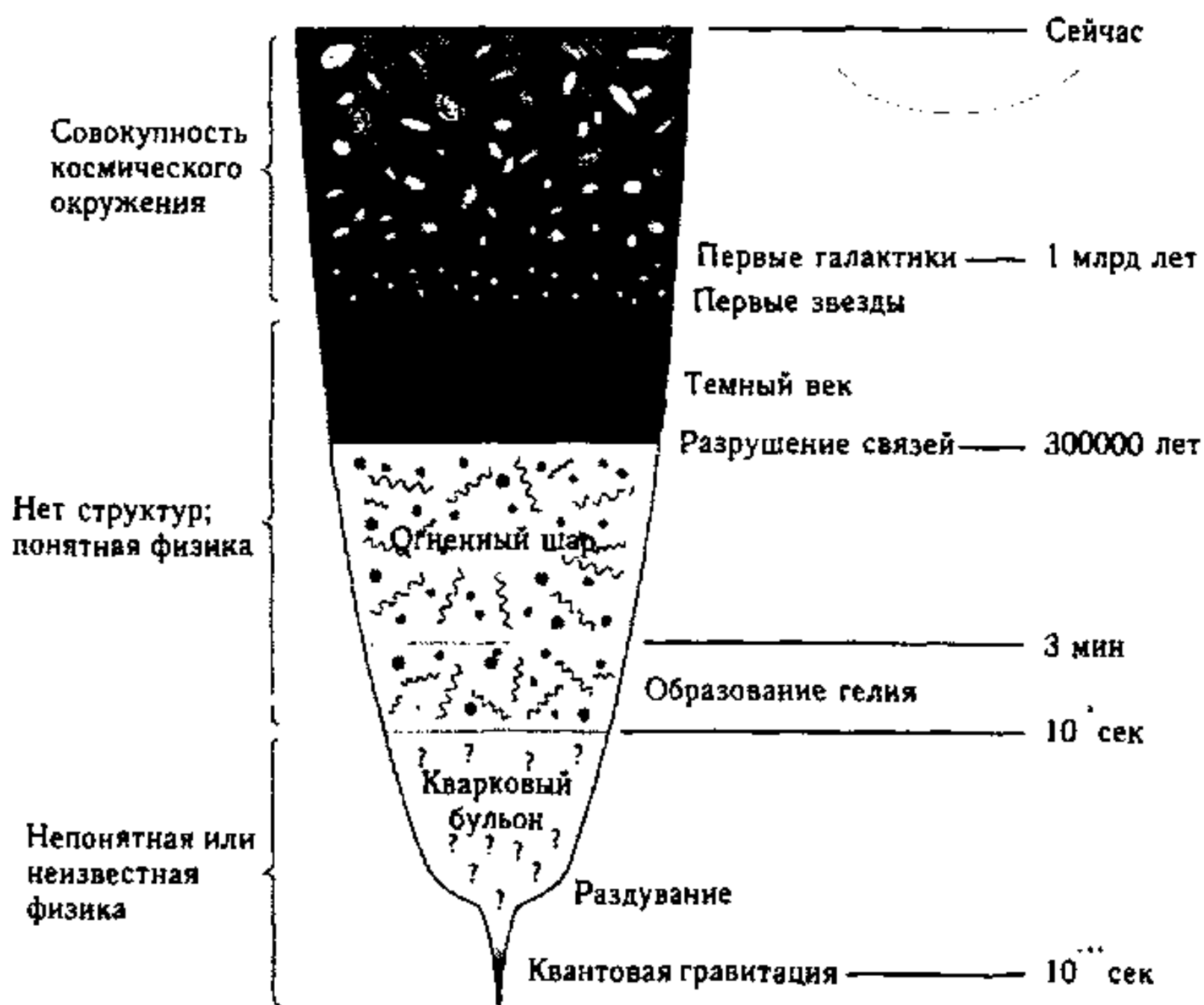


Рис. 5.4. Хронограмма Вселенной.

(По иронии судьбы приверженцы теории устойчивого состояния могут оказаться не на 100% неправыми, но лишь слишком ограниченными в представлении общего масштаба космоса. В последних главах я расскажу о концепции, согласно которой наш Большой взрыв мог быть

одним из многих «взрывов», происходящих в космосе; просто в каком-то гигантском масштабе он продолжает существовать в вечном самовоспроизводящемся стационарном состоянии.)

На рис. 5.4 изображена временная диаграмма, показывающая Большой взрыв с самого начала. Я хотел бы подчеркнуть, что мои 99% уверенности простираются до самой первой секунды — возможно, даже миллисекунды, — но точно не дальше этого. Это ограничение обусловлено тем, что обратная экстраполяция в первую крошечную долю секунды воскрешает плотности и температуры намного выше тех, что можно воспроизвести или изучить на Земле, поэтому у нас нет надежной основы для любых выводов об условиях, тогда господствовавших. По истечении первой миллисекунды частицы двигались и сталкивались с такой энергией, которой несложно достичь в лаборатории. Фоновое излучение наряду с гелием и дейтерием есть ископаемые той эры, и согласованность практики и теории подкрепляет столь далекую экстраполяцию.

Вкратце можно выделить три периода истории космоса.

1. *Первая миллисекунда.* Именно здесь мы сталкиваемся с неопределенностями в основной физике, и неопределенности эти возрастают по мере продвижения к самому началу, ибо мы постепенно теряем точку опоры в эксперименте.

2. *От миллисекунды до нескольких миллионов лет.* Здесь все просто и ясно. Физика изучена, и все равномерно расширяется. Но элементарное заканчивается с конденсированием первых структур.

3. *«Современная» Вселенная.* Этот период не ясен не потому, что мы не понимаем физики, но по той же причине, по которой столь сложны науки об окружающей среде, к примеру, метеорология. Вся развивающаяся материя зависит от начальных условий. Ключевые значения, вроде Q и смеси атомов, излучения и темной материи, мы унаследовали от странной и неопределенной физики первого периода.

Мы являемся свидетелями увеличивающегося количества открытий, которые наверняка будут происходить и в следующем десятилетии благодаря слиянию научных достижений.

1. *Флуктуации фоновой температуры.* Эти флуктуации вызваны «зародышами» галактик и скоплений. В течение следующих лет два спутника, MAP NASA и «Planck-Surveyor»^{*} Европейского космического агентства, с бóльшим, чем у COBE, разрешением охватят весь небосвод.

2. *Вселенная со значительным красным смещением.* Космический телескоп Хаббл исчерпал свой потенциал; два телескопа Кеск работают в автоматическом режиме (они теперь дополнены Very Large Telescope в Чили и еще некоторым оборудованием с более чем восьмиметровыми зеркалами). Новые рентгеновские телескопы в космосе и наземные радиотелескопы стали еще более чувствительными. Спустя десятилетие эстафету подхватят еще более крупные телескопы, космические и наземные, способные производить разведку еще дальше, чем современные телескопы.

3. *Образование крупных скоплений.* В результате обширных исследований, позволяющих использовать весь спектр чувствительных статистических тестов, которые должны помочь установить новые подробности о формировании галактик, в каталог будут занесены миллионы галактик.

4. *Поразительные достижения в компьютерных технологиях.* Они позволят воспроизвести, с возрастающим реализмом, формирование и развитие галактик и звезд. Мы можем даже проводить «виртуальные опыты», чтобы узнать, что происходит при взрыве звезд или соударении галактик.

5. *Новые концепции в фундаментальной физике.* В главе 9 я рассуждаю о том, что новые концепции дают надежду (если только сегодняшняя эйфория возникла не на пустом месте) возведения самого начала Вселенной, первой крошечной доли секунды, на такую же прочную основу, как и более поздние периоды.

^{*} «Инспектор Планк». - Прим. перев.

Глава 6

Черные дыры и машины времени

Полный гравитационный коллапс

С момента образования наша Вселенная под действием гравитации становилась все менее и менее однородной, а разности плотности и температуры увеличивались. В конечном счете, гравитация преобладает над всеми остальными силами в звездах и более крупных объектах, хотя эффекты вращения и ядерная энергия отсрочивают ее полную победу.

Есть объекты, в которых гравитация уже возобладала над всеми другими силами. Это черные дыры — объекты, коллапсировавшие так сильно, что они не выпускают ни свет, ни какие-либо другие сигналы, но при этом оставляют следы — искажения пространства и времени в местах, которые эти объекты покинули.

Астронавт, подобравшийся слишком близко к черной дыре, попал бы в область, из которой нет возврата и нет возможности передать световые сигналы во внешний мир; это как если бы пространство засасывалось внутрь самого себя быстрее, чем свет проходит сквозь него. Внешний наблюдатель никогда не узнал бы дальнейшей судьбы астронавта, падающего в черную дыру: любые часы будут замедлять ход по мере падения внутрь, в дыру, так что астронавт будет казаться застывшим во времени.

Русские теоретики Яков Зельдович и Игорь Новиков, изучавшие искажение времени вблизи объектов, переживших коллапс, придумали для них термин «застывшая звезда». Зельдович, один из последних эрудированных физиков, занимает выдающееся положение в современной космологии. Он был личностью динамичной и харизматической; начиная с 1960-х годов, его московская исследовательская школа занимала ведущее место в открытии многих ключевых моментов, хотя к космологии и относительности в СССР относились негативно по идеологическим мотивам того времени¹. Термин «черная дыра» не употреблялся вплоть до 1968 года, когда Джон Уилер описал, как падающий объект «тускнеет с каждой миллисекундой . . . случайно залетевшие свет и частицы . . . спускаются в черную дыру единственно затем, чтобы дополнить ее массу и увеличить гравитационное притяжение»².

Черные дыры, самое замечательное следствие теории Эйнштейна, не просто теоретические конструкции. В нашей и любой другой галактике их огромное количество, причем каждая есть остаток звезды и весит в несколько раз больше Солнца. Есть и еще бóльшие дыры, в центрах галактик. Поблизости от центра нашей Галактики звезды вращаются в десять раз быстрее своей обычной галактической скорости. Они ощущают близкую гравитацию темного объекта, предположительно черной дыры, вес которой равен весу 2,6 миллиона Солнц. Хотя стоит отметить, что наша Галактика награждена небольшой черной дырой, по сравнению с другими галактиками, в центрах которых таятся дыры массивнее миллиарда Солнц, выдающие свое присутствие высокой скоростью вращения окружающих звезд и газа, вызванной их гравитационным притяжением.

Черные дыры стоят в ряду самых необычных объектов космоса. Но они одновременно и самые понятные. Они состоят из самой материи космоса, и структура их проста, как структура элементарных частиц. Сформировавшаяся черная дыра быстро устанавливается в обычное стационарное состояние, характеризующееся всего двумя величинами: значениями ее массы и спина. (В принципе, третьей характерной величиной является электрический заряд, но звезды не могут приобрести достаточный электриче-

ский заряд, который мог бы иметь значение для настоящих коллапсов.) Искривленное пространство-время вокруг черной дыры описывается тем самым решением уравнений общей теории относительности Эйнштейна, которое впервые нашел в 1963 году Рой Керр, математик, впоследствии отказавшийся от исследований в пользу игры в бридж, где он получил международное признание. В общем же, по мере того как мы все ближе знакомимся с макроскопическими объектами, они кажутся все более сложными для понимания, поэтому нельзя ожидать объяснения каждого их свойства; но черные дыры являются исключением из этого правила.

Внешние наблюдения не выявили ни каких-либо следов, отмечающих формирование конкретной дыры, ни вида объектов, поглощенных ею. Великий индийский астрофизик Субраманьян Чандрасекар был глубоко поражен этим фактом, как с эстетической, так и с научной точки зрения: «За всю мою научную жизнь — писал он, — самым сокрушительным ударом было осознание того, что точное решение уравнений общей теории относительности Эйнштейна, найденное новозеландским математиком Роем Керром, дает абсолютно точное представление о неисчислимых массивных черных дырах, населяющих Вселенную»³. Теоретик Роджер Пенроуз, приложивший, возможно, наибольшие усилия для возрождения теории относительности, произошедшего в шестидесятых годах двадцатого века, заметил: «Ирония заключается в том, что астрофизический объект, самый странный и наименее знакомый — черная дыра, — есть тот самый объект, в отношении которого мы располагаем наиболее полной теоретической картиной»⁴. Таким образом, открытие черных дыр предоставило возможность проверить самые замечательные следствия теории Эйнштейна.

В главе I я упоминал о претенциозной программе NASA по поиску планет земной группы — совокупности зеркал в космосе, которые смогут обнаружить планеты, подобные Земле, вращающиеся вокруг других звезд. По завершении этого проекта следующей миссией NASA может стать получение изображения газа, закручивающегося в черную дыру. Оно будет выглядеть как модель на

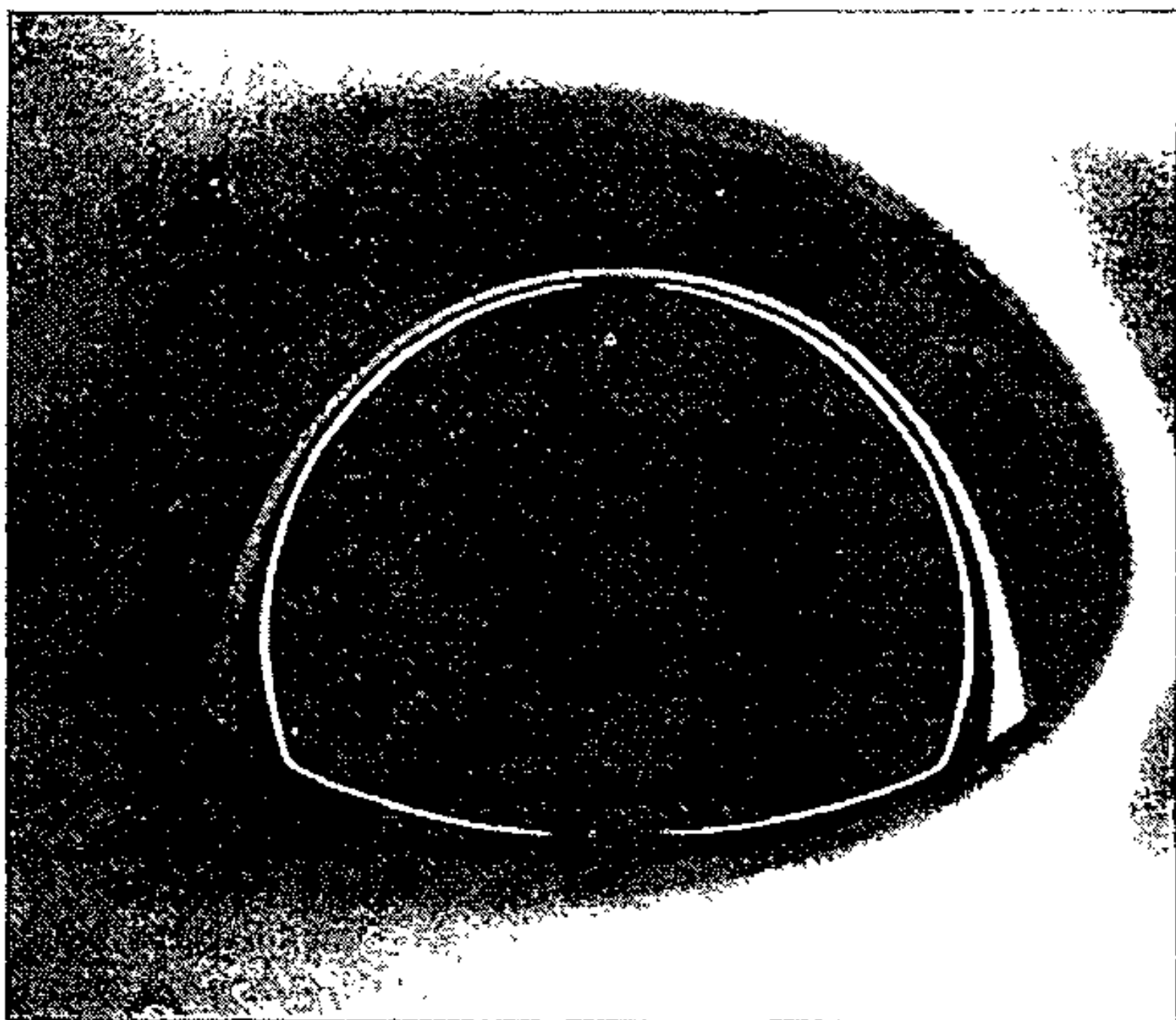


Рис. 6.1. Закручивание газа в черную дыру. Здесь показано то, что будет видно, если учесть смещения Доплера и отклонение света мощной гравитацией.

рис. 6.1. Но не нужно с замиранием сердца ждать появления реальной картины; о черных дырах можно сделать много логических выводов еще до того, как мы увидим их на снимке. Излучение таких объектов происходит в первую очередь от разогретого газа, закручивающегося в гравитационную яму. Находящееся в космосе оборудование может улавливать все излучения и определять их спектр. Любой спектральный анализ выявит значительный эффект Доплера, так как газ движется со скоростью, близкой к световой. Выявляется также избыточное красное смещение — так называемое гравитационное красное смещение, вызванное тем, что, выбираясь из области с таким мощным гравитационным притяжением, каждый фотон теряет часть своей энергии. Исследования этого потока излучения (глав-

ным образом рентгеновского, нежели видимого, так как газ сильно разогрет) можно проводить очень близко от дыры и определять, соответствует ли «форма пространства» вокруг нее той, что предсказана теорией.

Астрономов интересуют эти черные дыры, так как потоки частиц и магнитное поле вокруг них порождают одни из самых зрелищных пиротехнических явлений во Вселенной. Но они также ставят под сомнение классическую физику. Вокруг любой черной дыры есть горизонт событий, поверхность, скрывающая от взгляда ее недра, из которых не пробивается даже свет. Размер дыры пропорционален ее массе: если бы Солнце обратилось в черную дыру, его радиус равнялся бы 3 километрам; некоторые из сверхтяжелых дыр в центрах галактик равняются по размеру всей нашей Солнечной системе. Если бы вас угораздило упасть внутрь такой ужасающей дыры, несколько часов, пока не достигнете самого центра, вы провели бы в спокойном созерцательном состоянии; в центре же нарастающие яростные приливные силы разорвали бы вас на куски. Прямо в центре дыры вы, или ваши останки, столкнулись бы с сингулярностью, где физика превосходит пределы нашего понимания. Там нам понадобилась бы новая физика — та, что правила в первые мгновения после Большого взрыва.

Вперед (и назад?) во времени

Добротная научная фантастика должна с уважением относиться к фундаментальным ограничениям законов физики. Здесь стоит упомянуть, что наблюдатель, в принципе, мог бы увидеть далекое будущее за некоторое субъективно довольно короткое время. Согласно теории Эйнштейна, скорость хода часов зависит от вашего местоположения и скорости вашего движения. Если бы ваши субъективные часы шли медленнее космических часов, вы смогли бы переместиться «вперед» в будущее. Это произошло бы, двигаясь вы со скоростью, близкой к скорости света. Далес, сильная гравитация исказила бы время: часы на нейтронной звезде шли бы на 20–30% медленнее. Вблизи черной дыры искажения были бы еще более сильными. Упали вы

в дыру — и ваша судьба предрешена: вас бы разнесли в клочья — на спагетти — еще более неистовые гравитационные силы. Однако более благоразумный астронавт, сумевший попасть на самую близкую орбиту закручивающейся дыры, не упав при этом в нее, получил бы богатые впечатления: там пространство-время искажено настолько, что часы астронавта шли бы сколь угодно медленно и за субъективно короткий отрезок времени перед ним развернулся бы чрезвычайно долгий интервал будущего внешней вселенной.

Эта упругость скорости течения времени может вступить в конфликт с нашей интуицией. Но свою интуицию мы приобрели в будничном окружении (и, наверное, большей частью унаследовали ее от своих далеких предков), которое не дало нам возможности ощутить подобное действие. Некоторые из нас перемещались со скоростью большей, чем одна миллионная световой (скорость реактивного самолета); мы живем на планете, где гравитационное притяжение в 1 000 миллиардов раз слабее, чем на нейтронной звезде. Но растяжение времени не влечет за собой несообразности или парадокса.

Более проблематичным, конечно, было бы путешествие назад в прошлое. Более полувека назад великий логик Курт Гедель обнаружил, что общая теория относительности сама по себе не исключает машины времени. Он нашел достоверное решение уравнений Эйнштейна, описывающее причудливую Вселенную, где некоторые мировые линии являются замкнутыми петлями, — другими словами, вы могли бы вернуться в ваше прошлое. Но решение Геделя не было реалистичным: оно описывало вращающуюся, а не расширяющуюся Вселенную.

Предлагались и другие теоретические модели систем, которые, на первый взгляд, подчинялись законам физики, но допускали замкнутые петли времени. Например, теоретик из Принстона Ричард Готт утверждал, что машину времени можно построить из двух так называемых космических струн — длинных, микроскопически тонких трубок из сверхплотного материала, достаточно тяжелого, чтобы исказить пространство. Готт и его коллега Ли-Ксин Ли также изобрели космологическую модель еще более странную,

чем модель Геделя, в которой вся Вселенная, с конечным жизненным циклом, рисует петлю во времени, так что ее конец есть одновременно ее начало.

Один широко обсуждаемый проект машины времени использует «червоточину»: две черные дыры соединены туннелем или «пространственным коридором». Этот туннель может существовать только в том случае, если он состоит из вещества с очень большим отрицательным давлением (или растяжением). Теоретики считают, что такое необычное вещество существовало в молодой Вселенной; но даже если бы оно сохранилось до сих пор, масса его, необходимая для создания удобного и вместительного для человека туннеля, превысила бы солнечную в 10 000 раз!

Открытие Геделя и его последствия породили споры. Есть ли закон физики, более строгий, чем уравнения Эйнштейна, который исключает подобные явления? Его можно было бы назвать «законом защиты хронологии». Или, возможно ли в принципе существование машины времени? Эта искусственная конструкция до сих пор существует только в воображении научных фантастов, хотя мы можем вопрошать, являются ли преграды созданию машины времени «просто» технологическими, или существует фундаментальный закон физики, запрещающий ее. (Для того чтобы провести разграничение, большинство физиков скажали бы, что большой космический корабль, двигающийся со скоростью 99,99% от скорости света, относится к первой категории, а корабль, двигающийся со скоростью выше световой, — ко второй.)

События во временной петле должны завершаться согласованно, как в фильме, последняя сцена которого повторяет первую. Парадокс возникает, если вы возвращаетесь в прошлое и отменяете что-либо, бывшее непременно условием вашего существования: например, убийство вашей бабушки, еще лежащей в колыбели, влечет за собой, кроме этической, логическую несогласованность. Путешествие во времени имеет смысл, только если есть некий закон природы, препятствующий такой несогласованности. Привлечение сюда обязательного «патруля времени», ограничивающего свободу людей, кажется парадоксальным. Но в том, что наш выбор уже ограничен законами физики, меня

убсждает здоровая ирония Игоря Новикова, ведущего физика, исследовавшего эти предположения: мы, к примеру, не можем проявлять свободу, расхаживая по потолку. Запрет на нарушение согласованности временной петли является, по сути, аналогичным.

Даже существуй машина времени, она не сделала бы возможными путешествия в прошлое, предваряющие дату ее создания. Тот факт, что наш мир не заполнили туристы из будущего, свидетельствует о том, что машина времени еще не создана, а не о том, что это невозможно.

В последующих главах приводятся умозаключения о рождении нашей Вселенной и ее далеком будущем, которые можно сделать, оставаясь на нашей родной уютной планете.

Часть II

Начало и конец

Глава 7

Замедление или ускорение?

Пределы пророчеств

В августе 1999 года из юго-западной части Англии было видно полное солнечное затмение. Я наблюдал его из Корнуолла, сквозь клочья облаков. Для меня это было простое наблюдение за окружающей средой, разделяемое с тысячами последователей культа New Age*, приверженцев астрологии и тому подобных людей. Но зрелище это разбудило во мне некоторые мысли обывательского характера.

Оно напомнило мне, во-первых, что астрономия есть, безусловно, старейшая из количественных наук. Затмения могли предсказывать, хотя бы приблизительно, уже в первом тысячелетии до нашей эры. На протяжении нескольких веков вавилоняне записывали небесные явления на клино-видных табличках, и тысячи таких записей покоятся теперь в Британском музее. Они охватили период времени, довольно долгий для того, чтобы выявить скрытые закономерности — например, цикл повторения затмений каждые восемнадцать лет, — которые можно было экстраполировать дальше для предсказания возможного времени будущих затмений. Такие предсказания можно было сделать и для лунных затмений, которые видны с половины поверхности Земли, в противоположность солнечным, «полнота»

* «Новый век» — одно из философско-религиозных течений, относящихся к движению «Новое мышление» (New Thought Movement), которое характеризуется позитивным отношением к жизни. — *Прим. перев.*

которых видна в некоторой узкой полосе. Для этих предсказаний не требовалось понимания принципа движения Солнца и Луны — достаточно было веры в природный порядок.

Вплоть до семнадцатого века не было никаких существенных достижений. К тому времени такие астрономы, как Эдмунд Галлей, поняли основы устройства Солнечной системы, а восемнадцатилетний цикл объяснили колебанием плоскости орбиты Луны. Галлей прославился тем, что понял, что увиденная им в 1682 году комета была той самой, которую уже наблюдали в 1531 и 1607 годы. Он не дождался следующего предсказанного возвращения кометы в 1758 году, хотя при жизни ему посчастливилось быть свидетелем двух полных солнечных затмений в Англии, которые он сам и предсказал. Его предсказание о «полосе полноты» было точнее сделанных в древности. Но важнее качественный прогресс: Галлей, в отличие от вавилонян, обосновал свои предсказания разнообразностью проницательности, которую правильнее назвать научным объяснением.

Такое объяснение, конечно же, отмечает любые тайны и иррациональный страх. К примеру, через несколько недель после того, как Европа наблюдала затмение в августе 1999 года, в Турции и Греции произошли сильные землетрясения; в ранние века между этими событиями усмотрели бы лишь случайную связь, тогда как мы достаточно хорошо понимаем суть затмений и землетрясений, чтобы осознать, что случайность практически невероятна.

Среди природных явлений затмения выделяются своей высокой предсказуемостью: теперь мы можем спрогнозировать их до ближайшей секунды. Но нельзя с достоверностью предсказать землетрясения. Так же и с погодой: отправляясь в Корнуолл, я не знал, будет ли небо ясным или затянутым облаками. Эта непредсказуемость не говорит о более высокой компетентности астрономов по сравнению с сейсмологами и метеорологами — она показывает решительное различие между предсказанием и пониманием. Точность прогнозов затмений, даже на века вперед, почти так же высока, как и точность исходных данных. Но прогнозы погоды не так точны из-за нестабильности ат-

мосферных потоков: неопределенность возрастает потому, что самое малое колебание может внести значительные изменения в результат, как и в случае, когда вы пытаетесь уравновесить карандаш на острие грифеля.

Но люди по-прежнему жаждут объяснений, не имея элементарного понимания основ происходящего. В простуде обвиняют сквозняки, мокрую одежду или иные вымышленные причины. Так же и переменчивости биржевого курса всегда найдется объяснение в финансовых колонках завтрашних газет: повышение цен приписывается тому, что «пессимизм насчет повышения процентных ставок был преувеличен», или тому, что «компания X продала слишком много акций». Бесспорно, эти объяснения всегда делаются апостериори: комментаторы могли бы предложить столь же быстрое объяснение, если бы курс акций повел себя по-иному.

Однако, большинство явлений мы не сможем предсказать, даже если поймем их. Возьмем погоду. График работы небесной канцелярии — скорее исключение, нежели правило. Ньютону повезло случайно обнаружить одно из немногих природных явлений, которые *являются* предсказуемыми далеко вперед. Точные предсказания ограничиваются областью очень малого (поведение отдельных частиц или химических элементов) и очень крупного (небесные орбиты и т. д.). Самая непонятная сложность проявляется в промежуточном масштабе повседневной жизни — в структурах достаточно крупных, чтобы включать в себя множество слоев, но не настолько крупных, чтобы их раздавила гравитация.

Субатомный мир несложен: его, видимо, можно описать несколькими уравнениями. Крупномасштабные порождения Вселенной так же просты: глобальные их свойства определяются несколькими величинами (скорость расширения, средняя плотность, и т. д.). Там преобладает общая однородность, и правит гравитация.

Долгосрочный космический прогноз?

Если грандиозные астрономические явления действительно в некотором отношении проще каждодневных происшествий, можем ли мы делать космические прогнозы?

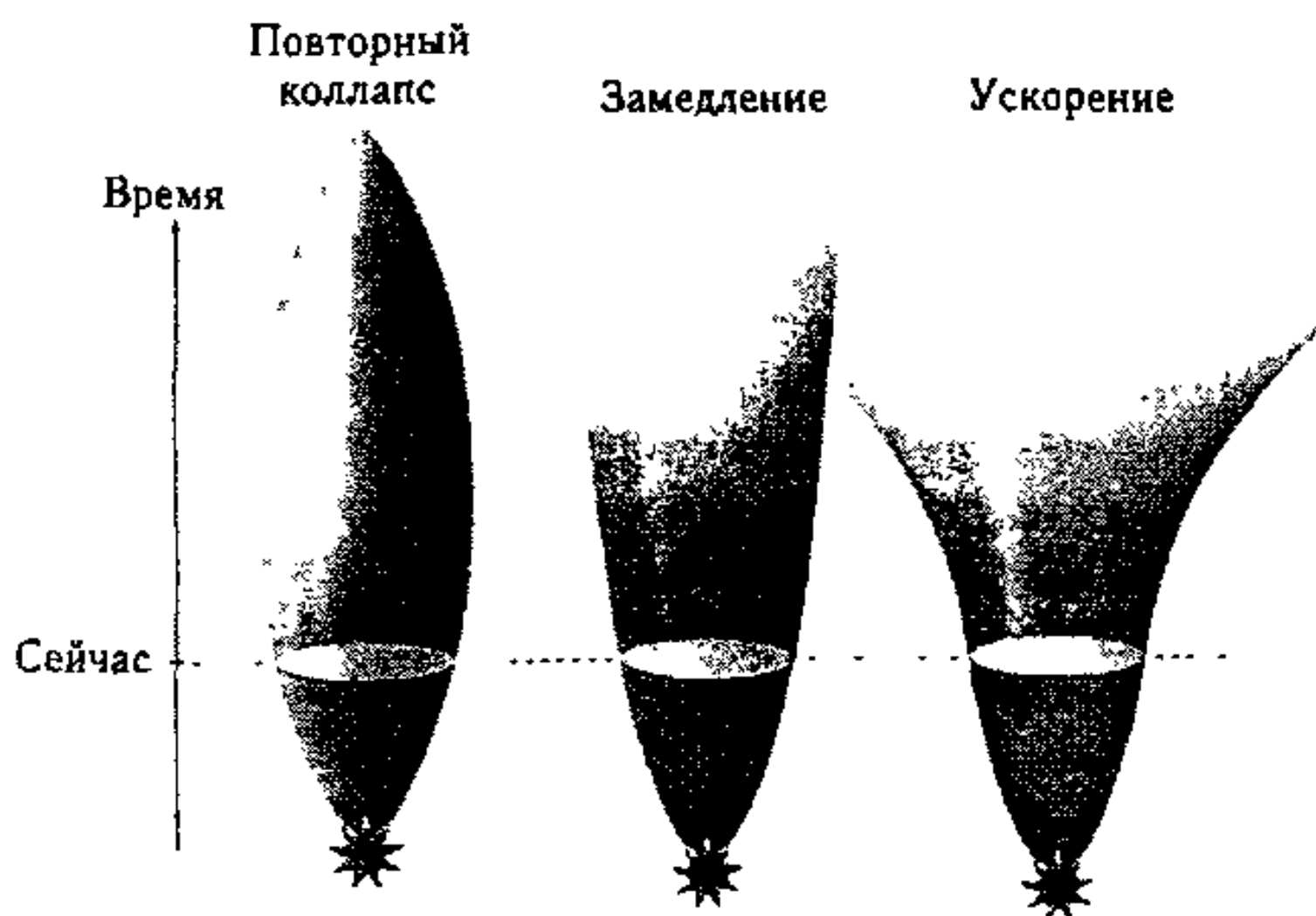


Рис. 7.1. Траектории далекого будущего нашей Вселенной.

Можем ли мы составить долгосрочный прогноз для расширяющейся Вселенной?

Примерно через 5 миллиардов лет умрет Солнце, а с ним и Земля. Приблизительно в это же время, плюс-минус миллиард лет, Туманность Андромеды может врезаться в нашу Галактику. Но будет ли Вселенная расширяться вечно? Или наш небосвод в конце концов переживет повторный коллапс в Большом сжатии? Пространство уже пронзается образованием черных дыр. Не они ли являются предвестниками сжатия, которое поглотит всех нас? (См. рис. 7.1.)

Ответ зависит от степени замедления расширения космоса. Все объекты гравитационно притягиваются друг к другу, и несложно подсчитать, что для остановки процесса расширения — если только не вмещается какая-то иная сила — потребовалась бы масса всего пяти атомов водорода на кубический метр. На первый взгляд — немного. Но если бы все галактики были разобраны на составные части и населяющие их звезды и газ были равномерно распределены в пространстве, то образовался бы еще более пустой вакуум — один атом на объем в 10 кубических метров. В диф-

фузном межгалактическом газе содержится примерно такое же количество материала, но, даже если прибавить его к вышеупомянутой смеси, плотность в результате составит всего 0,2 атома водорода на кубический метр. Это равнозначно нескольким песчинкам в объеме Земли; или одному малому астероиду, несколько сот метров в поперечнике, в ящике, способном вместить всю нашу Солнечную систему. Такая плотность все равно в двадцать пять раз меньше критического значения в пять атомов на кубический метр. Хотя это значение может предполагать вечное расширение на огромную величину, действительная ситуация не так однозначна по причине присутствия загадочной темной материи. В главе 5 уже объяснялось, что галактики и целые их скопления разлетелись бы, не сдерживай их гравитационное притяжение «темного» вещества, в пять-десять раз превышающего то, что мы видим. Мы считаем темную материю неким видом частиц, не имеющих электрического заряда и оставшихся от юной Вселенной; но, чем бы она ни была, она играет важную роль в судьбе Вселенной.

Греческая буква омега (Ω) используется для обозначения частного средней и критической плотности. Если бы Ω превышала 1, гравитация в конце концов могла бы привести к повторному коллапсу. Согласно данным современных приборов, доля обычных атомов в критической плотности составляет всего 4% — иными словами, если бы во Вселенной не было ничего более, Ω равнялась бы 0,04. Примерно половина этих атомов образует звезды и газ в галактиках; остальные представлены, в основном, в виде межгалактического газа. Доля темной материи в пять-десять раз больше, но и с учетом этого плотность составляет примерно 0,3 значения, необходимого для остановки расширения. Этот результат подразумевает, что движение Вселенной не замедляется в достаточной мере для того, чтобы вообще когда-либо остановиться.

Ускорение?

К долгосрочному космическому прогнозу существует и иной подход, который поначалу кажется болсе прямолинейным, а именно: нахождение непосредственной разности между скоростью расширения несколько миллиардов

лет назад и нынешней, и последующая экстраполяция для определения будущей тенденции. Это сравнение, в принципе, возможно, так как по красному смещению отдаленных объектов можно делать заключение о том, как они двигались, когда их свет начал странствие, а не о том, как они двигаются сейчас. Практическая проблема заключается в том, что для применения этой методики необходимы объекты достаточно яркие, чтобы их можно было обнаружить на большом расстоянии, и, что еще важнее, настолько стандартизованные, чтобы по их видимому свечению можно было определить расстояние до них. Галактики для этого не подходят. Компания объектов, их составляющих, достаточно разношерстна, и до конца не ясно, как яркость галактик изменяется с течением времени: звезды, их населяющие, старятся и умирают, потом образуются новые, и т. д.

Наилучшим стандартным светилом сейчас считается сверхновая некоторого типа, которая возникает из взрыва ядра звезды. Эти так называемые сверхновые первого типа являются, в сущности, термоядерными бомбами — взрывающимися звездами со стандартным выходом. Первые результаты изучения отдаленных сверхновых двумя международными командами исследователей, объявленные в 1998 году, вызвали переполох. Не выявилось такого замедления, которое ожидалось бы в простейшей Вселенной, где Ω равняется 1. Само по себе это не удивляло, потому что уже было ясно, что, для того чтобы увеличить значение Ω от 0,3, темной материи недостаточно. Но удивление вызвало то, что расширение оказалось *ускоряющимся*.

Журнал *Science* назвал это научным открытием №1 1998 года среди всех областей исследования, но эта похвала, возможно, была преждевременной. Наблюдения проводились как раз на границах допустимого разрешения телескопов. Нельзя исключать возможные осложнения и ошибки. Например, «взрыв» сверхновой, исходящий из далекого прошлого и рассматриваемый как отдаленный объект со значительным красным смещением, может отличаться от тех, что происходят сейчас, рядом. Или туман от межгалактической пыли мог рассеять часть реального света сверхновых. Доводов пока недостаточно, но каждый месяц

к сделанной выборке прибавляются другие сверхновые, и в течение двух-трех лет различные пробелы должны заполниться. К счастью, над этой проблемой бьются две независимые команды ученых, ведь долгосрочный прогноз для Вселенной — слишком важная задача, чтобы решать ее на основании одного мнения.

Ускорение предполагает дополнительную космическую силу — что-то вроде космического отталкивания, преобладающего над гравитацией. Эта идея не нова: первым ее выдвинул Эйнштейн (1917 год). В то время астрономическая наука располагала данными только о нашей Галактике. Только в двадцатых годах двадцатого же столетия появилось единое мнение, что Туманность Андромеды и подобные ей «спиральные туманности» есть отдельные галактики, сравнимые с нашей. Со стороны Эйнштейна естественным было предположить статичность нашей Вселенной, которая не расширяется и не сжимается. Однако он обнаружил, что Вселенная не может сохраняться в статичном состоянии, если гравитации не противостоит дополнительная сила. В свои уравнения он ввел новую величину, которую назвал «космологической постоянной» и обозначил греческой буквой лямбда (λ). Эта введенная отталкивающая сила — разновидность «антигравитации» — уравновешивала обычную гравитацию и допускала статичность Вселенной, конечной, но безграничной. В статичной Вселенной Эйнштейна любой переданный вами луч света вернулся бы в ваш затылок.

В поздние годы жизни Эйнштейн считал лямбду своим «величайшим заблуждением», так как, не включив ее в уравнения, чтобы оправдать статичность Вселенной, он мог бы предсказать расширение Вселенной до открытия Эдвина Хаббла в 1929 году. Побуждение Эйнштейна к изобретению этой величины за семьдесят лет забылось; однако это не делает несостоятельной саму концепцию. Напротив, сейчас лямбда кажется менее надуманной, чем считал Эйнштейн. Лямбду можно рассматривать как количество энергии, неким образом содержащейся даже в пустом пространстве (известной как «энергия вакуума»). В соответствии с современными теориями пустое пространство может быть чем угодно, но только не чем-то простым. Оно

содержит всевозможные частицы в скрытой форме, и в еще меньшем масштабе оно может быть спутанным клубком напряженных струн. С высоты сегодняшних знаний загадкой видится не присутствие лямбды, а ее такое малое значение.

Если в пустом пространстве есть энергия (эквивалентная, согласно учению Эйнштейна, массе в его знаменитом уравнении $E = mc^2$), почему ее действие на расширение космоса обратное действию атомов, излучения и темной материи, которые стремятся замедлить расширение? Ответ зависит от далеко не интуитивной особенности теории Эйнштейна: гравитация, согласно уравнениям общей теории относительности, зависит не только от энергии (и массы), но также и от давления. Характерной особенностью вакуума является отрицательное давление при положительной энергии — иными словами, он обладает свойством «растяжения», как натянутая резинка. Следовательно, результирующее воздействие энергии вакуума направлено на ускорение расширения космоса. Вакуум обладает огромным отрицательным давлением и поэтому, в соответствии с уравнениями Эйнштейна, он скорее отталкивает, чем притягивает¹.

Если лямбда представляет энергию, скрытую в пространстве, структура которой, как мы понимаем, на субатомном уровне довольно запутанна, лучшим теоретическим предположением является то, что она (энергия) должна вызывать космическое отталкивание в 10^{120} раз большее, нежели заявленное. Существует популярная теория «инфляции» (о ней рассказано в главе 9), которая постулирует, что в очень раннем периоде истории космоса действительно существовало такое сильное отталкивание. Если это действительно так, каким образом оно могло отключиться (или как-то нейтрализоваться) с такой удивительной точностью?

Многие физики полагали, что некий процесс, еще не изученный, свел результирующую энергию вакуума *ровно* к нулю, как и другие свойства нашей Вселенной — к примеру, ее суммарный электрический заряд. Однако недавние исследования показали, что энергия не равняется нулю, но очень близка к нему. Почему? Совершенно ясно, что должно существовать какое-то впечатляющее сокращение,

но зачем нужна такая точность, что после запятой стоит 119 нулей, а не 120 или более?

Несколько иная теория предполагает, что отталкивание на самом деле не обусловлено пустым вакуумом, а подразумевает существование некой всепроникающей жидкости с отрицательным давлением, которая проявляет гравитационное отталкивание и при расширении разжижается и разлагается, так что к нынешнему моменту ее содержание, безусловно, очень мало. Эту загадочную субстанцию — разновидность темной энергии — окрестили «квинтэссенцией»².

Доказательства «плоскостности»: единые мерилa нашей Вселенной

Совершенно независимые от свидетельства сверхновых об ускорении Вселенной данные подтверждают аргументы в пользу лямбды или квинтэссенции. Эти данные исходят от точных измерений «послесвечения» Большого взрыва. Это излучение в небе неравномерно: есть небольшие перепады температуры, вызванные рябью, из которой развиваются галактики и их скопления. Теория утверждает, что есть совершенно определенная длина волны, на которой флуктуации — звуковые колебания Вселенной — были бы максимальными. Величина этих доминирующих волн на небе — составят ли они в поперечнике один или всего полградуса — зависит от геометрии Вселенной, которая, в свою очередь, зависит от содержащихся во Вселенной массы и энергии.

Практически на любой конференции космологов один или несколько выступающих обязательно начертят график, похожий на тот, что приведен на рис. 7.2. Он описывает амплитуду различных мод колебаний ранней Вселенной: малые углы справа и большие (нижние гармоники) слева. Карты фоновой температуры, составленные на высокогорных сухих участках, в Антарктиде или в продолжительных полетах на воздушном шаре, зафиксировали угловую величину этих доминирующих волн с точностью более 10%. В результате вырисовывается «плоская» Вселенная: отношение между расстоянием и углами такое же, как в евклидовом пространстве.

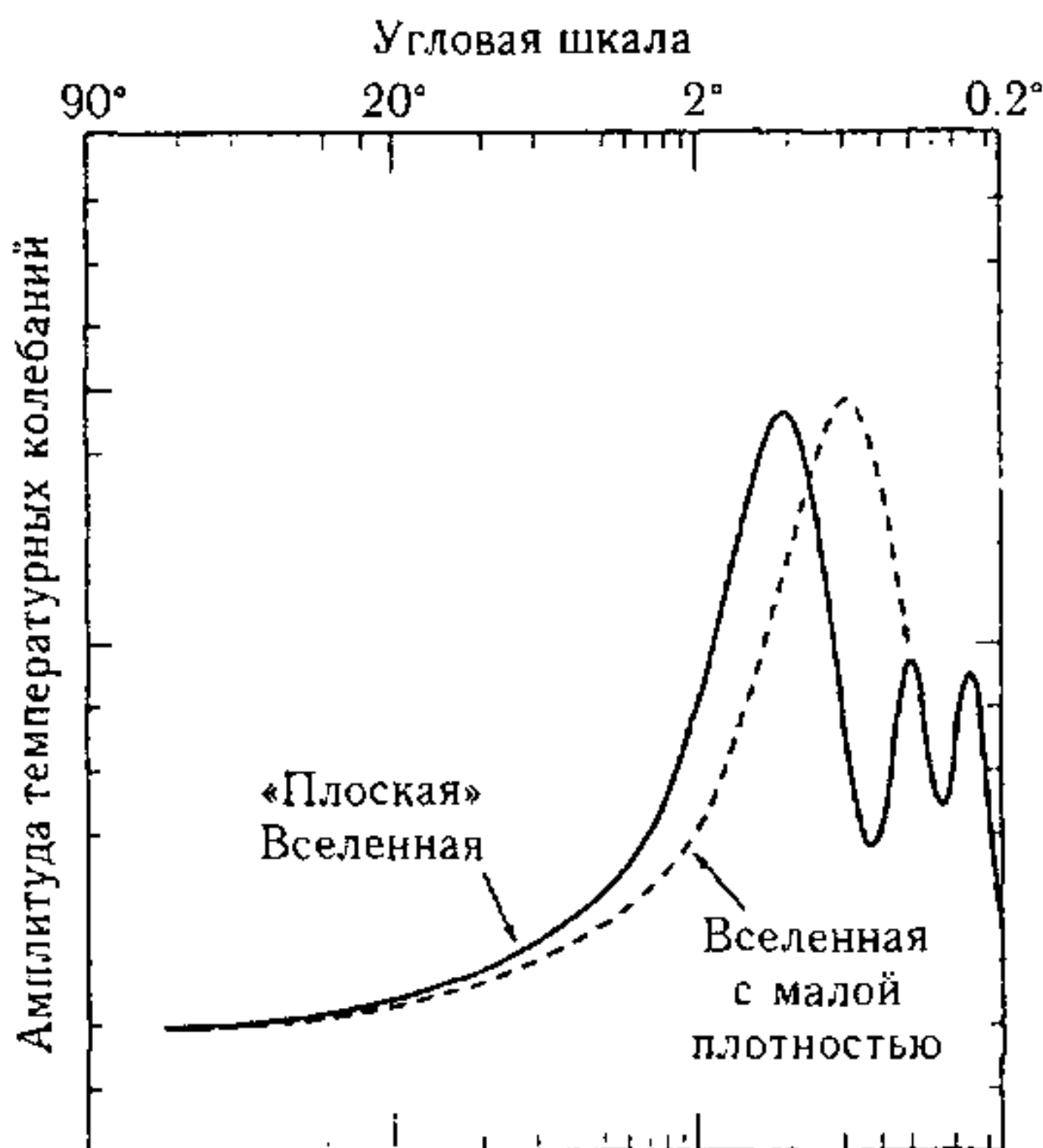


Рис. 7.2. Предсказанные флуктуации фоновой температуры в плоской Вселенной. В открытой Вселенной с малой плотностью пик пришелся бы на меньший угол.

Это именно то, что получилось бы, если бы темная материя обеспечивала всю критическую плотность — иначе говоря, если бы Ω равнялась 1. С другой стороны, значение Ω в 0,3 предполагало бы (если бы во Вселенной не было никакой другой энергии) угол, меньший в 2 раза, что определенно противоречит результатам наблюдений. Тем не менее, если энергия вакуума (лямбда) или квинтэссенция вносит недостающие 0,7, мы получаем совпадение с данными. Даже эти экзотические формы энергии в силах изменить геометрию Вселенной и сделать ее плоской. Однако из-за того, что они приносят и отрицательное давление (несмотря на положительную энергию), они приводят в действие антигравитацию, или космическое отталкивание, чем и объясняется свидетельство сверхновых в пользу ускорения расширения.

Между 1998 и 2000 годами несколько независимых методов измерения ключевых величин, описывающих нашу Вселенную, привели к замечательно согласующимся результатам. Вселенная кажется плоской, что соответствует ожиданиям теоретиков. Но ее содержимое видится случайной смесью странных ингредиентов. Обычные атомы (барионы) в звездах, туманностях и диффузном межгалактическом газе обеспечивают лишь 4% массы-энергии, темная материя — примерно 30%, и темная энергия дает остальное (то есть примерно 66%). Расширение ускоряется, потому что темная энергия (с отрицательным давлением) является доминирующей составляющей. Из всех атомов Вселенной примерно половина находится в галактиках, а оставшиеся разбросаны в межгалактическом пространстве. Самые заметные объекты космоса, звезды и мерцающий в галактиках газ, составляют менее 2% общего запаса массы-энергии Вселенной — необычайный результат по сравнению с предположениями, которые в начале двадцатого века показали бы совершенно естественными³.

В еще более ранние века бытовало классическое мнение о том, что все в «подлунном мире» состоит из четырех элементов — земли, воздуха, огня и воды, — но небеса образованы некоей совершенно другой «пятой эссенцией». Эта концепция была похоронена в девятнадцатом веке, когда исследование спектра звездного излучения показало, как уже рассказывалось в главе 3, что звезды состоят из того же вещества, что и Земля. Но современная космология возрождает похожую антитезу. Она заключается в том, что загадочная «антигравитационная субстанция» — энергия вакуума или квинтэссенция — обеспечивает основную долю массы-энергии в нашей Вселенной, хотя не имеет никакого значения в звездах или галактиках. Это могло бы быть признаком силы куда более свирепой, которая, согласно теории «инфляции», запустила стремительное расширение в ранней Вселенной; хотя мы до сих пор не знаем ответа на вопрос, почему сила, некогда такая яростная, теперь так слаба. Природа ее бросает вызов теоретикам: от нее тянутся нити к разгадке юной Вселенной и природы пространства.

Глава 8

Перспективное будущее

Безрадостное будущее

Через пять миллиардов лет, когда Солнце умрет, галактики разлетятся на еще бóльшие расстояния и внутренне станут несколько более тусклыми, так как состарятся звезды, их населяющие, а для формирования новых ярких звезд уцелеет меньшее количество газа. Но что может случиться после этого? Мы не можем предугадать, чего в итоге добьется для себя жизнь: она может угаснуть или достичь такого величия, что сможет влиять на весь космос. Последняя гипотеза — из области научной фантастики, но ее нельзя отвергать как абсурдную. В конце концов, в течение чуть более миллиарда лет естественному отбору из первых многоклеточных организмов удалось развить нынешнюю биосферу Земли, включая и нас. До момента смерти Солнца осталось в пять раз больше времени: для биосферы Земли (и любых других существующих) этого достаточно, чтобы измениться до неузнаваемости, даже если будущие виды зародятся во время естественного биологического отбора. Будущие изменения, даже направляемые искусственно, — в культурном или историческом масштабе времени — происходили бы еще быстрее.

Мы можем, несмотря на такие непредвиденные обстоятельства, сделать приблизительные долгосрочные прогнозы относительно основных характеристик нашей Вселенной. Судьбой ей, видимо, предназначено расширяться, и даже — если имеющиеся у нас свидетельства подтвердят-

ся — ускорять свое расширение. В итоге умрут даже медленно сгорающие звезды, и все галактики нашей Местной группы — наш Млечный Путь, Туманность Андромеды и множество более малых галактик — сольются в одну систему. Большая часть первичного газа к тому времени будет зажата в мертвых звездных обломках; одни станут черными дырами, другие могут превратиться в нейтронные звезды или белых карликов.

О еще более поздних событиях трудно судить из сегодняшнего дня, так как они слишком редки: например, столкновения звезд могут занять более значимое положение. Звезды так редко рассеяны в пространстве, что столкновения их чрезвычайно нечасты (к счастью для нашего Солнца), но количество их будет расти. Конечные фазы жизни галактик могут быть ознаменованы случайными интенсивными вспышками, каждая из которых будет означать удар двух мертвых звезд друг о друга. Другой очень медленный процесс — гравитационное излучение, слабые волны в пространстве, испускаемые любым тяжелым объектом,двигающимся и меняющим свою форму. Эти волны уносят энергию. Их влияние пока незаметно, за исключением нескольких двойных звезд, орбиты которых особенно близки и устойчивы; но по истечении достаточного времени они могут раздробить орбиты всех звезд и планет.

Со временем разрушатся и черные дыры. Поверхность черной дыры слегка размыта вследствие квантовых эффектов, и, следовательно, она излучает. Это действие имело бы значение для сегодняшней Вселенной, случись ей содержать дыры малого диаметра, размером с атом: такие черные дыры разрушались бы, испуская излучение и частицы; чем меньше они становились бы, тем более мощным и насыщенным энергией становилось бы излучение; и дыры в конце концов взорвались бы. Непохоже, однако, что подобные маленькие дыры существуют. Они могли образоваться только в ранней сверхплотной Вселенной, да и это необязательно, разве только окружение было намного более бурным, чем предполагает теория. Для формирования их в нынешних условиях астероиду поперечником в километр (или равному по массе объекту) пришлось бы сжаться до размера ядра атома.

Испарение черных дыр, будучи квантовым процессом, куда менее губительно для больших дыр: время разрушения дыры зависит от куба ее массы. Время жизни дыры, масса которой равняется массе звезды, составляет 10^{66} лет. Даже черные дыры массой, равной миллиарду солнечных, вроде тех, что прячутся в центрах галактик, исчезнут немногим раньше, чем через 10^{100} лет.

Асимптотическое будущее жизни

Космологи опубликовали безмерное количество теоретических рассуждений о самом раннем периоде существования Вселенной. В противоположность этому, космическая футурология была отдана на откуп научным фантастам. Я могу сказать, что сам сделал один из первых научных вкладов в этой области в далеком 1968 году, написав короткую статью, озаглавленную «The Collapse of the Universe: An Eschatological Study»*. Многие космологи в то время склонялись к тому, что мы живем в ограниченной Вселенной, которая завершится Большим сжатием, а я высчитал, что может произойти после остановки расширения космоса и начала повторного коллапса Вселенной. Во время обратного отсчета к сжатию галактики объединились бы и отдельные звезды разогнались бы почти до скорости света (подобно тому, как атомы ускоряются в сжатом газе). В конечном счете эти звезды разрушились бы, так как температура облучения их поверхности (излучения других звезд, смещенного к фиолетовому краю спектра) будет выше температуры их внутреннего тепла.

Спустя десять лет Фримен Дайсон заставил ученых с уважением отнестись к этой точке зрения: в строгом и престижном академическом журнале *Reviews of Modern Physics* он опубликовал увлекательную и подробную статью под названием «Time without End: Physics and Biology in an Open Universe»***. Тогда свидетельства в отношении

* «Коллапс Вселенной эсхатологическое** изучение». - - Прим перев

** Эсхатология – религиозное учение о конечных судьбах мира и человека – Прим перев

*** «Бесконечное время физика и биология в безграничной Вселенной» - Прим перев

постоянно расширяющейся Вселенной были менее очевидны, чем сейчас. Но у Дайсона уже были свои предрассудки: он не одобрял версию Большого сжатия, так как оно «внушало ему чувство клаустрофобии». Он рассуждал о возможностях для жизни разумной. Даже после смерти звезд, вопрошал он, может ли жизнь выжить и сохраниться навечно без гибели разума? Запасы энергии не безграничны, и, на первый взгляд, именно они являются основным ограничителем. Однако он показал, что это ограничение, в сущности, не фатально. По мере расширения и охлаждения Вселенной для хранения и передачи информации можно будет использовать низкоэнергетические кванты (или, что равнозначно, излучение с увеличивающейся длиной волны). Как бесконечный ряд может иметь конечную сумму (скажем, $1 + 1/2 + 1/4 + \dots = 2$), так нет пределов количеству информации, которую можно обработать с конечными затратами энергии. Любой мыслимой форме жизни пришлось бы замрзнуть, думать медленнее и бездействовать более долгое время. Зато у нее будет время обдумать каждую мысль. Как однажды заметил Вуди Аллен, «вечность очень длинна, особенно ближе к концу».

Дайсон считал, что окончание игры растянется на такое количество лет, что для записи этого числа потребуется столько нулей, сколько атомов содержится во всех видимых галактиках. К концу этого периода любые звезды обратятся в черные дыры, которые затем испарятся за время почти мгновенное по сравнению с вышеописанным.

Через двадцать лет после появления статьи Дайсона перспектива нашего будущего изменилась в двух отношениях, причем оба кажутся зловещими. Во-первых, теперь большинство физиков полагает, что атомы не вечны. По этой причине белые карлики и нейтронные звезды разрушатся, возможно, через 10^{35} лет; теплота, образующаяся при атомном распаде внутри мертвых звезд, заставляет их сиять, но не ярче портативного обогревателя. К тому времени наша Местная группа галактик превратится просто в скопище темной материи и нескольких электронов и позитронов. Мысли и воспоминания уцелеют через 10^{35} лет, только если будут записаны в сложные схемы и магнитные поля в облаках электронов и позитронов, — возможно, это

будет нечто похожее на угрожающий инопланетный разум из книги *The Black Cloud*^{*}, первого и самого образного из научно-фантастических романов Фреда Хойла, написанного в 1950-х годах.

Дайсон был оптимистичен относительно вероятности безграничности Вселенной, так как казалось, что нет предела размеру искусственных объектов, которые можно создать. Он предвидел расширение границ видимой Вселенной; кроме того, многие галактики, свет которых до нас еще не дошел, в конечном счете, появятся в поле видимости и, следовательно, в диапазоне возможного общения и «общей сети». Гравитация стремится замедлить расхождение дальних галактик, хотя они продолжают разлетаться, так что разрушающее влияние расширения теряет свою значимость. Как уже упоминалось в главе 7, космологи полагают, что расширение не замедляется: некая отталкивающая сила, или антигравитация, расталкивает галактики с увеличивающейся скоростью. Значит, далекое будущее ограничено еще больше. Галактики исчезнут из вида еще скорее: излучение их будет все более и более сдвигаться к красному краю спектра — часы их, по нашим меркам, замедлят ход и застынут в определенный миг, и даже если они в действительности никогда не исчезнут, мы увидим только конечную протяженность их будущего. Ситуация схожа с тем, что случилось бы со звездными путешественниками, попавшими в черную дыру: из выгодного безопасного положения за пределами дыры мы увидели бы, как наши падающие сородичи застыли в каком-то моменте времени, даже если они видят за горизонтом событий будущее, невидимое нам.

Наша Галактика, Туманность Андромеды и несколько дюжин малых галактик-спутников, гравитационно связанных с одной или другой из них, сольются в единую бесформенную систему стареющих звезд и темной материи. В ускоряющейся Вселенной все остальное исчезает за нашим горизонтом; если ускорение обусловлено неизменным значением λ , этот горизонт никогда не уйдет намного дальше теперешнего положения. Так что есть чет-

^{*} «Черное облако». ... Прим. перев.

кий предел — правда, колоссальный — размеру, который может приобрести любая система или искусственный объект. Он перетекает в определенный предел сложности этого объекта. Существующая «зернистость» пространства устанавливает предел возможной сложности структуры Вселенной определенного размера¹. Чтобы не было скучно, в такой Вселенной лучше всего создать машину времени и, по меньшей мере субъективно, исчерпать все возможности, повторяя прохождение по замкнутой временной петле.

Эти долгосрочные проекции связаны с увлекательной физикой, большую часть которой мы хорошо понимаем. Но читателям, которых волнует то, что произойдет через много-много лет, следует помнить о некоторых неопределенностях. Во-первых, мы не можем быть до конца уверенными в схожести областей Вселенной, которые мы наблюдаем, с теми, что скрываются за современным горизонтом. Даже в океане прямо за горизонтом может происходить нечто неординарное. Так и здесь: замедляющаяся Вселенная, хотя, наверное, недостаточно замедляющаяся, чтобы остановиться, может в итоге раздробиться под действием более плотного материала, который мы пока не видим. Если даже этого не случится, тенденция к общей гладкости в больших масштабах может и не продолжаться бесконечно. В масштабе намного большем, чем исследованная нами до настоящего времени часть Вселенной, возможен новый диапазон структур, содержащих новые источники энергии.

Во-вторых, нам неизвестна конечная судьба квинтэссенции — таинственной энергии пространства, вызывающей ускорение расширения космоса. Эта остаточная энергия может преобразоваться в какие-то новые виды частиц. Если эта конверсия пройдет гладко, она не создаст конечного мрака. Однако остаточная энергия может разложиться на пузырьки, которые начнут сталкиваться друг с другом, повышая концентрацию энергии; при этом возможно даже восстановление атомов. Такая воскресшая Вселенная будет рваной, с островками возобновляемой активности, разделенными обширными пустотами. Цитируя Пауля Штейнгардта, будут ли создания будущего «понимать, что они произошли из изотропной Вселенной, которая окружает нас сегодня? Будут ли они знать, что Вселенная когда-то

была живой и затем погибла, только чтобы получить еще один шанс?»²

Более обескураживающая перспектива состоит в том, что пустое пространство беззащитно перед катастрофическим видоизменением. Очень чистая вода может выдерживать «сверхзамораживание» ниже своей точки замерзания, но она внезапно застывает, едва в нее попадет мельчайшая пылинка. Аналогичным образом, наш существующий «вакуум» может находиться просто в метастабильном состоянии и затем преобразоваться в качественно иную Вселенную, управляемую совсем другими законами, возможно, с большой отрицательной лямбдой, заставляющей все взрываться, вместо того чтобы мирно ускорять расширение. Это космическая версия того, что происходит с мировым океаном в новелле Курта Воннегута «Лед-девять»: некоторое событие запускает формирование аномального вида льда, твердого при обычных температурах, который затем катализирует процесс преобразования всей гидросферы Земли в это новое фатальное состояние.

Время от времени у нас возникает тревога, что такое преобразование может быть вызвано искусственно при столкновениях высокоэнергетических частиц во время опытов на ускорителях. Успокаивает, однако, тот факт, что уже миллиарды лет естественным образом, не разрывая материи пространства, происходят намного более энергетические столкновения — включая и частицы космических лучей.

Другой путь к Армагеддону* может заключаться в преобразовании обычных атомных ядер в гипотетические частицы под названием «стрейнджлеты»**, содержащие третий вид кварков, в дополнение к тем двум, что образуют обычные протоны и нейтроны. Если стрейнджлеты могут существовать в виде стабильных объектов и обладают отрицательным электрическим зарядом (что очень сомнительно), они могут притягивать другие ядра и, заражая их, преобразовать их окружение и, в конце концов, всю Землю в так называемую странную материю. Такая возможность

* В Библии — конец света, Страшный суд. — *Прим. перев.*

** От англ. strange — странный. — *Прим. перев.*

столь сильно повлияла на ответственных за Брукхейвенский ускоритель, что они провели экспертизу того, могут ли опыты, в которых разбиваются друг о друга очень тяжелые ядра, вызвать такую катастрофу³.

Экспертиза успокоила их. Однако я уверен, что мы не сможем спать спокойно, пока не узнаем о произошедших в природе подобных по существу событиях, не повлекших катастрофических последствий. Приемлемый уровень риска такого эксперимента составляет менее одного шанса на триллион. Теоретические аргументы без доказательств не могут дать спокойствия на таком уровне: только безрассудный самоуверенный теоретик поставил бы на обоснованность своих утверждений при шансах триллион к одному.

Похоже, наших потомков ждет вечное будущее (если только они не попадут в объятия черной дыры). Тем не менее, стоит заметить, что альтернативная судьба — погибнуть при Большом сжатии — могла бы обогатить наш опыт. Мы наблюдали явления, происходящие еще более медленно в вечно расширяющейся Вселенной; значит, общее количество дискретных событий или «мыслей» можно ограничить, даже в бесконечном будущем. Джон Барроу и Фрэнк Типлер подчеркивали, что в коллапсирующей Вселенной возможно обратное: за конечное время может произойти бесконечное количество «событий». Космологи привыкли к суждению, что в первые мгновения после Большого взрыва могло произойти много чего: по мере экстраполяции назад к бóльшим плотностям время должно измеряться рядом все более малых, более прочных и быстрее идущих часов. К конечной сумме можно добавить бесконечный ряд чисел. Кроме того, в последние мгновения перед сжатием мы могли бы увидеть не только всю свою жизнь, промелькнувшую перед глазами, но познали бы бесконечное количество новых событий.

Хватит о далеком будущем. Давайте теперь вернемся к истокам.

Глава 9

Как все началось: первая миллисекунда

Отслеживая цепь случайностей: доверие или осторожность?

Астрономия и космология имеют большое значение и положительный имидж, в противовес двоякому отношению общества, скажем, к генетике или ядерной физике. Суть новых открытий и концепций этих наук о космосе можно передать широкой аудитории, не пользуясь специальной терминологией. Меня, однако, тревожит изображение этих наук средствами массовой информации: слишком часто все заявления преувеличиваются только для того, чтобы отречься от них позже, причем эти признания обычно приглушаются. В таком положении вещей виноваты сами ученые (или же их сотрудники по связям с прессой), но не журналисты: возможно, последние скоро будут с таким же скептицизмом, с которым они говорят о политиках, относиться и к некоторым исследователям. Преувеличенные заявления о космологии попросту не так опасны, как, например, обманчивые доклады о медицинских исследованиях, дающие людям ложные надежды на чудесное исцеление. Однако очковтирательство вряд ли входит в интересы космологов. Если слишком часто объявлять о научных революциях, низвергающих все прежние идеи, легко потерять даже то доверие, которого эта наука заслуживает. Так,

космологам не следует размывать границу между доказанным и предполагаемым. Иначе неизбежно возникновение двух проблем. С одной стороны, чудные идеи могут найти незаслуженное признание; с другой, здравые скептики, понимающие, что некоторые сферы науки действительно основаны на умозаключениях, могут недооценить другие, подтвержденные в научных баталиях, гипотезы.

Теперь мы можем представить грандиозный сценарий развития всей Солнечной системы вплоть до Большого взрыва — эры, когда все было раскаленное центром звезд и расширялось в масштабе нескольких секунд. Доказательства так же убедительны, как и утверждения геологов и палеонтологов об истории Земли — и даже более количественны. В главе 5 я обрисовал, как расширяющийся огненный шар, слегка пульсирующий, мог прийти, через 10 миллиардов или больше лет, к состоянию, похожему на наш сегодняшний космос. Имитировать эти события можно с помощью компьютерного моделирования.

Звездные галактики, сгруппированные в скопления, возникают в основном под действием гравитации — силы, которая, как осознал Ньютон, удерживает планеты на своих орбитах. Можно продолжить параллель с ньютоновым учением. Он знал, почему планеты описывают эллипс, но первоначальное «устройство» Солнечной системы было для него загадкой: почему орбиты планет приближены к одной плоскости, эклиптике, тогда как кометы движутся в различных направлениях? Во втором издании книги *«Оптика»* (1717) он писал: «Слепая судьба никогда не заставила бы все планеты двигаться по одному и тому же пути в концентрических орбитах. . . Столь прекрасная однородность в системе планет» должна, по его разумению, быть результатом работы провидения. Эта компланарность орбит теперь все же понятна: это естественный результат происхождения Солнечной системы из вращающегося протозвездного диска. Мы действительно можем отследить развитие еще дальше — до первой секунды Большого взрыва.

Концептуально мы, как и Ньютон в свое время, сталкиваемся с преградой. Его занимал вопрос, почему планеты вращаются в определенной плоскости. Нас волнует, поче-

му Вселенная в возрасте нескольких секунд была настроена на расширение с определенной скоростью и определенным набором компонентов.

В другом отношении — на стыке космологии и религии — со времен Ньютона, кажется, не случилось качественных изменений. Его открытия вызвали к жизни ряд религиозных (и антирелигиозных) ответных реакций. Так и современные космологи выказывают различное отношение к религии: среди них есть как придерживающиеся традиционных взглядов, так и бескомпромиссные атеисты. Я лично считаю — неинтересное мнение для желающего обеспечить конструктивный диалог (или даже деструктивный спор) между наукой и религией, — что если мы и вынесем что-то из занятий наукой, то это будет тот факт, что вещи даже такие «элементарные», как атомы, труднодоступны для понимания. Из этого и должен исходить скептицизм по отношению к любым догмам или любым притязаниям на то, что кто-то достиг большего, чем весьма неполное и метафорическое понимание любого глобального аспекта нашего существования. Интересно, однако, что Е. О. Уилсон в своей книге *Consilience** назвал деизм (если не теизм в целом) «проблемой астрофизики».

Назад в первую миллисекунду

Состав, описывающий нашу Вселенную в возрасте одной секунды, несложно выразить несколькими словами:

1. Соотношение обычных атомов, темной материи и излучения.
2. Скорость расширения космоса.
3. Степень гладкости расширения — в основном значение только одной величины, Q , определяющей фактуру и масштаб структур.
4. Основные свойства атомов и их ядер.

Этот рецепт должен быть результатом произошедшего ранее, в первые малейшие доли секунды. Я подчеркнул, что мы можем проследить развитие всего вплоть до нескольких первых секунд космического расширения. Фоновое

* «Стечение обстоятельств». — Прим. перев.

излучение, а также гелий с дейтерием — точно измеренные ископаемые той эры. Если заглянуть в еще более раннее время, мы увидим, что условия становятся более экстремальными и незнакомыми. В первые 10^{-5} секунд материя была плотнее ядра атома; протоны и нейтроны, в сущности, распались на составляющие их кварки. Экспериментаторы лаборатории CERN в Женеве и Брукхейвенской национальной лаборатории в США воссоздали те условия в малом масштабе, сталкивая ядра свинца и золота, ускоренные практически до скорости света¹. Еще более ранние энергии и плотности настолько огромны, что нам почти не на что опереться в экспериментах.

В данном контексте удобно представить время в логарифмическом масштабе. Каждая степень десяти — дополнительный ноль после запятой на космических часах — должна иметь равное значение. Предположения об ультраранней эре — до сих пор лишь предположения; их стоит предварять надписями о вреде для здоровья, вроде тех, что красуются на сигаретных пачках; но, тем не менее, границу удалось значительно отодвинуть.

Абсолютный предел любой разумной обратной экстраполяции устанавливает квантовая теория. Ключевым моментом этой теории является принцип неопределенности Гейзенберга, утверждающий, что, чем точнее вы стараетесь расположить или локализовать что-либо, тем более энергетические кванты — сгустки энергии — вам понадобятся. Существует предел, в котором энергия настолько сконцентрирована, что рискует взорваться в черную дыру. Этим пределом является *длина Планка*: всего 10^{-33} см — примерно в 10^{19} раз меньше величины протона (см. диаграмму в приложении). Эта крошечная длина, поделенная на значение скорости света, дает минимально измеримый интервал времени — *время Планка*, равнос примерно 10^{-44} сек.

В первую триллионную долю секунды каждая частица обладала энергией, превышающей ту, которая может быть достигнута на самых мощных ускорителях. Но триллионная доля секунды больше времени Планка более чем в 10^{30} раз; следовательно, есть множество десятилетий логарифмического времени, микрофизика которых неопределенна из-за огромных значений плотности и энергии; но

условия при этом не настолько экстремальны, чтобы нам пришлось беспокоиться о квантовой гравитации и (возможно) дискретной структуре пространства и времени.

Предполагается, что некоторые созидательные процессы в нашей Вселенной произошли, когда она была примерно в сто миллионов раз старше времени Планка, то есть ей было не больше 10^{-36} секунд от роду. В частности, это могло случиться, когда закладывалась существующая ныне смесь атомов и излучения. Ранес упоминалось, что Вселенная изобилует квантами излучения — фотонами, — несущими остаточное тепло от Большого взрыва. Атомов, угрожающих нашему существованию, а равно и существованию всех планет, звезд и галактик, во Вселенной содержится в 2 миллиарда раз меньше, чем этих фотонов. Но вот удивительная вещь, теоретическая головоломка: почему все-таки, кроме излучения, есть еще и атомы?

Если бы вы создавали Вселенную в простейшей форме, вы бы, наверное, смешали равные части материи и антиматерии: антипротонов столько же, сколько и протонов; антикварков столько же, сколько и кварков. Но в такой Вселенной все вещество и антивещество аннигилировали бы в излучение.

Что же позволило выжить некоторому количеству материи, но не антиматерии? Ответ заключается в сочетании новаторских идей великого русского физика и бывшего диссидента Андрея Сахарова с экспериментальными подтверждениями того, что материя и антиматерия не являются полным зеркальным отражением друг друга. В самую раннюю эру космического расширения эта асимметрия позволила материи несколько возобладать над антиматерией. Хотя преимущество составляет примерно одну миллиардную, это малое значение стало решающим: самым нашим существованием мы обязаны разнице в эту самую одну миллиардную. На каждый миллиард аннигилирующих пар, в итоге вырабатывающих фотоны, образующие микроволновой фон, остается лишний одиночный кварк.

Здесь мы наблюдаем важный контраст с электрическими зарядами. Заряд нашей Вселенной равняется нулю, причем любая положительно заряженная частица точно уравновешивается отрицательно заряженной. Но барион-

ное число — количество протонов минус количество антипротонов — не сохраняется постоянным. Вот почему избыток мог быть заложен в ранней Вселенной. Однако по счетам нужно платить. Так как количество протонов изменяется, они могут распадаться самопроизвольно, даже если нет античастицы, с которой они могли бы аннигилировать. Трудности, с которыми придется столкнуться нашим потомкам через 10^{35} лет, когда составляющие их атомы постепенно разрушатся, — это расплата или негативная сторона счастливой случайности, поставившей материю в более выгодное положение по сравнению с антиматерией. До того, как галактики и населяющие их звезды успели сформироваться, этот счастливый случай воспрепятствовал превращению всего в гамма-излучение.

Большинство людей считает, что в обозримой Вселенной материя преобладает над антиматерией, но где же надежные доказательства этого? Антиматерия может выжить, только если она надежно изолирована от обычной материи. Иначе она аннигилирует, и вся масса-энергия (эйнштейнова mc^2) преобразуется в излучение, в основном, в гамма-лучи. Наша Галактика, конечно же, не могла зародиться как смесь равных частей материи и антиматерии: если бы так случилось, к нынешнему моменту не осталось бы ничего, так как все содержимое кружилось и смешивалось в бушевавших процессах, сопровождающих рождение звезд и их гибель во взрыве. Даже в целых скоплениях галактик этой смеси достаточно для того, чтобы можно было предполагать более мощное, чем наблюдается, гамма-излучение. В масштабе самых крупных сверхскоплений мы не можем быть столь категоричны. По всей Вселенной могут быть разбросаны чередующиеся области материи и антиматерии, при условии, что это происходит в масштабе более ста миллионов световых лет.

Почему именно расширение?

У нас есть объяснение того, почему в нашей расширяющейся Вселенной содержится смесь излучения и материи. Но есть и более принципиальный вопрос — как она началась и почему расширяется именно так, как расширяется?

Те, кто считает, что Большой взрыв был инициирован неким другим взрывом, серьезно заблуждаются. Бомбы на Земле, как и сверхновые в космосе, взрываются из-за того, что внезапный скачок внутреннего давления вызывает выброс в область низкого давления. Но в ранней Вселенной давление повсюду было одинаковым – пустой внешней области не было. Дополнительная гравитация, обусловленная давлением и тепловой энергией, в сущности, способствует замедлению расширения. Необходимо иное объяснение того, что взорвалось и почему оно взорвалось. Кроме того, скорость расширения также имеет некоторые особенности (см. рис. 9.1).

Предположим, вы создаете расширяющуюся Вселенную. Траектория ее движения будет зависеть от данного импульса. Если импульс слишком сильный, энергия расширения в самом начале станет в такой степени доминировать, что галактики и звезды не смогут сформироваться и скучиваться посредством гравитации. С другой стороны, если бы первоначальный импульс будет недостаточным, преждевременное Большое сжатие погасит едва начавшуюся эволюцию. В самую первую секунду (помните, что у нас есть твердые основания для столь далеской экстраполяции) ее кинетическая и гравитационная энергии, должно быть, различались не более чем на одну часть из миллиона миллиардов (одну из 10^{15})*.

Когда ученые впервые столкнулись с этой проблемой, они нашли два ответа. В одном предполагалось, что Вселенная когда-нибудь подвергнется повторному коллапсу, но при этом не стоит удивляться, что она растянулась до таких огромных размеров. Если бы этого не произошло, до коллапса и сжатия мы не успели бы развиться, и некому было бы дивиться на происходящее. (Подобные аргументы снова появятся в главе 11.) Второе объяснение, доминирующее в течение последних двадцати лет, предполагает поиск при-

* Если заданная начальная точка лежит еще раньше, то предполагаемая точность будет даже выше; другие авторы приводят гораздо большие числа, соответствующие впечатляющей настройке. В качестве отправной точки я указал одну секунду, потому что у нас есть надежные свидетельства (в виде гелия и дейтерия) физических условий и скорости расширения для этого момента, тогда как для более раннего времени мы располагаем более косвенными свидетельствами.

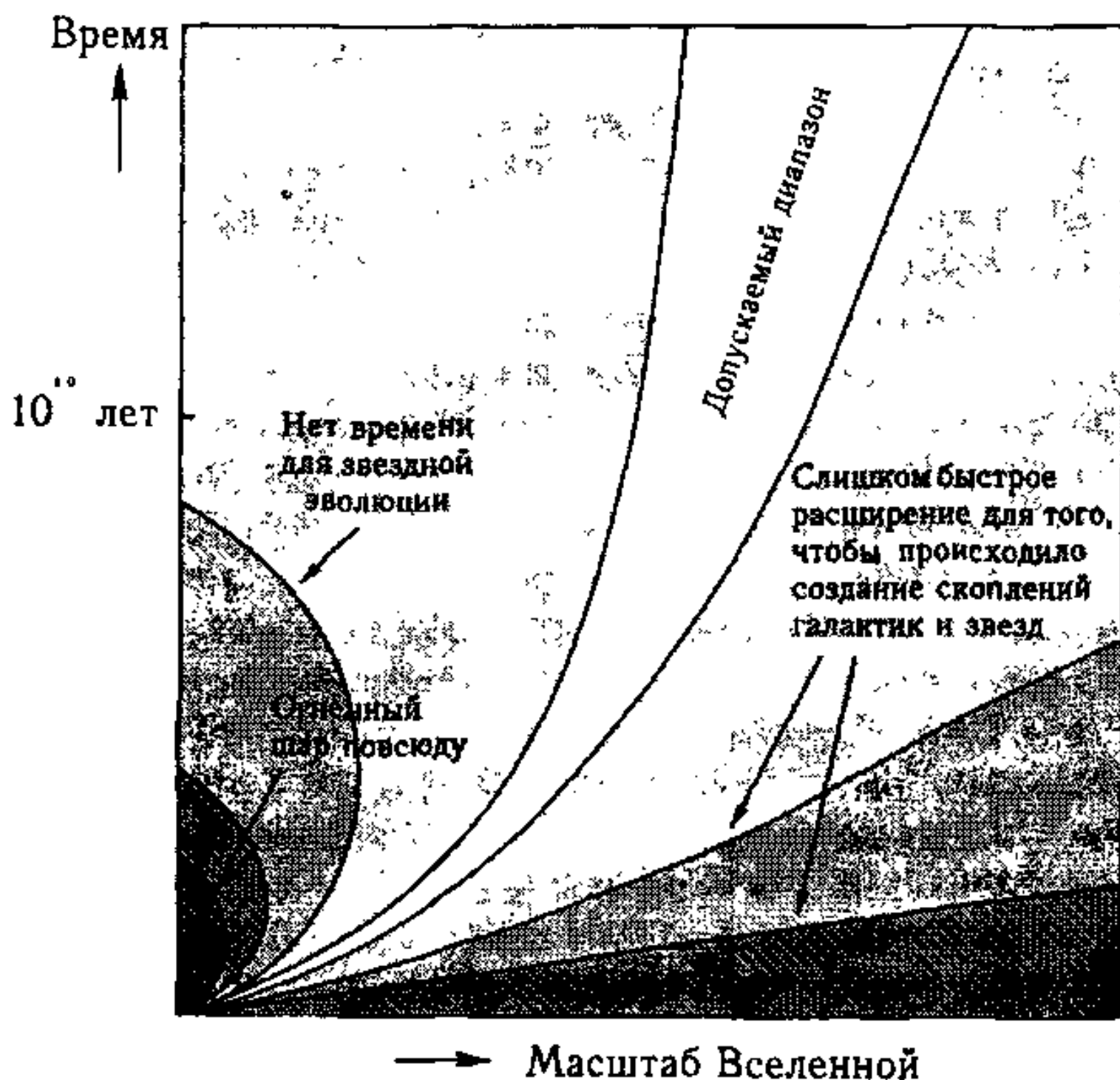


Рис. 9.1. Траектории необитаемых расширяющихся Вселенных. Если расширение замедлено, повторный коллапс произойдет раньше сложной эволюции. Если оно происходит слишком быстро, гравитация не сможет удерживать структуры вместе и не будут формироваться ни звезды, ни галактики.

чины тесного равновесия между энергией расширения и гравитацией.

Почему же наша Вселенная столь велика? Почему она вообще расширяется? Пока в самых правдоподобных из ответов упоминается так называемая фаза инфляции. Согласно этой концепции, в самые первые мгновения, когда все объекты, наблюдаемые сейчас астрономами, были буквально микроскопическими, во Вселенной преобладало вещество, состоявшее не из простых частиц или излучения, но из концентрированной темной энергии, скрытой в первичном пространстве. Доказана способность этой темной

энергии вызывать отрицательную гравитацию — она скорее толкает, нежели тянет. Как очень большая лямбда, «темная энергия» подавила обычную гравитацию, производя чрезвычайно мощную антигравитацию, или космическое отталкивание. Расширение было экспоненциальным; масштаб возрастал в геометрической прогрессии со знаменателем два. Затем яростное отталкивание прекратилось; некоторая часть темной энергии преобразовалась в обычную энергию, высвобождая тепло первозданного огненного шара и запуская более знакомый процесс расширения, в результате которого и появилась наша сегодняшняя обитель.

В течение примерно 10^{-36} секунд — триллионной триллионной доли секунды — микроскопический кусок смог раздуться до таких размеров, чтобы вместить в себя все ныне существующее и установить отлаженное равновесие между гравитационной и кинетической энергией.

Процесс остановки экспоненциального расширения (после того, как оно однажды началось) может занять продолжительное время. Теоретики называют это проблемой «прекрасного выхода». Наша Вселенная завершит свое развитие в растянутом плоском состоянии, наподобие того, как любая часть измятой поверхности разглаживается, если ее достаточно растянуть. На двухмерной поверхности действие кривизны проявляется в геометрии: например, на изогнутой поверхности Земли сумма трех углов треугольника составляет более 180 градусов. Так же и геометрия трехмерного пространства зависит от его кривизны; однако теории инфляции предсказывают, что наша Вселенная обладает особым свойством «плоскостности». В плоской Вселенной есть определенная связь между угловым размером удаленных объектов и их расстоянием до нас, причем измерения фонового излучения подтверждают это предсказание².

Механизм, запустивший инфляцию, по сути своей схож с тем, что вызывает в нашем мире ускорение, разве только отталкивающая сила — а также энергия и напряжение в космосе — были выше в 10^{120} раз.

Инфляция, однажды начавшись, будет продолжаться, ведя к расплющенной области, расширяющейся намного

дальше, чем 10 миллиардов световых лет, составляющих размер нашей обозримой Вселенной. Расстояние до «края» такой Вселенной может быть выражено числом с миллионами нулей. Разница в 10^{60} между длиной Планка и масштабом нашего горизонта будет просто ничем по сравнению с пропастью, простирающейся до действительных границ нашей Вселенной. На этом просторе, далеко за пределами нашего наблюдения, комбинаторные вероятности настолько безмерны, что можно с уверенностью говорить о существовании точных копий Земли и ее биосферы, как бы ни была маловероятна жизнь сама по себе. Действительно, где-нибудь в колоссальном космосе должны быть точные копии не только Земли, но и всей области (содержащей миллиарды галактик, в каждой из которых находятся миллиарды звезд), лежащей в поле видимости наших телескопов.

Более того, даже кроме этой изумительной шири пространства может быть что-то еще. Согласно некоторым теориям, наш Большой взрыв был не единственным. Пространство раздувается так быстро, что открывает достаточно «места» для запуска бесконечной последовательности независимых Больших взрывов. Это направление размышлений поразительно обогащает наше представление о реальности — от Вселенной до мультиверса. В главе 11 я буду рассуждать о том, что при таком сценарии некоторые свойства нашей собственной космической родины могут выглядеть менее удивительными.

Большинство теоретиков считают инфляцию прекрасной идеей, которой они будут упиваться до тех пор, пока не появится нечто лучшее. Несомненно, есть некоторые намеки на то, что что-нибудь вполне может появиться, что дополнительные пространственные измерения, кроме привычных трех, могут породить иную парадигму. Однако, некоторых ученых теория инфляции никогда не прельщала. Роджер Пенроуз, к примеру, считает, что инфляция — это «мода, которая от физиков, занимающихся высокими энергиями, дошла до космологов»; он отмечает, что «даже африканские муравьеды считают свое потомство прекрасным». Он уверен, что для понимания нашего Большого взрыва необходим новый концептуальный научный прорыв, кото-

рый перевернет наши представления о квантовой теории и гравитации; он также — здесь он стоит на зыбкой почве — допускает, что этот переворот разрешит и загадку сознания.

Все согласны с тем, что понадобятся новые идеи — или какой-то более надежный способ выбора между различными представленными идеями — до того, как мы сможем с какой-никакой уверенностью описать сверхюную Вселенную. Некоторые свойства нынешней Вселенной могут быть чувствительны к деталям этих концепций; в этом случае выбрать из конкурирующих идей помогут наблюдения. Например, теория инфляции объясняет происхождение ряби, проявляющейся в виде неравномерности фоновой температуры и являющейся зачатком галактик и их скоплений. Это квантовые колебания, произведенные в масштабе действительно микроскопическом и раздувшиеся настолько, что теперь тянутся вдоль неба, образуя удивительное связующее звено между космосом и микромиром. Этой ряби могут быть родственны гравитационные волны — колебания самой материи пространства, оплетающие Вселенную со скоростью света. Эти волны несколько встряхивают все вокруг. Это крошечный эффект, и обнаружить его можно, лишь решив задачу технического характера, которая сложна даже для крупных космических экспериментов, разработанных для поиска гравитационных волн. Однако эти волны могут проявляться косвенно: они вызывают слабую поляризацию микроволнового фонового излучения, и если бы эту поляризацию можно было измерить, мы бы точно определили, что случилось во время инфляции.

Можно строить различные догадки о физике, рассчитывать, какое объяснение заложено в каждой из догадок для микроволновых фоновых колебаний, способа скопления галактик, гравитационных волн и т. д., и тем самым хотя бы уменьшить количество вариантов. Астрономы обычно пользуются лабораторной физикой (кроме тех случаев, когда речь идет о гравитации). Возможно, теперь они смогут оказать ответную любезность, изучив тонкости «предельных условий», проверить которую в лаборатории не представляется возможным.

Космологические исследования десять лет спустя

Я бы сделал существенную ставку на то, что к 2010 году мы будем иметь твердую уверенность в том, что такое преобладающая темная материя, какое значение имеет Ω и какими свойствами обладает темная энергия в вакууме. Если это случится, это будет означать великую победу для космологии: мы найдем меру нашей Вселенной, как в течение нескольких последних веков мы определили размеры и форму Земли и Солнца. И, выполнив некоторые условия, упоминающиеся в следующей главе, мы узнаем долгосрочный космический прогноз.

Проблемы, которые появятся после 2010 года, будут двух видов. Это обусловлено дуальностью космологии: она является фундаментальной наукой, но в то же время и одной из величайших наук об окружающей среде. Канадский теоретик Вернер Израэль уподобил эту дихотомию контрасту между шахматами и борьбой в грязи. Общество космологов, видимо, являет собой такую несовместимую смесь крайнего изящества и крайней же грубости (естественно, только в интеллектуальном смысле).

Спустя десять лет или около того, те из нас, которые счастливы барахтаться в грязи — и интеллектуально более расположенные к этому, нежели к шахматам, — придут в восторг от наиболее подробных наблюдений, как в наземные, так и в космические телескопы. Масштабные компьютерные модели углубят наше понимание того, как формируются галактики, звезды и планеты.

Скорость передачи данных будет столь колоссальной, что автоматизируется весь процесс анализа и открытий. Астрономы сосредоточат внимание на трудно поддающихся обработке статистических данных о популяциях планет, звезд и галактик, а также на лучших доказательствах каждого явления — например, большинстве планет, подобных Земле, и патологических объектах, которые могут заключать в себе волнующие разгадки предельной физики. Впечатляющие достижения компьютерных технологий позволят провести виртуальные эксперименты, связанные со столкновениями звезд, черными дырами и другими явле-

ниями. Сообщество астрономов станет более крупным и охватит больше стран, чем сегодня. Технология сделает более демократичным обращение к информации, доступной в прошлом лишь элитному (или как-то иначе обособленному) меньшинству. Подробные карты неба увидит каждый, кто получит к ним доступ в Интернете или скачает их отсюда. Будут существовать виртуальные обсерватории. Энтузиасты всего мира смогут принять участие в исследовании нашей космической родины, проверке собственных предчувствий, поиске новых образцов и открытиях необычных объектов. Будут не только кабинетные теоретики, но и кабинетные наблюдатели.

Но, я думаю, «шахматисты» все же будут искать более глубокое объяснение самого начала. Не истощится поиск единых теорий космоса и микромира (хотя он может изнурить ищущих). В последующих двух главах я размышляю о масштабе и пределах подобного понимания.

Часть III

Основы и гипотезы

Глава 10

Космос и микромир

Из ничего?

Вся видимая астрономам область, простирающаяся на 10 миллиардов световых лет, возникла из бесконечно малой крупинки. Эту ошеломительную идею легче проглотить, если принять, что, в сущности, суммарная энергия Вселенной равняется нулю. Согласно знаменитому уравнению Эйнштейна, энергия любого объекта равняется mc^2 . Но любой объект обладает также отрицательной энергией, обусловленной гравитацией. Здесь, на Земле, мы ощущаем недостаток энергии по сравнению с астронавтом в космосе. Но нехватка, обусловленная суммой всех масс во Вселенной, могла бы равняться *минус* mc^2 . Иными словами, для себя Вселенная создает настолько глубокую гравитационную ловушку, что все в ней обладает отрицательной гравитационной энергией, точно компенсирующей ее энергию массы покоя. Так что затраты энергии на инфляцию нашей Вселенной могут действительно равняться нулю.

Космологи иногда утверждают, что Вселенная может возникнуть «из ничего». Однако это неоправданно вольные заявления. Даже уменьшенная до состояния точки или кванта, наша Вселенная насыщена скрытыми частицами и силами: ее структура и содержимое весьма далеки от того, что философ называет «ничем».

В главе 9 я упоминал, что современные космологи, подобно Ньютону, до сих пор сталкиваются с одним препятствием, расследуя цепь случайностей в обратном направлении: на некоторой стадии единственным ответом стано-

вится тот, что «вещи таковы, каковы есть, потому что были такими, какими были». Мы еще очень далеки от обладания однозначной и самосогласованной картиной нашей Вселенной. В некотором смысле, космологи находятся, *наверно, в более затруднительном положении*, чем Ньютон. Его законы *автономны* — вращающиеся по орбитам планеты подчиняются им, — но планеты не реагируют на законы и не изменяют их. С другой стороны, нельзя рассчитывать на это разделение в масштабе целой Вселенной: космос в состоянии не только следовать местным законам, но и определять их.

Физик и философ девятнадцатого века Эрнст Мах предполагал, что объекты получают инерцию от некоего вида взаимодействий с остальной Вселенной. Эта идея, удостоенная названия «принцип Маха», является центральной для природы вращения и спина. Сам Ньютон указывал на то, что, если вы крутите ведро с водой, форма поверхности воды не зависит от того, вращается ли она относительно стенок ведра: вращение измеряется по отношению к более глобальной системе координат, так называемой инерциальной системе отсчета. Мах полагал, что эта инерциальная система координат в действительности определяется средним движением всего во Вселенной.

С первого взгляда это может показаться бессмысленным отличием, но это не так. Оказывается, инерциальная система координат, определенная, к примеру, устойчивыми колебаниями маятника Фуко, в состоянии покоя относится к отдаленной вселенной. Но некоторые сочли, что это может быть и не так. И правда, уравнения Эйнштейна обязательно допускают вращающиеся вселенные. (Решение, найденное Геделем, и представляло собой одну из таких вселенных, допускающих путешествие во времени, хотя есть и другие, менее причудливые.) Просто ли случайность, что наша Вселенная выглядит одинаково во всех направлениях и не имеет особой оси? Или здесь действует более глубокий и ограничительный принцип, управляющий вращающимися вселенными?*

* Это вопрос того же типа, что и встретившийся нам в главе 6 вопрос о машинах времени: есть ли закон, исключаящий замкнутые линии времени?

Переменные постоянные?

Наша Вселенная, быть может, и не вращается, но точно расширяется — и изменяется по мере расширения. Некоторые ученые утверждали, что действительно удивительной была бы неизменность физических законов в изменяющейся Вселенной. В 1937 году выдающийся физик Поль Дирак выдвинул особый аргумент такого типа. Он утверждал, что значение гравитационной постоянной Ньютона, G , возможно, уменьшается по мере старения Вселенной. Изменение равняется одной десятиллиардной в год.

Интересен мотив Дирака¹. Он отмечал, что и гравитационная, и электрическая силы подчиняются закону обратных квадратов. Следовательно, соотношение гравитации и электрической силы между, скажем, электроном и протоном является основной и чрезвычайно большой величиной: примерно 10^{39} . Дирак удивился, обнаружив, что размер обозримой Вселенной (радиус Хаббла) превышает размер протона тоже примерно в 10^{39} раз. Затем он вычислил, что количество атомов в обозримой Вселенной (это еще более грубое приближение) составляет примерно 10^{78} , квадрат 10^{39} . Не желая рассматривать подобия как совпадения, он предположил, что между этими большими числами должна быть какая-то связь. Он предположил, что постоянная Ньютона, G , может изменяться со старением Вселенной так, чтобы два этих значения увеличивались одновременно*.

Влияние столь значительное, как представлял Дирак, теперь можно исключить, даже на основании свидетельств, имеющихся в нашей Солнечной системе. Если бы Дирак оказался прав, все орбиты планет постепенно расходились бы по спирали наружу с вычисляемой скоростью по мере ослабления притяжения Солнца. Следовательно, Земля, едва сформировавшись, находилась бы ближе к Солнцу, чем сейчас. Помимо того, Солнце было бы более ярким: под действием более мощной гравитации его внешние слои да-

* В главе 3 приведено значение 10^{36} , а не 10^{39} , так как тогда я учитывал гравитационное притяжение между двумя протонами, а не между электроном и протоном. Радиус Хаббла по сути своей является произведением времени, которое прошло с момента Большого взрыва, и световой скорости

вили бы сильнее на раскаленное ядро, повышая мощность на выходе ядерного очага. Два этих свойства — более близкая к Солнцу Земля и более раскаленное Солнце — заставили бы вскипеть океаны в то время, когда Земля была молода, что противоречит сведениям геологии.

Сейчас нам известно, что G не уменьшается даже на сотую часть предложенной Дираком скорости. Лучшими подтверждениями тому являются результаты тщательных наблюдений за космическими спутниками и двойными звездами, содержащими две нейтронные звезды, за орбитами которых можно очень точно следить.

Из всех сил, действующих в космосе, только гравитация наиболее явно связана с крупномасштабной Вселенной. Но могло ли космическое расширение каким-то образом вызвать изменения на атомном уровне — изменений электрических и ядерных сил, действующих в атомах, массы и заряда каждого электрона и т. п.? Как рассказывалось в главе 2, еще 150 лет назад астрономы поняли, что звезды состоят из того же вещества, что и Земля. Мы знаем, что живем не в абсолютно беспорядочном космосе, где и атомы, и управляющие ими законы прихотливо различаются на разных звездах. Но свет очень далеких галактик был испущен, когда наша Вселенная была намного моложе и более сжата. Была ли тогда микрофизика иной, такой, которая обнаружится после детального изучения этого древнего свечения?

В «штрих-кодах» спектров света самых отдаленных галактик заключено сообщение о том, что все атомы повсюду очень схожи: далекие атомы отличаются от изучаемых в лабораториях не более чем на одну миллионную. Ни заряды, ни массы электронов не изменились на большую величину за миллиарды лет, прошедших с момента выхода света из этих галактик.

Другое серьезное ограничение исходит из удивительного места: шахты Окло в Габоне, Западная Африка. На этом участке запасы урановой руды и воды образовались примерно два миллиарда лет назад и «достигли критической отметки». Геологические месторождения содержат продукты радиоактивного распада, происходившего в далеком прошлом. Редко встречающийся элемент самарий

представляет особый интерес, так как скорость его распада существенно изменилась бы, даже если заряд электрона всего на одну миллионную отличался бы от существующего значения. Тщательный анализ залежей в Окло, которым 2 миллиарда лет, ограничивает любые изменения в атомной физике так же строго, как и астрономические наблюдения².

Далекие галактики находятся на таком расстоянии, что их свет начал странствие, когда возраст нашей Вселенной составлял примерно одну десятую от нынешнего. Но, быть может, более стремительные и глубокие изменения происходили еще раньше? Здесь лучшим свидетельством является продукт ядерных реакций, происходивших место в первые минуты после Большого взрыва (см. главу 5). Отклонения как гравитационного притяжения, так и свойств электронов на более чем несколько процентов изменили бы выход гелия и дейтерия, уменьшив их относительное содержание по сравнению с наблюдаемым.

Эти ограничения и так достаточно жесткие, но астрономам следует постоянно уточнять их, так как некоторые современные теории предсказывают очень медленные изменения. То, что появилось под названием «теорий Великого объединения», предполагает, что при критических температурах, создавшихся через 10^{-36} секунд после Большого взрыва, когда, видимо, произошла инфляция, электрические и ядерные силы были одинаково мощными; эти силы дифференцировались по мере охлаждения расширяющейся Вселенной. Но ожидаемые настройки случились бы, в таком случае, так рано, что «константы» оставались бы неизменными в течение всего времени, которое теперь можно исследовать. Другие, более радикальные идеи вовлекают дополнительные измерения, которые могли повлечь за собой более поздние и значительные изменения сил и других основных характеристик микромира. Следовательно, существует сильный стимул повышения чувствительности этих изысканий; возможно, астрономы могут таким образом создать определяющий тест для проверки новых радикальных теорий в микрофизике.

Наши домыслы о пространстве и времени разрушаются, когда мы пытаемся применить их в мельчайшем масштабе и самой ранней Вселенной. Нельзя описать так на-

зываемый масштаб Планка, не шагнув за пределы даже теории Великого объединения к теории, включающей гравитацию и согласовывающей ее с квантовым принципом. Это дело еще не закончено, но, чтобы его завершить, нам, похоже, придется отказаться от диктуемых здравым смыслом концепций непрерывного времени и трехмерного пространства.

Другие измерения?

Вселенные могут жить недолго, подчиняться основным силам различной мощности и даже скрывать в себе разнообразный «зоопарк» фундаментальных частиц. Но может ли количество их пространственных измерений отличаться от наших трех? Такие пространства обычны для математики, но охватить их физику гораздо сложнее. В двухмерном мире невозможно создать сложные электрические цепи так, чтобы проволоки, их составляющие, не пересекались друг с другом, хотя это и не исключает замысловатых моделей волн, которые могут пронизывать друг друга. Даже в одном измерении может существовать запутанная сложность. В своем классическом научно-фантастическом романе *«Создатель звезд»* Олаф Степлдон описывает, среди многочисленных воображаемых космосов, «музыкальную Вселенную, где создания представляются друг другу сложными гаммами и ритмами тонального характера. Тело создания было более или менее постоянной тональной гаммой, [которая] могла перескочить другие живые тела той же высоты, подобно тому, как цуги волн в пруду проходят одна сквозь другую».

Музыкальная Вселенная Степлдона, помимо времени, обладает, по сути, одним пространственным измерением. Наше реальное пространство-время имеет, конечно же, три пространственных измерения. Время, четвертое, отличается от них тем, что имеет стрелу: кажется, что мы тащимся в нем в одном направлении (вперед). У трехмерного пространства есть особые черты. К примеру, если объект вращается произвольно, то для определения вращения необходимы три величины — по количеству измерений: две, чтобы обозначить направление оси вращения, и еще одна для определения угла, под которым он вращается вокруг этой оси. (В двух измерениях обороты определяются всего од-

ним числом, а в четырехмерном пространстве необходимы шесть величин.)

Так происходит потому, что есть три пространственных измерения, с которыми электрические и гравитационные силы связаны законом обратных квадратов. Эту зависимость проще всего оценить с помощью концепции силовых линий Фарадея. Оболочка радиуса r , окружающая массу или заряд, имеет площадь, прямо пропорциональную r^2 ; сила уменьшается пропорционально $1/r^2$, так как при больших радиусах силовые линии распространяются на большие площади и их действие ослабляется. Если бы существовало четвертое пространственное измерение, площадь сферы была бы пропорциональна r^3 , а не r^2 , и сила подчинялась бы закону обратных кубов. Закон обратных квадратов имеет характерную особенность: он допускает устойчивые орбиты, в том смысле, что орбита планеты лишь незначительно изменяется под действием слабого «толчка» (например, такого, который вызывает отдача после столкновения с астероидом). Все было бы совершенно другим, если бы гравитация подчинялась закону обратных кубов: планета, слегка замедлившая ход, врезалась бы в Солнце; если же ее слегка ускорить, она бы по спирали устремилась в холодную межзвездную темноту. Этот вывод теперь можно отнести к особым биофиличным последствиям трех измерений пространства.

Именно теолог восемнадцатого века Уильям Пейли (он знаменит своими попытками доказать, что для создания Вселенной необходимо участие Творца, так же, как для создания часов необходим часовщик) первым отметил особую стабильность закона обратных квадратов. (Пейли получил математическое образование в Кембридже в эпоху, когда ньютонова механика была основной частью учебной программы.) Это осознание стало опорой для всех его аргументов в пользу Божественного провидения, но он не связывал закон обратных квадратов с количеством пространственных измерений. Пиши Пейли столетием позже, подобные аргументы он бы применил и к атомам: электроны не могли бы существовать в устойчивых «связанных состояниях», если бы электрические силы подчинялись закону обратных кубов.

На данный момент ни один из фактов о Вселенной, в которой пространство имеет дополнительные измерения, не кажется абсурдным: согласно теории суперструн, в сверхюной Вселенной измерений было десять или одиннадцать. Лишние измерения, возможно, просто не расширились наравне с остальными, а свернулись и «компактифицировались». Если лишние измерения свернулись в масштабе Планка, то они не оказали бы прямого влияния ни на один эксперимент. Но есть вероятность того, что масштаб свертывания, пусть и микроскопический, все же не так мал, как длина Планка. В этом случае дополнительные измерения могли бы иметь следствия, исследовать которые под силу специалистам по физике частиц. Предположим, к примеру, что в масштабе менее 10^{-15} см в игру вступили два дополнительных измерения. Тогда принцип силовых линий Фарадея говорит, что сила, действующая в пределах этого радиуса, подчиняется закону обратных величин четвертой степени, а не обычному закону обратных квадратов. В трехмерном пространстве гравитация становится столь яростной, что квантовые эффекты имеют значение лишь в масштабе длины Планка, 10^{-33} см. Но если бы гравитация была более тесно связана с радиусом, подчиняясь закону обратных величин четвертой степени, а не закону обратных квадратов, то квантовые эффекты возникали бы до достижения радиуса в 10^{-33} см. Полезная длина Планка не оставалась бы долее такой крошечной, и для создания малой черной дыры потребовалось бы не такая критическая величина сжатия, как в обычном трехмерном пространстве. Некоторые физики считают, что малые черные дыры можно было бы создавать даже на технически реализуемых ускорителях.

Общеизвестно, что последние тридцать лет жизни Эйнштейн потратил на поиск объединенной теории физических законов. Он занимался этим в одиночку; но другие ученые, из которых стоит отметить английского астрофизика Артура Эддингтона, также по отдельности сражались с этой проблемой. (Эддингтон, уже прославившись классическим и надежным трудом по теории относительности и звездной структуре, в поздние годы жизни страстно увлекся нумерологической «фундаментальной теорией», в соот-

ветствии с которой наша Вселенная замкнута и конечна. Он даже предложил формулу расчета точного количества атомов во Вселенной.)^{*}

Эти попытки были преждевременны по многим причинам. Например, исследователи учитывали гравитацию и электромагнитные силы, не принимая в расчет другие силы: сильное ядерное взаимодействие и так называемое слабое взаимодействие, важное для нейтрино и радиоактивности. Были и другие ложные озарения. Но теперь у нас есть сильная уверенность в том, что теория суперструн, или то, что сейчас называют М-теорией, открывает путь к фундаментальным уравнениям. (Некоторые специалисты уподобляют сегодняшнюю ситуацию состоянию квантовой теории до 1925 года, когда все понимали необходимость новой парадигмы, но в умах возникали только ее проблески.) Теории Великого объединения теперь привлекают молодых ученых, а не только признанных светил, которые могут позволить себе рискнуть, перепрыгнув через себя и ничего не достигнув.

Существует огромная пропасть между лабиринтом десяти или одиннадцати измерений и тем, что можно наблюдать или измерить. Не ясно, что же определяет геометрию «обычного» пространства: почему в нашей Вселенной развернулись только три пространственных измерения? Теоретики до сих пор не могут ответить, все ли дополнительные измерения свернуты в микроскопических масштабах, или же возможно существование других вселенных, отделенных от нашей в некомпактифицированном дополнительном измерении, подобно тому, как в нашем трехмерном пространстве может существовать множество двухмерных плоскостей, не соприкасающихся друг с другом. (Вопрос о том, может ли во Вселенной быть более одного *временного* измерения, менее прямолинейен. Для описания происходящего в нем нужен более богатый язык, содержащий большее количество временных форм.)

^{*} В своей книге «Фундаментальная теория» Эддингтон писал: «Я уверен, что во Вселенной содержится 15 747 724 136 275 002 577 605 653 961 181 555 468 044 717 914 527 116 709 366 231 425 076 185 631 031 296 протонов и такое же количество электронов». (Это число, в общем-то, равняется $2^{256} \times 136$.) Ни один из живущих ученых не верит этому, и едва ли кто-то пытался вникнуть в умозаключения Эддингтона.

В общем, необходимую физикам математику можно «снять с полки». Неевклидова геометрия, использованная Эйнштейном для описания искривленных пространств, разработана Риманом и прочими; пионеры квантовой теории также обнаружили математические выкладки девятнадцатого века, удовлетворяющие их целям. Но теоретикам, работающим со струнами, нужна математика двадцать первого столетия.

Теория суперструн пока не в состоянии объяснить различные типы субатомных частиц — кварки, глюоны и т. п. — и все еще не предсказала ничего нового, ни в экспериментальном, ни в космологическом смысле, что следовало бы из дополнительных измерений. Но многие готовы ставить на нее, отчасти потому, что она почти «предсказывает» необходимость существования силы, подобной гравитации, и отчасти из эстетических соображений. Подобная позиция имеет свои прецеденты. Эйнштейнова теория гравитации — общая теория относительности — нашла широкое признание именно в силу своей эстетической притягательности, хотя ее эмпирические подтверждения были зыбкими и неточными. Она превзошла теорию Ньютона, предложив более глубокое понимание. Эйнштейн, в отличие от Ньютона, естественным образом объяснял, почему все падает с одинаковой скоростью и почему гравитация подчиняется закону обратных квадратов. Общая теория относительности датируется 1916 годом; она объяснила доселе неясную аномалию в орбите Меркурия. Это объяснение получило знаменитое подтверждение при измерении отклонения света звезды во время затмения в 1919 году, но сам Эйнштейн был уверен в своем детище вследствие его изящности: когда его спросили, как бы он отреагировал, если бы затмение не подтвердило его теорию, он ответил, что ему было бы «жаль Господа Бога».

Что мы не узнаем из фундаментальной теории

Объединенная теория, если бы ее все-таки разработали, воистину могла бы стать величайшим триумфом разума

всех времен, кульминацией всех интеллектуальных поисков, начавшихся задолго до Ньютона и продолжавшихся при Максвелле, Эйнштейне и их преемниках. Она бы пролила свет на основное вещество, образующее все, что нас окружает, и послужила бы примером того, что великий физик Юджин Вигнер называл «непостижимой эффективностью математики в естественных науках». Она также проиллюстрировала бы замечательную случайность — а это непременно была бы случайность — того, что человек своим умом может понять основные принципы физической реальности.

Но я надеюсь, что не покажусь грубым, если укажу на то, чего она *не сделала бы*. Такая теория *не означала бы* конца науки, способной бросить нам вызов. На самом деле, на большинство наук — даже на большую часть космологии — она оказала бы минимальное воздействие. В популярной литературе часто используются две фразы — «последняя теория» или «теория всего», — скрытый смысл которых не только высокомерен, но и очень обманчив.

Практически все ученые уже уверились в том, что наш сегодняшний мир, в сущности, сводится к атомной физике. Как каждая из возможных эллиптических орбит каждой планеты есть решение ньютоновых уравнений движения, так и каждый кусок материала, живой или неодушевленный, подчиняется уравнению Шредингера — основному уравнению квантовой теории, описывающему атомы и их скопления. На поверку, однако, оказывается, что мы не можем решить это уравнение ни для чего более сложного, чем отдельная молекула. Сложность решения зависит от количества рассматриваемых атомов, а также от сложности их внутренней структуры (скажем, живая клетка куда сложнее правильного кристалла, содержащего такое же количество атомов).

Кроме того, если бы мы располагали гиперкомпьютером, который *смог бы* решить уравнение Шредингера для сложной макроскопической системы и воспроизвести поведение этой системы, результат не дал бы нам никакого реального понимания. Для проникновения в суть, к которому стремятся ученые, необходимы разнообразные концепции. Например, водный поток — водовороты, разбива-

ющиеся волны и т. д. — лучше всего объяснять с помощью влажности, завихренности и турбулентности. Это произвольные свойства, и они существуют только в достаточно большом масштабе, чтобы мы могли рассматривать жидкость как сплошную среду и пренебрегать действием квантов. Подобно этому, происходящее в компьютере можно отнести к электронам, движущимся в сложных цепях, хотя это замечание упускает суть: логику, переносимую этими сигналами. И, по выражению Стивена Пинкера, «поведение человека разумнее всего объяснить его верованиями и решениями, а не вольтами и граммами».

Любая наука, от химии до социальной психологии, имеет в арсенале свои собственные неопровержимые и производные концепции, а также отличительные виды объяснения. В макроскопической области существуют общие «законы природы», с которыми связано не меньше вопросов, чем с объектами микромира, и которые концептуально от них не зависят — например, есть общие математические законы, описывающие переход от регулярного поведения к хаотическому и применяющиеся к явлениям настолько несопоставимым, как протекающие краны и популяции животных³.

Науки зачастую сравниваются с различными этажами здания — логика в фундаменте, математика на первом этаже, затем следует физика частиц, после — остальная физика и химия, и так далее по мере того, как мы забираемся выше. Но аналогия со зданием рухнет, потому что сверхструктура (наука «более высокого уровня», имеющая дело со сложными системами) не подвергается опасности из-за непрочной основы.

Даже узнав основные законы, мы бы все равно не понимали, каким образом их следствия развились за последние 13 миллиардов лет. Нас сбивают с толку сложные модели и взаимные связи — неполное знание о микромире, в общем, не есть препятствие.

Эта проблема возникла при спорах о Сверхпроводящем суперколлайдере (SSC) — гигантском и невероятно дорогом ускорителе, который разрабатывался в Техасе; но разработки были прекращены решением Конгресса США после того, как на них уже было потрачено 2 миллиарда

долларов. Преувеличение значения SSC его защитниками привело к негативной реакции других ученых — даже некоторых физиков, понимающих, что сложные материалы, потоки жидкостей и теория хаоса ставят такие же значительные задачи, как и физика частиц, а ресурсы, необходимые для SSC, при этом несоразмерно велики⁴.

Тем не менее, как подчеркнул Стивен Вайнберг, некоторые науки могут заявить о своем особом статусе, особой «глубине»⁵. Если вы беспрестанно будете спрашивать «почему?», в итоге вы придете к фундаментальному вопросу либо из физики частиц, либо из космологии: наук об очень малом и очень большом. Это важная характеристика нашей Вселенной. Мы ищем объединенные теории космоса и микромира не потому, что остальная наука (или даже остальная физика) зависит от них, но потому, что они связаны с таинственными аспектами реальности.

Привлекательность «последней теории» велика. Честолюбивые студенты бьются над проблемой №1. Но чрезмерная сосредоточенность усилий талантливых людей лишь в одной, чисто теоретической области, скорее всего, принесет чувство неудовлетворенности всем, за исключением некоторых особо одаренных (или удачливых) индивидуумов. Своим студентам я советую умножить важность проблемы на малую вероятность того, что они разрешат ее, и произведение довести до максимума. Я также напоминаю им мудрое замечание Питера Медавара о том, что «ни одним ученым не восхищаются за то, что он не может разрешить задачу вне пределов своей компетенции. Бóльшее, на что он может рассчитывать, — это жалость, подобная той, что вызывают у сердобольных людей политики-утолисты»⁶.

Не принимая во внимание афоризм Эйнштейна о постижимости Вселенной, который я привел в прологе этой книги, было бы поразительно, если бы человеческий разум «справился» со всеми аспектами внешнего мира. Некоторые загадки природы навсегда могут остаться необъясненными или непонятыми.

Глава 11.

Законы и устав в мультиверсе

Множество вселенных?

В главе 9 я рассказывал о том, как вся наблюдаемая астрономами область, простирающаяся как минимум на 10 миллиардов световых лет, могла раздуться из бесконечно малой крупинки. Более того, рост инфляции мог бы привести к столь огромной Вселенной, что для описания ее потребуется число с миллионом разрядов. Но даже это громадное расширение пространства может быть не единственным, что существует: области, в которых инфляция не завершилась, могут разрастаться достаточно быстро, чтобы стать зачатком других Больших взрывов. Если это так, наш Большой взрыв был не только не единственным, но может даже оказаться составляющей вечно воспроизводящегося космоса.

Существуют и другие гипотезы, предполагающие множественность вселенных. К примеру, всякий раз при формировании черной дыры процессы, происходящие глубоко внутри нее, могут вызвать создание другой вселенной в пространстве, отделенном от нашего. Если эта новая вселенная будет подобна нашей, в ней будут формироваться звезды, галактики и черные дыры, причем последние, в свою очередь, породят следующее поколение вселенных, и так далее, вероятно, до бесконечности. Или же, если бы существовали дополнительные пространственные измерения, не свернутые слишком туго, мы могли бы жить

в одной из многих разделенных вселенных, вкрапленных в пространство с бóльшим количеством измерений.

Все эти теории умозрительны и должны предваряться чем-то сродни предупреждению об охране здоровья. Но они дают нам манящие проблески невероятно увеличенной космической перспективы. Вся история нашей Вселенной может быть лишь эпизодом, одной гранью бесконечного мультиверса. Будь так, некоторые свойства нашей Вселенной казались бы менее удивительными. Позвольте объяснить, почему я так думаю.

Особый состав?

Отличительные особенности нашей Вселенной, да и всех ее составляющих (включая нас), выглядят как результат, если можно так выразиться, случайности. Размер и форма нашей родной Галактики есть следствие квантовых флуктуаций, заложенных тогда, когда Вселенная была размером с мячик для гольфа; таково же и расположение галактик в нашей Местной группе. Газы, завершившие свой цикл в нашем Солнце, в течение миллиардов лет взбивались под воздействием сдвиговых течений в нашей вращающейся Галактике и взрывов сверхновых. Наша Земля (наряду с другими планетами внутренней орбиты — Меркурием, Венерой и Марсом) представляет собой нагромождение камней и астероидов; при величайшем столкновении был выброшен материал, из которого образовалась Луна. Поверхность Земли изменялась при дрейфе материков, вулканической деятельности и последующих катаклизмах. Эти и иные земные стечения обстоятельств определили топографию и климат, предрешив возникновение и вымирание видов. В более узком масштабе пространства и времени каждый из нас есть следствие времени и случайности — ключевых событий в жизни всех наших предков. В еще меньшем, микроскопическом, масштабе мы обязаны своим генетическим наследием почти случайной судьбе отдельного сперматозоида.

Очевидно, мы никогда не сможем объяснить все случайности, приведшие от Большого взрыва к нашему рождению спустя 13 миллиардов лет. В решительной степе-

ни результат зависел от состава Большого взрыва, и состав этот, кажется, был весьма специфичным. В главе 5 я рассуждал о том, что возникновение такого замысловатого разнообразия из простого начала не вступает в противоречие ни с одним из основных законов. Но степень точной настройки — в скорости расширения, содержании материи во Вселенной и мощности основных сил, — видимо, была предварительным условием появления гостеприимной космической родины, в которой мы живем.

Ниже приводятся некоторые предпосылки Вселенной, содержащей органическую жизнь того вида, что мы обнаруживаем на Земле.

Во-первых, Вселенная должна быть очень большой в пространственном протяжении по сравнению с отдельными частицами и очень долгоживущей по сравнению с основными атомными процессами. Несомненно, это необходимо условие не только для нашей Вселенной, но и для любой гипотетической вселенной, которую научный фантаст мог бы считать интересной. Если основными кирпичиками являются атомы, то, пока не появится огромное их количество, нельзя создать ничего подобного экосистеме. Во вселенной, которая живет слишком недолго, ничего особенного не может произойти: для протекания эволюционных процессов необходимо как обширное пространство, так и длительное время.

Мы уже видели, что гравитация имеет решающее значение. Но в интересной вселенной она должна быть очень слабой. Если бы гравитация не была чрезвычайно мала в масштабах атомов, тогда звезды (гравитационно связанные реакторы синтеза) были бы небольшими и недолговечными; гравитация разрушала бы любой объект крупнее насекомого и для сложной эволюции не хватило бы времени. В любой интересный рецепт должно входить, по меньшей мере, одно большое число. Само по себе это не есть точная настройка — это просто ограничение. Есть и другое ограничение: космическое отталкивание в пустом пространстве должно быть очень слабым (то есть число лямбда должно быть очень маленьким), иначе эта разрушительная сила не допустит формирования гравитационно связанных структур.

Но даже если эти структуры возникают в такой большой и долговечной вселенной, как наша, итог может быть достаточно однообразным: во вселенной могут появиться только черные дыры или инертная темная материя при полном отсутствии каких-либо атомов. Интересная вселенная требует некой асимметрии в законах, благодаря которой допускается избыток материи или антиматерии, обеспечивающий существование достаточного количества атомов. Что касается массы, то атомы вовсе не должны быть *главными* составляющими: в нашей Вселенной темной материи содержится в 5–10 раз больше. Но если бы атомов было, скажем, в десять раз меньше, чем сейчас, они оставались бы в диффузном газе, неспособном сконденсироваться в галактики и звезды.

Требование интересной вселенной определяет и другие величины в очень узком диапазоне. Как упоминалось в главе 5, число Q , измеряющее фактуру космоса, не может сильно отличаться от $1/100\,000$. Будь Q еще меньше, расширение стало бы таким гладким — без какой-либо первичной ряби или флуктуаций, — что не развилась бы ни одна структура. Если бы Q было значительно больше, вселенная была бы столь шершавой, что коллапсировала бы в огромные черные дыры: неподходящие условия для любой из форм жизни, которые мы можем себе представить.

В микромире тоже есть своя настройка. Ядерный синтез, питающий звезды, зависит от равновесия двух сил: электрического отталкивания между двумя любыми протонами и сильного противостоящего ядерного взаимодействия, притягивающего их друг к другу (притягивает оно и электрически нейтральные нейтроны). Законы должны допускать существование не только протонов и нейтронов, но и многообразия атомов, необходимых для сложных химических соединений. Будь ядерные силы хоть чуточку слабее, никакие другие химические элементы, кроме водорода, не были бы стабильными: не существовало бы периодической таблицы, химия была бы тривиальнейшим предметом и не протекало бы химических реакций, питающих звезды. Но, если бы ядерные силы были немного мощнее, чем действующие, в сравнении с электрическими силами, два протона объединились бы столь быстро, что обычного водорода не

существовало бы вообще и звезды развивались бы совершенно иначе. Некоторые тонкости еще в бóльшей степени зависят от ядерных сил. К примеру, в главе 3 отмечалось, что углерод не производился бы в звездах так легко, не будь явной точной настройки свойств его ядра, которые еще более чувствительны к этой величине.

Что означает точная настройка?

Если наше существование напрямую зависит от особого состава космоса, как мы должны реагировать на явную точную настройку? По-видимому, у нас есть три варианта: можно забыть о ней как о случайности; можно провозгласить ее происками провидения; или (я предпочитаю именно этот вариант) можно полагать, что наша Вселенная есть особо привилегированная область в необъятном мультиверсе. Давайте рассмотрим их по порядку.

Случайность (или совпадение)

Возможно, набор фундаментальных уравнений, который в один прекрасный день появится на футболках, уникальным образом закрепляет все ключевые свойства нашей Вселенной. Тогда сложно было бы опровергнуть тот факт, что эти уравнения допустили чрезвычайно сложную эволюцию, в результате которой появились мы.

Но, я думаю, и тогда нашлось бы, чему удивиться. Нет гарантии, что простые уравнения допускают сложные следствия. Можно провести аналогию с математикой, рассмотрев прекрасную модель, известную как множество Мандельброта. Эта модель задается простым алгоритмом, но имеет бесконечно глубокую структуру: крошечные ее части выказывают все новые и новые подробности независимо от масштабов увеличения. В противоположность этому можно записать другие алгоритмы, внешне подобные, но приводящие к очень скучным моделям. Почему фундаментальные уравнения должны нести что-либо с такой потенциальной сложностью, как наша реальная Вселенная, вместо скучной или стерильной вселенной, к появлению которой могли бы привести другие рецепты?

Мы упорно считаем, что причина в том, что мы бы не появились, будь следствия законов скучны. Мы уже здесь, и тут нечему удивляться. Но, боюсь, для меня такого объяснения недостаточно. Меня поразила метафора канадского философа Джона Лесли. Предположим, вы стоите перед стреляющим орудийным расчетом. Пятьдесят наводящих прицеливаются, но ни один из них не попадает в вас, цель. Если бы кто-то из них не промахнулся, вы не выжили бы и не размышляли бы над этим вопросом. Но на этом все не заканчивается: вы сбиты с толку и ищете причины такого везения. Также и нам обязательно стоит проводить более глубокие исследования и задаваться вопросом, почему уникальный для физического мира состав должен предполагать те самые интересные следствия, которые нас окружают (и которые допустили, в качестве побочного продукта, наше существование).

Провидение или замысел

Замысел космоса — традиционная тема того, что принято называть «естественной теологией». Два века назад Уильям Пейли предложил свою знаменитую метафору о часах и часовщике — приводя в качестве доказательства вмешательства милостивого Творца глаз, большой палец, противостоящий остальным и т. д. Это направление мысли «вышло из фавора» даже в среде теологов, в постдарвиновскую эпоху. Теперь мы рассматриваем любую биологическую задумку как результат продолжительного эволюционного отбора и симбиоза с окружающими объектами.

В главе 10 упоминается, что Пейли включил факт о подчинении гравитации закону обратных квадратов в свои аргументы промысла Божьего. Он, по сути, не смог вооружиться астрономическими реалиями для подтверждения своего главного теологического тезиса. Но, в присущей ему изящной манере, он сказал, что «астрономия не есть лучшее средство для доказательства . . . разумного Создателя, но наука эта (и это доказано) лучше всех остальных показывает величие его действий».

Пейли, однако, отреагировал бы иначе, знай он о predetermined, на первый взгляд, физике, приведшей

к появлению галактик, звезд, планет и девяноста двух элементов периодической таблицы (заключенных в отлаженной силе ядерного взаимодействия), а также числа Q , которое закладывает структуру космоса. Его бы впечатлили и другие биофилитные свойства основных физики и химии — например, те, что сообщают воде ее необычное свойство расширяться при охлаждении и замерзании.

Эти черты нельзя отбрасывать как устаревшие заявления о замысле в живых существах. Это обусловлено тем, что основные законы, управляющие звездами и атомами, есть данность, и ничто биологическое не в силах изменить их. Современным единомышленником Пейли является Джон Полкингхорн, профессор физики (которой он в свое время обучал и меня) в Кембридже, увлекшийся на старости лет теологией. Он истолковывает нашу настроенную родину как «создание Творца, желающего видеть свое детище именно таким»¹.

Особая Вселенная, избранная из ансамбля, или мультиверса

Если не верить в божественный замысел, но понимать, что точная настройка нуждается в объяснении, то подойдет еще одна перспектива — в высшей степени гипотетическая, так что на этой стадии мне нужно напомнить свое предупреждение об охране здоровья. Однако она является одной из моих любимых, даже несмотря на то, что на сегодняшней стадии развития такое предпочтение может быть не более чем предчувствием.

Может существовать множество вселенных, и наша Вселенная — лишь одна из них. В других вселенных некоторые законы и физические постоянные могли бы отличаться. Но наша Вселенная не была бы просто случайной. Она принадлежала бы к необычному подмножеству, которое обеспечило условия обитания, благоприятные для возникновения сложности и сознания. Аналогия с часовщиком в этом случае может потерять смысл. Вместо этого космос можно уподобить магазину готовой одежды: если в магазине большой ассортимент товара, то мы обязательно найдем подходящий костюм. Так же и здесь: если наша Вселенная

была выбрана из мультиверса, ее (кажущиеся нарочными или отлаженными) характеристики неудивительны.

Эта гипотеза может казаться «неэкономичной»: воистину, она, кажется, напрочь отвергает афоризм, известный под названием бритвы Оккама — указ мудреца четырнадцатого века Уильяма из Оккама «не плодить гипотез более нужного количества». На первый взгляд, ничто не кажется более идейно экстравагантным, чем разговор о многих вселенных. Но эта концепция проистекает из нескольких различных теорий (хотя все они умозрительны) и открывает новый взгляд на нашу Вселенную как на один атом, выбранный из бесконечного мультиверса*.

Являются ли вопросы о других Вселенных частью науки?

Наука — дело экспериментов и наблюдений, и вполне естественно переживать из-за предположений, которые невозможно проверить эмпирически. Некоторые считают, что другие вселенные относятся скорее к области метафизики, нежели физики. Но я склонен думать, что они уже находятся в правильном научном фокусе. Вопрос «Существуют ли вселенные, которые мы не видим?» нельзя назвать ни абсурдным, ни бессмысленным, хотя скорого ответа на него и не предвидится. Этот вопрос просто нельзя разрешить *прямым* наблюдением, хотя *можно* искать соответствующие эмпирические доказательства, способные привести к ответу.

Граница между легко различимым и абсолютно не поддающимся наблюдению на самом деле размыта и представляет собой очень широкую серую область. Чтобы проиллюстрировать это высказывание, можно представить последовательность из четырех горизонтов (см. рис. 11.1), каждый

*Здесь есть риск семантической путаницы. Обычно под «Вселенной» понимается «все сущее». Правильнее было бы переопределить весь расширенный ансамбль как «Вселенную» и затем для обозначения области, которую видят космологи и астрономы, ввести новый термин — скажем, «мегагалактика». Но, пока все эти концепции остаются умозрительными, лучше оставить термин «Вселенная» в покое, сохраняя его традиционный смысл, пусть даже это требует введения нового слова «мультиверс», обозначающего (все еще гипотетический) ансамбль «вселенных».

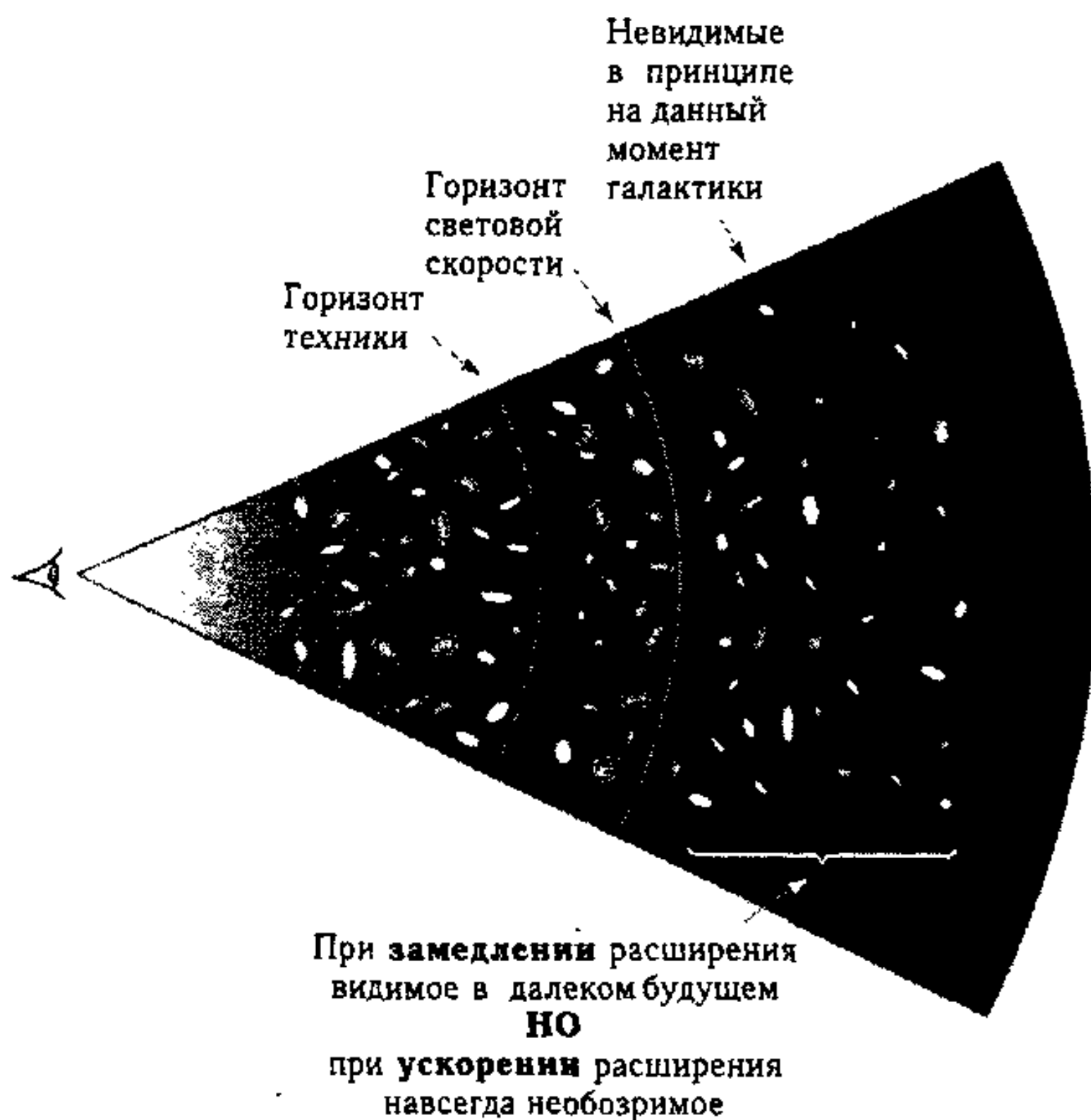


Рис. 11.1. Последовательные «горизонты достоверности» (объяснение приводится в тексте).

из которых уводит нас дальше предыдущего от наших прямых впечатлений:

1. Предел возможностей современных телескопов

Есть граница, дальше которой современное оборудование не может исследовать космос. Очевидно, что эта граница не фундаментальна: она определяется уровнем современной технологии. Несомненно, в последующие десятилетия с помощью более мощных телескопов, находящихся сейчас в стадии разработки, выявится еще множество галактик. Совершенно очевидно, что мы не можем исклю-

читать такие галактики из области надлежащего научного курса просто потому, что мы их еще не видим. Древние мореплаватели размышляли о существующем за границами известного в то время мира, а мы теперь раздумываем о том, что лежит под океанами лун Юпитера — Европы и Ганимеда, — как они тогда, так и мы теперь размышляем о чем-то «реальном»: мы задаемся научным вопросом. Так же и умозаключения об отдаленных областях нашей Вселенной воистину научны, хотя для их проверки понадобится более совершенное оборудование.

2. Принципиальный предел в современную эпоху

Если бы для телескопов не существовало ограниченный технического характера, наши наблюдения все равно ограничивались бы горизонтом, определенным расстоянием, которое каждый сигнал, двигаясь со скоростью света, мог пройти со времени Большого взрыва. Этот горизонт очерчивает вокруг нас сферическую оболочку, на границе которой красное смещение будет бесконечным. В галактиках, находящихся на границе этой оболочки, нет ничего особенного, как и в круге, очерчивающем ваш горизонт, когда вы находитесь посреди океана. В океане вы увидите дальше, если заберетесь на мачту корабля. Но наш космический горизонт нельзя расширить, если только Вселенная не изменится таким образом, чтобы позволить свету галактик, сейчас находящихся за горизонтом, попасть к нам.

К тому времени, когда нашей Вселенной исполнится, скажем, в два раза больше лет, чем сейчас, этот горизонт отодвинется в два раза. Но если расширение замедляется, то каждая галактика, замедлив движение, будет *менее чем* в два раза дальше, так что горизонт наших далеких потомков будет охватывать такие галактики, которые сегодня находятся вне зоны видимости. Несомненно, если для проверки предсказания относительно какой-то отдаленной галактики нам придется ждать изменений в космосе, которые займут миллиарды лет, а не несколько десятилетий технического прогресса, который вполне возможен, — это будет действительно практическая помеха. Но вводит ли это принципиальную разницу? Долгое ожидание имеет только

количественное отличие, а не то, что меняет эпистемологический статус этих далеких галактик.

3. Галактики, которые мы никогда не увидим из «нашего» Большого взрыва

Но как быть с галактиками, которые мы не сможем увидеть *никогда*, сколько ни жди? В главе 5 я рассмотрел доказательства того, что мы населяем ускоряющуюся Вселенную. Как и в замедляющейся Вселенной, есть галактики настолько отдаленные, что нас еще не достиг ни один их сигнал; но если космическое расширение ускоряется, мы удаляемся от этих отдаленных галактик еще быстрее, так что, если их свет до нас не дошел, то он и не дойдет. Такие галактики не просто *в принципе невидимы сейчас* — они *навсегда* останутся за горизонтом. Но если галактика не поддается наблюдению *сейчас*, вряд ли имеет значение, останется ли она невидимой навечно или, как в замедляющей ход Вселенной, появится в поле видимости через триллион лет. (В пункте (2) я уже доказывал, что последнюю категорию следует считать «реальной».)

4. Галактики в непересекающихся вселенных

Невидимые галактики, о которых рассказано в пункте 3, вероятно, возникли из того же Большого взрыва, что и наша Вселенная. Но предположим, что вместо причинно разъединенных областей, возникающих из одного Большого взрыва (посредством инфляции), мы представим себе отдельные Большие взрывы. Менее ли реальны пространства-времена, полностью отрезанные от нашего, чем области, которые никогда не появятся на горизонте того, что мы привыкли называть нашей Вселенной? Конечно же, нет. Поэтому другие вселенные стоит рассматривать как реальные части нашего космоса.

Это поэтапное доказательство (те, кому оно не нравится, могут называть его уклончиво-скользким аргументом) предполагает, что существование других вселенных является научным вопросом. Так как же можно ответить на него?

Сценарии для мультиверса

Многие сценарии развития могут привести к множеству вселенных. Андрей Линде, Алекс Виленкин и другие разрабатывали компьютерные модели, описывающие «вечную» фазу инфляции, в которой многие вселенные из отдельных Больших взрывов разрастались в разъединенные области пространства-времени. Алаи Гут и Ли Смолин с различных точек зрения предположили, что новая Вселенная может пустить отростки внутри черной дыры, расширяясь при этом в новую, недоступную нам, область пространства и времени. Лиза Рэндалл и Раман Сундрум считают, что другие вселенные могут существовать, отделенные от нашей в дополнительном пространственном измерении. Эти разделенные вселенные могут взаимодействовать гравитационно, или не иметь ни малейшего воздействия друг на друга. В избитой аналогии, где поверхность воздушного шара являет собой двухмерную Вселенную, заключенную в нашем трехмерном пространстве, другие вселенные изображались бы поверхностью других шаров: любые жучки на одном из шаров, не имея представления о третьем измерении, не будут знать о своих собратях, ползающих по другому шару. Другие вселенные могут быть отдельными областями пространства и времени. Мы не можем сколько-нибудь осмысленно сказать, существовали ли они раньше, позже или наравне с нашей Вселенной, так как такие концепции имеют смысл постольку, поскольку мы можем воспользоваться только одной мерой времени для всех вселенных.

Гут и Эдвард Харрисон даже предположили, что вселенные можно создать в лаборатории, взорвав кусок материала для создания маленькой черной дыры. Может ли вся наша Вселенная быть результатом некоего эксперимента, проведенного в другой вселенной? Смолин считает, что дочерней вселенной могут управлять законы, заключающие в себе отпечаток законов, действующих в материнской вселенной. Если так, то теологические доказательства замысла могут воскреснуть под новой маской, продолжая размывать границу между естественными и сверхъестественными явлениями.

В качестве решения некоторых парадоксов квантовой механики в теории «многих миров», в защиту которой впервые выступили в 1950-х годах Хью Эверетт и Джон Уилер, предлагаются и параллельные вселенные. Пробраз этой концепции появился у Олафа Степлдона как одно из наиболее сложных изобретений его романа «Создатель звезд»: «Когда бы существо ни сталкивалось с несколькими возможными способами действия, оно использовало все, тем самым создавая множество . . . различных историй космоса. Поскольку в каждой эволюционной цепочке космоса было много существ, и каждое из них постоянно сталкивалось с множеством разных способов, и комбинации всех их способов бесчисленны, с каждого момента каждой временной последовательности отслаивалась бесконечность отдельных вселенных».

Ни один из этих сценариев не взят с потолка: у каждого есть серьезная, пусть и умозрительная, теоретическая мотивация. Однако максимум один из них может оказаться правильным. Равно как и все они могут быть неверными: существуют альтернативные теории, приводящие всего к одной Вселенной.

Для утверждения любой из этих идей требуется теория, логично описывающая предельную физику сверхвысоких плотностей, вид конфигурации структур в дополнительных измерениях и т. д. Но одной логики недостаточно: должны быть основания для уверенности в том, что такая теория — не просто математическая модель, но применима к реальности. У нас появилась бы эта уверенность, если бы такая теория объясняла то, что мы *можем* наблюдать, но ничем другим не можем объяснить. На данный момент мы располагаем замечательной системой под названием «стандартная модель», объясняющей почти все наблюдаемые субатомные явления. Но формулы стандартной модели содержат примерно восемнадцать (в общем счете) параметров, которые нельзя вывести из теории, но необходимо получить из экспериментов. Любую теорию, предложившую объяснение того, почему есть определенные семейства частиц, а также объяснение природы ядерных и электрических сил, признали бы достоверной; после чего нам пришлось бы обратить серьезное внимание на другие

ее предсказания, даже если их нельзя было бы непосредственно проверить.

Теория гравитации Эйнштейна, или общая теория относительности, появилась в 1916 году. До того времени, как опытным путем нам удалось оценить отчетливые следствия теории с точностью более 10%, прошло более полувека. Но теперь масштаб и точность эмпирических проверок настолько расширились и обеспечили такое всестороннее и точное подтверждение суждений Эйнштейна, что для подрыва веры то, что общая теория относительности есть правильная классическая теория гравитации, понадобятся действительно веские доказательства. Вследствие этого мы уверены в предсказаниях теории даже о тех областях, исследовать которые нет возможности, например, о недрах черных дыр. Мы всерьез воспринимаем свои домыслы о ядерных реакциях внутри звезд и в ранней раскаленной Вселенной, ибо они основаны на теориях об атомах и ядрах атомов, надежно подкрепленных экспериментами.

Возможно, в двадцать первом веке физики сформулируют теорию, которая справится с обратной экстраполяцией ко времени Планка и завоюет наше доверие, объяснив до настоящего времени необъясненные явления, которые можно проверить опытным путем. Если такая теория предскажет множество Больших взрывов, у нас будет столько же оснований уверовать в существование отдельных вселенных, сколько у нас есть сейчас для веры в черные дыры или образование гелия в первые несколько минут после Большого взрыва. Следовательно, когда-нибудь мы получим мотивы как для веры, так и для неверия в другие вселенные.

Универсальные законы или местные постановления?

Если существуют другие вселенные, теория может содержать предпосылки к дальнейшему ключевому вопросу о них: насколько они разнообразны? Некоторые теоретики, например, Франк Вильчек, считают вопрос «Уникальны ли законы физики?» — лишённое поэтичности перефразирование вопроса Эйнштейна, процитированного в про-

логе, — основным научным вопросом, разрешить который предстоит в новом веке. Если бы действительный состав был сколько-нибудь самосогласованным, любой Большой взрыв породил бы вселенную, всего лишь повторяющую нашу. Но куда более интересна вероятность (конечно же, убедительная на этой стадии незнания основных законов) того, что *основные законы, управляющие всем мультиверсом, могут различаться во вселенных, его составляющих.* Так называемые законы природы управляют всей видимой нам областью, но в более грандиозной перспективе они могут оказаться *местными постановлениями*, согласованными с некоей общей теорией, правящей в ансамбле, но не закрепленными ею однозначно. Многие вещи в нашем космическом окружении — к примеру, точное расположение планет и астероидов в нашей Солнечной системе — есть исторические случайности. Так и рецепт для целой Вселенной может быть произвольным.

Такое же равновесие случайности и необходимости возникает в биологии. Наше базовое развитие — от зародыша до взрослой особи — закодировано в наших генах, но разные аспекты развития формируются под воздействием нашего окружения и жизненного опыта. Есть и более простые примеры подобной дихотомии — скажем, снежинки. Их универсальная шестикратная симметрия является прямым следствием свойств и формы молекул воды. Но их многообразие зависит от окружения — случайных температур и изменения влажности во время роста каждой снежинки. Если бы в нашем распоряжении имелась фундаментальная теория, мы бы знали, какие природные проявления являются прямым следствием основополагающей теории (как симметричный трафарет снежинок обусловлен базовой структурой молекулы воды), а какие произошли в результате случая (как определенный узор отдельной снежинки). Случайные особенности могли возникнуть во время охлаждения, последовавшего за Большим взрывом, подобно тому, как кусок раскаленного докрасна железа намагничивается при охлаждении, с направлением намагниченности, зависящим от случайных факторов. У них могли быть иные условные причины, например, влияние другой близлежащей вселенной, отделенной от нашей в пятом измерении.

Космологические величины нашей Вселенной — омега, Q и лямбда, и, возможно, некоторые из так называемых констант лабораторной физики — могут быть произвольными, нежели однозначно установленными некоей окончательной теорией. Если так, то аналогия с магазином готовой одежды — в котором находится значительный запас вселенных — исключила бы любой повод удивляться видимой точной настройке этих величин в нашей отдельно взятой родной Вселенной.

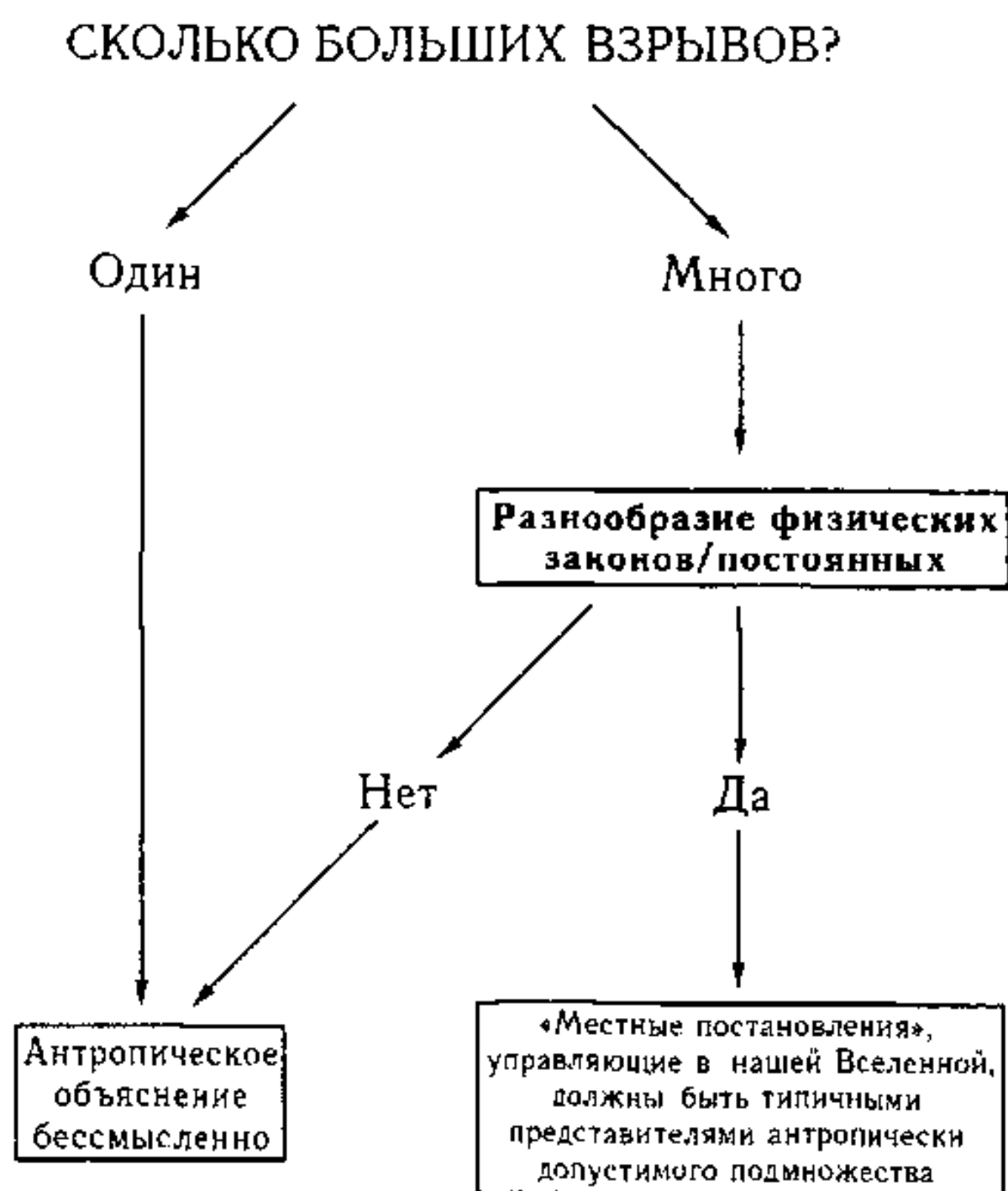


Рис. 11.2. Блок-схема, поясняющая зависимость статуса антропического объяснения от свойств фундаментальных законов физики.

Тогда некоторые свойства нашей Вселенной можно объяснить только «антропным» аргументом (см. рис. 11.2). Хотя такое объяснение вызывает негодование некоторых физиков, оно аналогично тому, что делают наблюдатели или экспериментаторы, учитывая влияние выбора на свои

измерения: если есть множество вселенных, большинство из которых необитаемо, нам не стоит удивляться, обнаруживая себя в одной из населенных.

Проверка теорий мультиверса здесь и сейчас

В один прекрасный день может появиться убедительная теория, разъясняющая, существует ли мультиверс и являются ли некоторые из так называемых законов природы местными постановлениями для нашей области космоса. Но в ожидании этой теории — возможно, длительном — можно проверить аналогию с «магазином готового платья». Ее даже можно опровергнуть: так и случится, если наша Вселенная окажется *даже более специфически* настроенной, чем требуется для нашего существования.

Для пояснения этой линии рассуждений рассмотрим одну кажущуюся настроенной космическую величину: скрытую в пустом пространстве энергию, вызывающую космическое отталкивание и измеряемую числом лямбда. Физики ожидали, что лямбда будет большой вследствие очень сложной микроструктуры пространства. Тем не менее, предварительным условием нашего существования является малое значение лямбды: чрезмерное космическое отталкивание разорвало бы галактики. Возможно, есть только редкое подмножество вселенных, в которых лямбда ниже порога, допустимого для формирования галактик и звезд (то есть ниже расплывчатой линии на рис. 11.3). Лямбда в *нашей* Вселенной явно должна была быть ниже этой границы. Но если бы наша Вселенная была извлечена из ансамбля, где лямбда равновозможно приняла бы любое значение, мы бы не ожидали, что она будет *намного ниже этого порога*.

Если Вселенная действительно ускоряется, как свидетельствуют современные исследования, реальное значение лямбды в пять-десять раз ниже этого порога. Это говорит о том, что наша Вселенная входит в десять-двадцать процентов вселенных, в которых возможно формирование галактик. Другими словами, наша Вселенная незначительно специфична по отношению к лямбде, чем требовалось



Рис. 11.3. Ограничения лямбды: если бы космическое отталкивание было слишком мощным, не сформировалось бы ни одной галактики. Типична ли наша Вселенная из множества антропически допустимых вселенных, или лямбда в ней намного ниже той, что требуется для нашего существования?

для нашего возникновения. Но предположим, что, в противовес современным показателям, будущие наблюдения показали, что лямбда не имеет никакого явного значения для скорости расширения и *в тысячи*, а не в пять-десять, раз ниже порога. Эта «убийственная точность» поставила бы под сомнение гипотезу, утверждающую, что лямбда равновозможно приняла бы любое значение, и положила бы ее значение нулевым по какой-то фундаментальной причине (или предположила бы, что она имела дискретное множество возможных значений, причем все остальные были значительно выше этого порога)².

Лямбду я привел просто в качестве примера. Мы можем таким же образом проанализировать другие важные величины физики для проверки предположения, что наша Вселенная типична в подмножестве обитасмых вселенных, способных стать пристанищем сложных форм жизни. Методология заставляет нас определить значения, совместимые с нашим возникновением. Ей также необходима особая теория, дающая вероятность любого определенного значения. Например, если взять лямбду: все ли значения равновероятны, или есть какая-то более сложная формула? Обладая такой информацией, можно задаться вопросом, «типична» ли наша Вселенная для подмножества, где мы могли бы возникнуть. Если она — нетипичный представитель даже такого подмножества (не просто всего мультиверса), тогда наша гипотеза будет несостоятельной.

Как другой пример возможной проверки теории «мультиверса» рассмотрим предположение Смолина о том, что внутри черных дыр разрастаются новые вселенные, и что физические законы в дочерней вселенной несут отпечаток законов материнской вселенной, то есть о некоей наследственности. Концепция Смолина еще не подкреплена какой-либо подробной теорией о том, как любая физическая информация (или даже стрела времени) может передаваться из одной вселенной в другую. Ее достоинством, однако, являются предсказания о нашей Вселенной, которые можно проверить.

Если бы Смолин был прав, у вселенных, создающих множество черных дыр, была бы способность к репродукции, передающаяся следующему поколению. Следовательно, предрасположенность нашей Вселенной, появившись она в результате репродукции, была бы близкой к оптимуму, в том смысле, что любое незначительное изменение законов и констант понизило бы вероятность образования черных дыр³. В нашей Вселенной черные дыры формируются на конечном этапе жизни массивных звезд, а также в центрах галактик. Для проверки того, повышается ли склонность к формированию черных дыр в результате любого изменения физики атомов, ядер или галактик, понадобились бы только астрономические наблюдения и понимание астрофизики процессов этого образования. Я лично считаю, что

предположение Смолина вряд ли подтвердится, но он заслуживает нашей благодарности за иллюстрацию того, насколько неустойчивой к опровержениям может быть теория особого мультиверса.

Эти примеры демонстрируют, что некоторые заявления о других вселенных можно опровергнуть; таким качеством должна обладать любая хорошая гипотеза. Мы не можем с уверенностью утверждать, что Больших взрывов было много, -- у нас просто нет уверенности в достаточном знании сверхранних фаз нашей собственной Вселенной. Но физика сверхплотных материй применительно к Большому взрыву может предсказать множество вселенных. Кроме того, та же самая теория может поведать, что каждая вселенная охлаждается по-своему, завершая этот процесс с разными скоростями расширения, содержанием, размерностью и микрофизикой.

Пролить свет на то, являются ли основные законы столь терпимыми, предстоит физикам двадцать первого века. Если предположение оправдается, то так называемые антропные объяснения станут приемлемыми -- по сути, они будут *единственным возможным объяснением* нескольких важных свойств нашей Вселенной, *которыми мы когда-либо располагали*⁴. Попытки поиска фундаментальных формул для некоторых ключевых физических величин станут тогда такими же обманчивыми, как попытки Кеплера связать размеры планетарных орбит с твердыми геометрическими телами Платона (кубами, тетраэдрами и т. д.).

Взгляд в семнадцатый век

Знания Кеплера не простирались дальше нашей Солнечной системы. Более того, он считал, что орбиты планет должны быть правильными кругами с точными математическими пропорциями. Сегодня мы так не думаем. Из бесконечного количества возможностей, допускаемых законами Ньютона, орбита нашей Земли эллиптическая -- точная ее форма есть результат ее сложной истории и происхождения. Ее орбита особенна только в том смысле, что допускает окружение, благоприятное для эволюции (не настолько

близкая к Солнцу, чтобы вода вскипала, и не настолько далекая, чтобы она навечно замерзла).

Похоже, наше традиционное восприятие Вселенной и физических законов, управляющих ею, пойдет по пути концепции Кеплера об орбите Земли. То, что мы привыкли называть «Вселенной», может быть результатом одного из множества Больших взрывов, как наша Солнечная система есть просто одна из многих планетарных систем в Галактике. Как россыпь кристаллов льда на корке замерзающего пруда есть скорее историческая случайность, нежели фундаментальное свойство воды, так и некоторые из кажущихся постоянными величин природы могут быть произвольными, нежели однозначно определенными основной теорией.

Наша собственная Вселенная — наша космическая обитель — проста по своему составу, но не так проста, как могла бы быть. Наряду с темной материей в ней содержатся атомы. Чтобы все было еще сложнее, темная энергия в пустом пространстве приводит в действие отталкивание, которое на космических весах перевешивает гравитацию. Некоторые теоретики расстроены таким следствием, так как оно подрывает их стремление к максимальной упрощенности. Я думаю, мы можем извлечь урок из космологических споров семнадцатого века. Галилей и Кеплер не обрадовались открытию того, что планеты вращаются по эллиптическим, а не идеально круговым, орбитам. Но позже Ньютон показал, что все эллиптические орбиты можно объяснить с помощью единой теории гравитации. Так же и наша Вселенная может быть одной из ансамбля всевозможных вселенных, ограниченных только тем требованием, что она должна допускать наше возникновение. Но отношение к этому результату как к уродству так же близоруко, как одержимость Кеплера окружностями. Ньютон, возможно, был величайшим ученым второго тысячелетия. Может быть, его коллега из третьего тысячелетия откроет математическую систему, которая управляет всем мультиверсом.

И наконец, давайте вспомним слова Хаббла из его классического труда *The Realm of the Nebulae*^{*}, опублико-

^{*} «Царство туманностей» — Прим. перев.

ванного в 1936 году: «Только по истощении эмпирического запаса мы действительно достигнем сказочного царства размышления». Мы до сих пор мечтаем и размышляем. Но со времен Хаббла, благодаря крупным наземным телескопам, прекрасному космическому инструменту, носящему его имя, и другим техническим достижениям, произошел ошеломительный эмпирический прогресс.

В науке существует три великих рубежа: очень *большое*, очень *малое* и очень *сложное*. Космология включает все три. Во-первых, космологи должны точно определить основные величины, такие, как Ω , и узнать, что такое темная материя. Я думаю, на решение этих задач вполне хватит десяти лет. Во-вторых, теоретики должны истолковать экзотическую физику очень ранних этапов, которая влечет за собой новый синтез космоса и микромира. Я проявил бы несказанную дерзость, поставив на удачное разрешение проблемы. Но космология — одновременно и одна из величайших наук об окружающей среде, и третьей целью она ставит понимание того, как Большой взрыв, описываемый простым рецептом, спустя 13 миллиардов лет развился в нашу сложную космическую родину: нитевидное расположение галактик в пространстве, сами галактики, звезды, планеты и предпосылки возникновения жизни. Ни одна из тайн в космологии не бросает бóльшего вызова, чем объяснение того, как атомы — здесь, на Земле, и, возможно, в других мирах — организовались в живые существа, достаточно сложные, чтобы размышлять над своим происхождением.

Приложение.

Масштабы структуры

В нашей Вселенной присутствуют разнообразнейшие масштабы — от меньших, чем атомы, до больших, чем галактики. В каждом из нас от 10^{28} до 10^{29} атомов. Масштаб человека в численном выражении находится между атомами и звездами. Не является совпадением то, что наибольшей сложности природа достигла на этом промежуточном масштабе: что-то более крупное, находясь на обитаемой планете, было бы неустойчиво к разрушению под действием гравитации.

Но даже ближайšie к нам звезды в миллионы раз дальше Солнца. Наша Галактика включает в себе сотни миллиардов звезд. В поле видимости наших телескопов находится по меньшей мере столько же галактик, сколько звезд в любой из них; в целом в этих галактиках содержится 10^{78} атомов.

Самые малые известные субъядерные частицы, исследованные на ускорителях, и наибольшие масштабы обзора телескопов разделяет величина, превышающая 10^{40} . А действительный диапазон масштабов, без сомнения, несравненно шире. Теоретики говорят о микромасштабе, в 10^{20} раз меньше ядра атома — как раз на отметке длины Планка.

На диаграмме А.1 представлено графическое изображение этого диапазона масштабов по осям массы и радиуса в логарифмическом масштабе. Показаны размеры черных

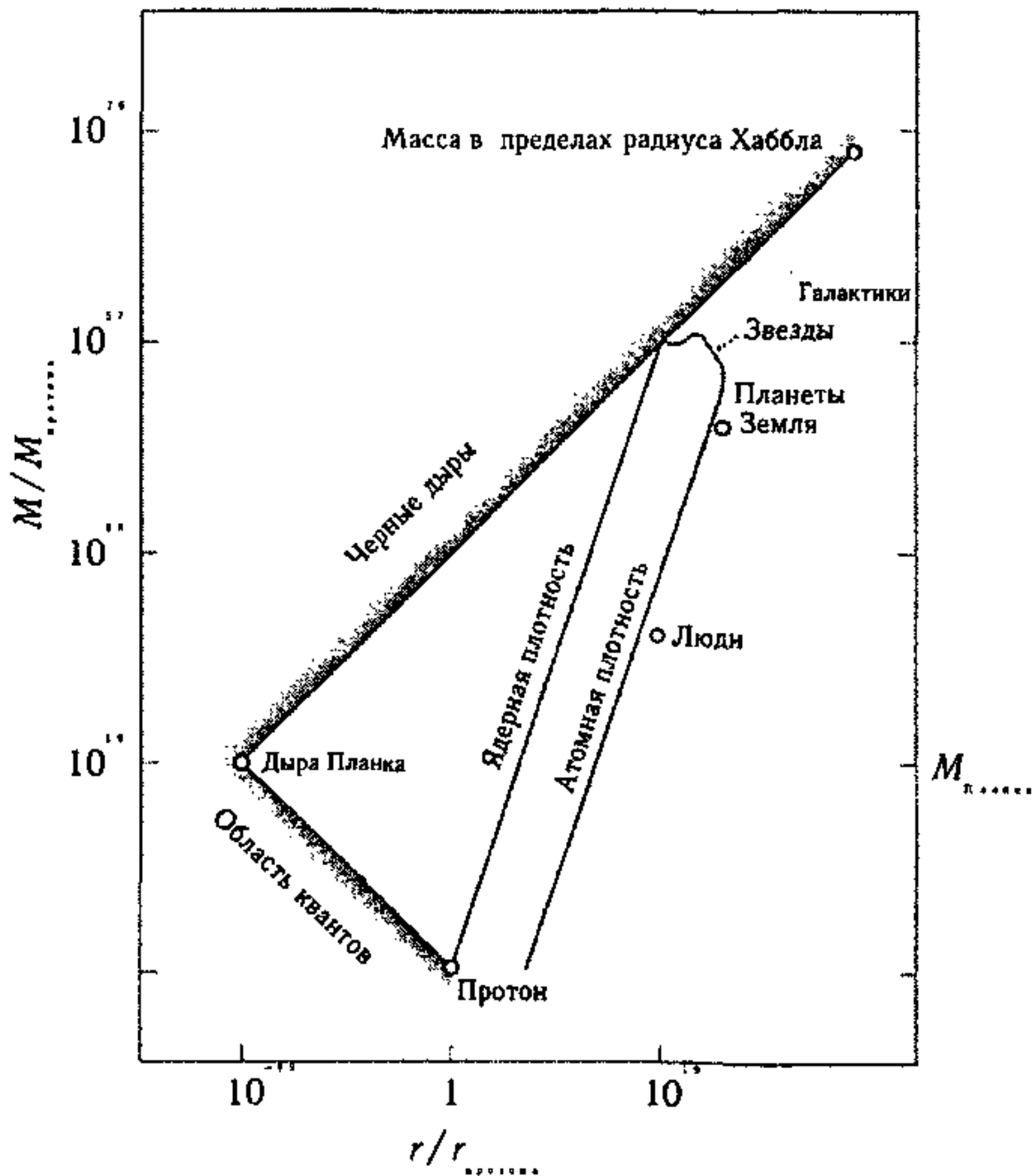


Рис. А.4. Масштаб структуры космоса.

дыр: они выстраивают наклонную линию 1 на этом логарифмическом графике. Помните, что малая дыра размером с протон равняется массе примерно 10^{39} протонов. Из-за слабости гравитации этому огромному количеству протонов приходится заполнять объем, который в обычных условиях необходим одному протону, до того как гравитация возобладает над электрическими и ядерными силами.

Обычные твердые тела — песчинки, люди и астероиды — лежат на наклонной линии 3, их масса пропорцио-

нальна радиусу, возведенному в куб. Но когда они становятся настолько массивными, что могут содержать примерно 10^{54} атомов (масса Юпитера), их начинает разрушать их собственная гравитация. Выше этого диапазона масс расположены звезды.

Радиус черной дыры, которая весит в 10^{19} раз больше протона, в 10^{19} раз меньше радиуса протона. Этот радиус равен длине Планка. Для этой дыры неопределенность ее положения, обусловленная квантовыми эффектами, так же велика, как и весь ее размер.

Наибольшие масштабы (на самом верху диаграммы) соответствуют нашей обозримой Вселенной. Темой этой книги, собственно, и является существование тесных связей между очень большим и очень малым — между внутренним и внешним пространствами, — а также то, что наш космос простирается далеко за наибольшие масштабы, здесь описанные, во много раз бóльшие степени десяти, чем весь диапазон, охваченный на диаграмме.

Примечания

Глава 1. Планеты и звезды

1. Эта подробная цитата лорда Кельвина (в то время Уильяма Томсона) приводится по изданию *Macmillian's Magazine* (5 марта 1862 года), стр. 288; этот аргумент он приводил в нескольких более поздних статьях.

2. Этот аппарат должен состоять из четырех или пяти телескопов, составленных по принципу интерферометра так, чтобы свет звезды сводился на нет интерференцией (максимумы волн от одного телескопа нейтрализуют минимумы волн от другого) и не перекрывал свет любой (много более тусклой) планеты.

Глава 2. Жизнь и разум

1. Свои комментарии Конуэй-Моррис изложил на конференции Pontifical Academy of Sciences в 2000 году. Ознакомьтесь также с его книгой *The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals* (Cambridge University Press, 1998).

Подобно тому, как можно дискутировать о том, случаен ли естественный отбор или основан на конвергенции, многие ученые полемизируют на тему, будет ли химическое основание других биосфер подобным химическим основам жизни на Земле. Белок состоит примерно из двадцати различных аминокислот, и количество возможных белков длиной в сто аминокислот — пусть даже крошечная их доля

растворима в воде и обладает химически активной поверхностью, -- несомненно, огромно по сравнению с количеством, реально существующем в нашей биосфере. Если это действительно так, внеземная жизнь, — даже если в основе ее лежит углерод, как и в случае с жизнью на Земле, — может задействовать поразительное разнообразие биохимий.

Но некоторые исследователи стояли на том, что существует, тем не менее, ограниченный набор возможных химических соединений, так же, как и только ограниченный набор строений тела. Биолог из Гарварда Джордж Уолд (в работе *Origins of Life* 5 [1974]: 7) утверждал, что это ограничение происходит из свойств хлорофилла — молекулы, которая во всех зеленых растениях улавливает солнечный свет. Эта молекула вообще-то довольно неэффективна, поскольку перехватывает только малую часть энергии Солнца, оставаясь равнодушной к наиболее интенсивной части спектра солнечного света. Сам факт, что эта молекула была отобрана в процессе естественного отбора на Земле, несмотря на ее кажущуюся условную оптимальность, навел Уолда на мысль о том, что не существует более совершенной молекулы. Тогда, по его мысли, хлорофилл мог бы быть характерным признаком жизни вокруг звезд любого цвета.

2. Планеты, подобные Земле, вызывают скорости примерно в см/сек. Такое медленное движение обычной звезды незаметно. Однако движение измеряется по-иному, если звезда является пульсаром. Ход часов определяется периодом импульсов. Если звезда приближается к нам, импульсы доходят раньше; если звезда удаляется — позже. Время прибытия импульсов можно измерить с точностью больше чем до миллисекунды; этого достаточно, чтобы выявить движения, вызываемые вращающимися планетами размером меньше Меркурия.

3. Пульсар в Крабовидной туманности, который можно увидеть в большой телескоп, испускает видимый свет, а также радиоволны. Но частота повторения импульсов, тридцать импульсов в секунду, столь высока, что глаз воспринимает пульсар как постоянный источник. Будь он таким же ярким, но вращайся медленнее — скажем, десять раз в секунду, — замечательные свойства малой звезды в

Крабовидной туманности можно было бы открыть семьдесят лет назад. Как изменился бы курс физики двадцатого столетия, если бы сверхплотную материю обнаружили в 1920-х годах, до того, как на Земле открыли нейтроны? Об этом можно только догадываться; несомненно, однако, что важность астрономии для физических наук признали бы гораздо раньше.

4. Количество начального материала сложно оценить. Некоторые звезды нашей Галактики сформировались на 5 миллиардов лет раньше Солнца. Но они наверняка сформировались из почти первичного материала. Первые системы планет, возможно, образовались только после того, как содержание галактических кислорода и кремния в нашей Солнечной системе достигло, по меньшей мере, трети от нынешнего. Тем не менее, возможно, что звезды были окружены планетами, формирование которых предшествовало формированию Солнца на 2 миллиарда лет: дольше, чем время, прошедшее с момента появления на Земле первых многоклеточных организмов.

Глава 5. Догалактическая история

1. Цитата из популярной книги Лемстра *The Primordial Atom* (Kluwer, 1953).

2. Легче всего представить, что происходило с излучением, если мысленно разделить Вселенную на ячейки кубической формы решеткой с прозрачными стенками. По мере расширения Вселенной стенки отдаляются друг от друга и все кубики увеличиваются. Если Вселенная однородна, то в каждый кубик попадает (сквозь каждую из прозрачных стенок) такое количество излучения, какое и выходит из него. Так, содержимое каждого кубика останется неизменным, если прозрачные стенки заменить зеркалами. Затем можно представить и более простое явление: расширение кубика — небольшого в масштабах космоса, — содержащего излучение, которое отскакивает от его отражающих стенок. Скорость расширения определяется свойствами Вселенной, но в противном случае физику можно рассматривать как местную науку.

3. К процентному содержанию гелия и дейтерия (тяжелого водорода), возникших из Большого взрыва, относится одно важное рассуждение. Из результатов наблюдений нам известно действительное содержание этих атомов во Вселенной. Смесь, предположительно возникшую из Большого взрыва, можно рассчитать, и она зависит от плотности атомов. Теория и наблюдения сходятся относительно того, действительно ли существует столько атомов, сколько мы наблюдаем в звездах и газе. С другой стороны, если бы во Вселенной содержалось атомов в пять или десять раз больше этого количества (которое мы видим), предполагаемая смесь, возникающая из Большого взрыва, противоречила бы наблюдениям. При более высоких плотностях реакции протекали бы быстрее: в результате получилось бы больше гелия и осталось бы недостаточно дейтерия (промежуточного продукта). Однако массу могут увеличивать, не нарушая согласованности расчетов и наблюдений этих видов атомов, дополнительные «экзотические» частицы, не участвующие в ядерных реакциях.

4. Теорию Большого взрыва можно было бы экспериментально опровергнуть следующими четырьмя способами:

а) Согласно этой теории, ранняя Вселенная содержала нейтрино — неуловимые частицы, не имеющие электрического заряда и создающиеся при радиоактивном распаде. Действительно, количество нейтрино и фотонов пришло бы в равновесие в ранней раскаленной Вселенной: тогда нейтрино, подобно фотонам, численно превышали бы обычные атомы во Вселенной примерно в миллиард раз. Это означает, что они составляли бы доминирующую массу во Вселенной, даже если бы вес одного нейтрино составлял всего одну миллиардную от веса протона. Физики обнаружили, что нейтрино могут иметь массу, но очень крошечную — возможно, столь малую, что для составления массы протона их понадобится 100 миллиардов. Тогда получается, что доля их в общей массе Вселенной ничтожна. Но предположим, что масса одного нейтрино равняется одной миллионной массы протона — опять крошечная, но больше той, что видится в действительности. Тогда теория Большого взрыва утверждала бы, что нейтрино составля-

ют слишком большую долю в массе темной материи. Тогда нам пришлось бы в спешном порядке разработать другую теорию, согласно которой фоновое излучение образовалось в истории космоса много позже, без сопутствующего образования нейтрино.

б) Как уже говорилось в предыдущем примечании, наблюдаемое количество дейтерия точно совпадает с количеством, которое, по теории, осталось после Большого взрыва, при условии, что плотность атомов равняется плотности атомов в видимой материи, а темная материя находится в какой-то другой форме. Однако если бы астрономы обнаружили *намного больше* дейтерия — скажем, $1/5\,000$ вместо $1/50\,000$, от содержания обычного водорода, — то возникла бы проблема. Такое огромное количество могло остаться после Большого взрыва только в том случае, если реакции превращения его в гелий протекали бы медленнее. Это предполагало бы *еще меньшую плотность атомов*, чем мы реально наблюдаем в звездах и газе.

в) Если бы поиски угловых флуктуаций микроволнового фонового излучения потерпели фиаско и излучение было бы, скажем, в десять раз более гладким, чем на самом деле, это повлекло бы за собой слишком малое значение Q в ранней Вселенной, чтобы сопоставить его с существованием современных крупных структур типа скоплений галактик.

г) Согласно теории Большого взрыва, температура в прошлом должна была быть выше. Когда самые отдаленные галактики испустили свет, они купались в излучении с температурой 15 градусов по Кельвину (то есть 15 градусов выше абсолютного нуля). В далеких межгалактических облаках наблюдается нагревание атомов и молекул до этой температуры: если бы обнаружилось, что температура газа со значительным красным смещением составляет всего 3 градуса по Кельвину, была бы доказана несостоятельность теории.

Глава 6. Черные дыры и машины времени

1. Ключевые концептуальные достижения в гравитационной физике с 1960-х годов можно приписать сотрудничеству и взаимодействию небольшого количества веду-

щих ученых. Почти все эти люди вышли из трех научных (исследовательских) школ — Якова Зельдовича в Москве, Джона Уилера в Принстоне и Денниса Скиамы (он был моим наставником, наставником Стивена Хокинга и многих других, сделавших вклад в теорию относительности) в Кембридже. Взаимодействие трех групп было почти уникальным по своей согласованности и конструктивности. (В книге американского теоретика Кипа Торна *Black Holes and Time Warps* [W. H. Norton, 1994] дается его личная, но очень проницательная оценка этого научного сообщества.) В этом смысле такое взаимодействие нетипично: прогресс науки обычно достигается более шумными и менее согласованными способами.

2. Цитата Джона А. Уилера, *American Scientist* 56, 1 (1998 год).

3. Цитируется по лекции С. Чандрасекара, напечатанной в *Truth and Beauty* (Chicago University Press, 1987 год), стр. 54.

4. Взгляды Пенроуза относительно черных дыр и других приведенных здесь вопросов собраны в его книге *The Emperor's New Mind** (Oxford University Press, 1998 год).

Глава 7. Ускорение или замедление?

1. Гравитационное притяжение зависит не только от плотности, но от (плотности) + 3(давление/ c^2). Если бы Вселенную заполняла материя с большим отрицательным давлением (например, подобном растяжению), то второе слагаемое может перевесить первое и вызвать главное качественное изменение: вместо того чтобы замедляться, расширение в действительности ускоряется. Вот простое объяснение тому, почему давление, связанное с энергией вакуума, должно быть отрицательным. Если обычный газ расширяется при толкании поршня, то выходит он более охлажденным — иными словами, он обладает меньшей тепловой энергией. Разница представляет собой энергию, потраченную на движение поршня. Но

* Имеется русский перевод этой книги — «Новый разум императора» — Прим. перев.

если бы в вакууме была энергия, то расширение некоего объема породило бы больше энергии, что означает, что вместо получения энергии на толчок поршень должен был бы ее *отдавать*. Следовательно, поршень должен быть вытолкнут так, как будто бы он преодолевает растяжение или отрицательное давление. Этот противоречащий интуиции вывод так же важен для ранней инфляционной фазы существования Вселенной так же важен, как и сегодня, если в динамике Вселенной господствует энергия пустого пространства (лямбда), или квинтэссенция.

2. У физиков нет какой-то особой концепции о квинтэссенции; они считают ее дополнительным полем, заполняющим Вселенную. Еще более необычно предположение о том, что квинтэссенция суть проявление дополнительных измерений: если бы в другом трехмерном пространстве, обособленном от нашего в дополнительном измерении, существовала параллельная вселенная, то гравитационное взаимодействие двух вселенных породило бы поле, имеющее свойства квинтэссенции, причем его напряженность зависела бы от близости двух пространств.

3. Подобное смещение произошло в связи со смесью элементов (как рассказывалось в главе 2). Вплоть до 1920-х годов не было известно, что в тяжелых элементах содержится всего 2% атомов. Понадобилось довольно продолжительное время для того, чтобы понять значение этого ключевого факта, так как ни водород, ни гелий не видны в свете звезд, тогда как звездные спектры содержат широкие полосы, обусловленные другими атомами. Также несомненно, что эти летучие элементы на Земле и других внутренних планетах представлены в очень малом количестве.

Глава 8. Перспективное будущее

1. Количество хранимой информации реально ограничивается площадью поверхности. Эта зависимость означает, что черная дыра определенного размера содержит количество информации, зависящее от квадрата массы дыры. Аналогично, количество информации, способное со-

храняться в ускоряющейся Вселенной, зависит от площади ее горизонта.

2. Цитата из статьи Дж. Острайкера и П. Штейнгардта в *Scientific American*, январь 2001 года.

3. Доклад В. Бусы, Р. Л. Джаффе, Дж. Сандвайсса и Ф. Вильчека, *Reviews of Modern Physics* 72 (2000): 1125–37. См. также: А. Дар, А. де Рухула и У. Гайнц, *Phys. Lett. B* 470 (1999): 142–48. Разумная критика поднятых вопросов дается Ф. Калоджеро в *Interdisciplinary Science Reviews* 25 (2000): 191–202. Той же теме посвящена и работа Грега Бенфорда *COSM*.

Глава 9. Как все началось...

1. Именно эти эксперименты с тяжелыми ионами вызвали беспокойство ученых (о котором упоминается в главе 8) по поводу того, что существует риск быстрого превращения всего в странную материю.

2. В простейшей ситуации это означало бы, что величина Ω , определяющая плотность Вселенной, должна равняться 1. Однако, как уже рассказывалось выше, оказывается, что атомов и темной материи достаточно для того, чтобы Ω равнялась только 0,3. Вот почему за утверждение об отличной от нуля лямбде, или квинтэссенции, так энергично ухватились: эти экзотические формы энергии могут покрыть недостаток и удовлетворить предсказанию о плоскостности.

Глава 10. Космос и микромир

1. Побуждение Дирака к предположению того, что G неуклонно уменьшается в любом случае, кажется расходящимся с нашей современной перспективой. Как описывается в главе 3, Роберт Дик понял, что время жизни, равно, как и размер, звезд определяется очень большой величиной, отражающей слабость гравитации в атомном масштабе. Он заметил, что мы не наблюдаем Вселенную в случайное время. Естественно, что мы присутствуем в эру, когда звезды уже сформировались, но не все они умерли — другими словами, когда возраст Вселенной, в грубом

приближении, равняется времени жизни звезд. В ту эпоху радиус Хаббла равнялся бы возрасту типичной звезды, помноженному на скорость света, поэтому приблизительное согласование Дирака выполнялось бы автоматически. В природе есть одна критическая величина, 10^{39} , имеющая отношение к слабости гравитации, а уже с ней напрямую связаны остальные.

2. Количественные результаты реактора в Окло для неизменности различных физических «постоянных» проанализированы и уточнены Ф. Дж. Дайсоном и Т. Деймуром в *Nuclear Physics B480* (1996): 37–54. Эта статья дает ссылку на предыдущую работу.

3. Классическим примером этой точки зрения является работа Филипа Андерсона «*More Is different*», *Science* 177 (1972): 393–96.

4. Результатом отмены SSC стало то, что CERN, международная лаборатория в Женеве, десятилетия бывшая европейским средоточием исследований элементарных частиц, становится всемирной лабораторией, которую привлекают для исследований ученые США, Японии, России и других стран. Это новое европейское господство на поприще физики частиц контрастирует с ситуацией, сложившейся в исследованиях космоса, где усилия Европы меньше, чем усилия NASA, и участие Европейского космического агентства в крупнейших проектах, вроде Hubble Space Telescope, всегда было незначительным. Такова теперь — пусть по стечению обстоятельств, нежели тщательному планированию — благоприятная трансатлантическая взаимодополняемость двух «крупных наук», космических исследований и физики частиц, где аппаратура столь дорога, что дублирование ее было бы расточительством.

5. См.: Стивен Вайнберг *Dreams of a Final Theory* (Pantheon, 1993).

6. В работе П. Медавара *Advice to a Young Scientist* (Oxford University Press, 1979)

Глава II. Законы и устав в мультиверсе

1. Цитата из работы Джона Полкингхорна *Quarks, Chaos and Christianity* (SPCK Triangle, 1994).

2. Доказательство, приведенное здесь — о том, что мы считаем нашу Вселенную особенной только в той степени, которая обусловлена нашим существованием, но не более, — можно было использовать столетие назад для опровержения «гипотезы флуктуаций» Людвигу Больцмана. Его настораживала стрела времени: он считал, что все является флуктуацией в бесконечном космосе, в котором повсеместно отсутствует разделение между прошлым и будущим. Если бы он был прав, то намного вероятнее было бы признать краткую флуктуацию, создавшую один разум, заполненный воспоминаниями и ощущениями, чем весь завершённый космический узор. До тех пор, пока мы не ударились в солипсизм, утверждающий иллюзорность огромной внешней Вселенной, действительная флуктуация видится крайне обширной (и более невероятной), чем неминуемо предполагало бы наше существование. Такие аргументы были бы губительны для гипотезы Больцмана.

3. До проверки своей гипотезы Смолину необходимо детализировать ее, особенно в выражении точного определения «оптимума». Например, следует ли оптимизировать скорость формирования, плотность пространства или общее количество черных дыр во Вселенной?

4. Безусловно, наиболее всеобъемлющее исследование данного предмета — это *The Anthropic Cosmological Principle* Дж. Д. Барроу и Ф. Типлера (Oxford University Press, 1986). Термин «антропный принцип», на мой взгляд, неудачен и включает в себе претенциозный скрытый смысл. Лучше подходит фраза «антропное обоснование». Многие теоретики с пренебрежением относятся к антропным аргументам как к увертке или «затычке» — способу укротить наше любопытство, когда у нас нет «верного» объяснения. Очевидно, нам стоит стремиться объяснить наибольшее количество положений физического мира с помощью фундаментальных формул. Но успех не гарантирован: в сущности, некоторые значимые величины в космическом окружении могут оказаться случайными и не имеющими фундаментального объяснения более того, что существует для подробной формы отдельной снежинки или точных орбит планет.

Предметный указатель

- 51 Персей 23
- «1984» (Оруэлл) 41
- «2001» (Кларк) 41
- « $E = mc^2$ » 20, 108, 135
- NASA 24, 28–29, 181
- Reviews of Modern Physics* 114
- Аллен, Вуди 115
- Альфер, Ральф 73
- Антигравитация см. Энергия вакуума
- Антиматерия против материи 124–125
- Антропный аргумент 163, 163–164, 166, 182
- Армстронг, Нил 41
- Астероиды 40–41
- Астролябии 63
- Астрономия 63, 120
- Атомы и гравитация 54–56
- изменения в физике 138–139
 - как рождающиеся во взрывах звезд 50, 52
 - относительное содержание/количество 124, 142, 150
 - распад 115
 - расположение 53–54
 - состав 19–20
 - спектры света 45–46
 - ядерные силы в 52–53, 137
- Барий 49
- Барионы 110, 124
- Барроу, Джон 118
- Батлер, Пол 24, 25
- Беккерель, Анри 19
- Бентли, Ричард 83
- Бербидж, Джеффри 50
- Бербидж, Маргарет 50
- Бете, Ханс 20
- Бинни, Джеймс 67
- Больцман, Людвиг 181–182
- Большие взрывы, другие 129–130, 148, 158, 166
- Большое сжатие 114, 119, 126
- Большой взрыв см. Темная материя, Начало Вселенной
- введение термина 72–73
 - достоверность/доказательства 74–75, 75, 88, 87–90, 176–177
 - знание о 70–71
 - и температура ядра Солнца 20
 - и теории Великого объединения 139–140
 - инициирование взрывом 126

- послесвечение 109
- ранние защитники теории 73–74
- частицы, произведенные 79–80
- элементы, произведенные 51, 54, 76, 77, 139, 175–176
- Бонди, Герман 73
- Браунли, Дональд 32
- Брукхейвенская национальная лаборатория 122
- Бруно, Джордано: «О бесконечности, Вселенной и мирах» 30–31
- Будущее, долгосрочное 112–119
 - — Большое сжатие 114, 119
 - — безрадостность 112–113
 - — и будущее жизни 112–119, 178–180
 - — смерть звезд 112
 - наблюдение 95–96
 - предсказание 101–103
- Бунзен, Роберт 45

- Вавилоняне 101
- Вайнберг, Стивен 145
- Вайцзеккер, Карл-Фридрих фон 20
- Великая Стена 58
- Великого объединения теории 139–140, 142–144, 146–147
- Венера 22, 24
- Взрыв кембрийского периода 33
- Взрывы 126
- Вигнер, Юджин 144
- Виленкин, Алекс 158
- Вильсон, Роберт 74, 75
- Вильчек, Франк 161
- Висмут 49
- Внегалактическая перспектива 57–71
 - другие галактики 57–58
 - и история Млечного Пути 68, 68–71
 - и телескопы 63–67
 - крупная структура/расширение 58, 59–60, 60–63
- Внеземные объекты см. Жизнь и разум
- Водород 19, 46, 49
 - далекие облака 77–78
 - и спектры света звезд 178
 - образованный Большим взрывом 51, 76
- Водородная бомба 20
- Вольшан, Алекс 35, 36
- Воннегут, Курт: «Лед-девять» 118
- Вращение 135–136, 140
- Время 140, 143, см. также Искажение времени-пространства
- Вселенная см. также Расширение Вселенной; мультиверс
 - гладкость 69, 103
 - как подмножество мультиверса 154–155
 - определение 155
 - простота 103
 - размер 69–70, 77, 129, 137, 180
 - случайности в 148–149
 - центр 63
- Гёдель, Курт 96, 136
- Галактики, газ, проходящий цикл в 50, 51, 52, 67
 - количество 57, 170–171
 - обнаружение 63
 - понимание 57
 - развитие против эволюции 85
 - свет из 138–139
 - скопления/распределение 57–58, 59, 63, 78, 90, 120
 - темная материя в 57
- Галилео Галилей 30, 66, 168
- Галлей, Эдмунд 101
- Галлея комета 101
- Гамма-лучи 125

Гамов, Георгий 20, 54, 72
 Ганимед 29
 Гейзенберга принцип неопределенности 53–54, 123
 Гелий 20, 46, 49
 — и спектры света звезд 178
 — образованный Большим взрывом 51, 54, 76, 77, 139, 175–176
 Геометрия, неевклидова 143
 Герман, Роберт 73
 Гершель, Уильям 31
 Гипотеза флуктуаций 181–182
 Глюоны 52
 Голд, Томас 73
 Голдин, Дэн 24
 Горизонт 157
 Готт, Ричард 96
 Гравитация *см. также* Черные дыры; Общая теория относительности
 — гравитационная постоянная 136–138, 180
 — гравитационное излучение 112–113
 — гравитационное притяжение 108, 178
 — гравитационной физики исследователи 93, 177
 — гравитационные волны 130
 — закон Ньютона 78, 79, 120, 137, 168
 — и антигравитация 107
 — и атомы/звезды 54–56
 — и догалактическая сложность 81, 82, 83–85
 — и расширение Вселенной 127–128
 Гут, Алан 158, 159

 ДНК 53
 Дайсон, Фримен 114–116
 Дарвин, Чарльз 17–18
 Дарвин, проект 24, 173
 Двухмерное пространство 140, 158–159

Девы созвездие 57
 Дейтерий 54, 76, 77, 139, 175–176
 Джаккони, Рикардо 66
 Дик, Роберт 55, 74, 180
 Динозавры 33–34
 Дирак, Поль 136–137, 180
 Догалактическая история 72–90, *см. также* Начало Вселенной; Большой взрыв
 — гравитация в 77, 78
 — и гравитация/сложность 81, 82, 83–85
 — и фактура космоса 85–87, 150–151
 — излучение в 74–75, 75, 87, 175, 177
 — темная материя в 77–81, 175–176
 — теплота в первые минуты 76
 — элементы в первые минуты 76, 77
 — эры 89
 Доплера эффект 23

 Европа 29
 Европейское космическое агентство 29, 181
 Европы космическая программа 24, 29, 173, 181
 Естественная теология 153–154
 Естественный отбор 17–18, 34, 112, 153, 174

 Железо 49, 76
 Жизнь и разум 27–41
 — Бруно о 30–31
 — будущее 112–119, 178–180
 — вероятность 27–30, 129
 — и экологическое подобие 39
 — как уникальное для Земли 39–40
 — по отношению к другим звездам 37–41, 175
 — поиски 37–38
 — предпосылки 32, 149–150

- происхождение/развитие 32–34, 174
- распространение с Земли 40
- экзотичные формы 34–37
- Закон защиты хронологии 97
- Законы математические 145
- Законы природы 145, 162, *см. также* Законы физики
- Законы физики, как меняющиеся 136–140, 180
 - как уникальные 161–162
- Застывшие звезды *см.* Черные дыры
- Затмений предсказание 101
- Звезды 17–25, *см. также* Солнечная система; Солнце
 - газ, проходящий цикл в 50, 51, 52
 - и гравитация 54–56
 - определение 54
 - понимание 57
 - применение фотографии для изучения света 45
 - развитие против эволюции 85
 - скопления 46, 48
 - смерть 112
 - содержание элементов в 45–46, 46, 49, 51, 178
 - состав 44–46, 138
 - столкновения 112
 - формирование 175
 - цикл жизни и массы 46, 47, 48–50
- Зельдович, Яков 93, 177
- Землетрясения 101–102
- Земля, астероидов угроза 40–41
 - вид из космоса 27–28
 - возраст 18–19
 - ожидаемая смерть 103
 - орбита 167
 - развитие жизни на 33–34
 - условные характеристики 148–149
- Излучение 65–66
 - в догалактической истории 74–75, 75, 87, 175, 177
 - гравитационное 112–113
 - черных дыр 94
- Измерения другие 140–144
- Израэль, Вернер 131
- Илем *см.* Большой взрыв
- Инерциальная система координат 135–136
- Инквизиция 30
- Инфляции теория 108, 111, 128–130, 178–180
- Инфракрасное излучение 65
- Ипсилон Андромеда 24
- Искажение пространства-времени 66, 91–93, 95–96
- Исследование космоса 24, 29, 41–43, 173, 181
- Калифорнийский технологический институт 50
- Квантовая теория 19–20, 53–54, 123, 140, 143, 144
- Квантовые флуктуации/рябь 130
- Кварки 52, 118
- Квинтэссенция 109, 111, 117, 178, 180
- Кело, Дидье 23
- Кельвин, лорд 18, 19
- Кеннеди, Джон Ф. 41–42
- Кеплер, Иоганн 166–168
- Керр, Рой 93, 94
- Кирхгоф, Густав 45
- Кислород 28
- Кларк, Артур С.: «2001» 41
- Клинтон, Билл 29
- Компьютерные технологии, достижения 90, 131
- Космическая программа США 24, 41–42, 181
- Космические струны 96
- Космический исследовательский корабль «Викинг» 28

- Космический исследовательский корабль «Гюйгенс» 29
 Космологические споры, век семнадцатый 168
 Космология, будущее 130–132, 168–169
 — достоверность 120
 — и религия 121, 141, 153–154, 159
 Космос и микромир 135–147
 — Вселенная как возникшая из ничего 135
 — вращающиеся вселенные 135–136
 — гипотетические пределы, 144–147
 — и физические законы как меняющиеся 136–140, 180
 — измерения, другие 140–144
 — недостаточные знания о 145–146
 — теории Великого объединения 139–140, 142–144, 146–147
 Крабовидная туманность 35–36, 48, 65, 174–175
 Красное смещение 61–63, 90, 94, 157
 Красный свет 65
 Кэмерон, Элистер 50
- Лаборатория CERN (Женева) 122, 181
 «Лед-девять» (Воннегут) 118
 Леметр, Жорж 72, 73
 Лесли, Джон 152–153
 Ли, Ли-Ксин 96
 Линде, Андрей 158
 Линкос 37
 Литий 51, 54
 Логарифмическое время 122–123
 Логика 145
 Луна 41–42
 Лямбда см. Энергия вакуума
- М-теория 143
 Майор, Мишель 23
 Мандельброта множество 152
 Марс 28–29
 Марси, Джеффри 24, 25
 Материя против антиматерии 124–125
 Мах, Эрнст 135
 Маха принцип 135–136
 Медавар, Питер 146–147
 Международная космическая станция 24, 42
 Менделеев, Дмитрий 19
 Местная группа 57
 Метан 28
 Метеориты 28–29
 Микроволны 65, 74, 77, 130
 Микромир и космос см. Космос и микромир
 Миссия Кассини 29
 Млечный Путь, будущее 112, 116
 — история 68, 68–71
 — размеры/форма 57, 67, 170
 — черные дыры в 93
 «Множественности миров» теория 159
 Моррис, Саймон Конуэй 34
 Мультиверс 148
 — Большие взрывы, другие 129–130, 148, 158, 166
 — и мнение семнадцатого века 167–168
 — и наблюдаемость 156, 155–158
 — и провиденис/замысел 153–154
 — и простота 167–168
 — и сходимость/случайность 152–153
 — и черные дыры 148, 158, 165–166, 182
 — наша Вселенная как подмножество 154–155
 — определение 155
 — предпосылки 149–151

- сценарии для 158–161
- теории проверки 165, 164–167, 181–182
- универсальные законы против местных постановлений 161–163, 163
- Мэтер, Джон 74
- Наблюдаемость 156, 155–158
- Начало Вселенной 120–132, см. Большой взрыв
 - и логарифмическое время 122–123
 - и материя против антиматерии 124–125
 - и отслеживание цепи случайностей 120–121, 135
 - и принцип неопределенности Гейзенберга 123
 - и эксперименты с тяжелыми ионами 122, 180
 - неопределенности основной физики 89
 - причины расширения 127, 125–130, 180
 - установленная точка начала для 126
 - экстраполяция назад к первой миллисекунде 122–125
- Нейтрино 142–143, 176
- Нейтронные звезды 35–37, 53–175
- Нейтроны 53
- Новиков, Игорь 93, 98
- Ньютон, Исаак 102–103
 - влияние 141
 - закон гравитации 78, 79, 120, 137, 168
 - о вращении 135
 - о происхождении структуры космоса 83
 - об орбитах планет 120–121
 - опыт с призмой 44
 - религиозные возражения 121
- «О бесконечности, Вселенной и мирах» (Бруно) 30–31
- Обратных квадратов закон 140–142, 144, 153
- Обратных кубов закон 140–141
- Общая теория относительности, и черные дыры 93–94
 - измерение эффектов 160–161
 - о давлении 108
 - об искажении времени–пространства 66–96
 - против ньютоновой физики 78, 79, 144
 - совпадение затмений 144
- Общей теория относительности, эстетическая привлекательность 144
- Объяснение научное 101–102
- Объяснения 101–102, 145
- Обязательность против случайности 162–163
- Озон 28
- Оккама бритва 155
- Окло, шахта (Габон, Западная Африка) 138–139
- Омега (мера плотности) 105, 168, 180
- Ориона туманность 22
- Оруэлл, Джордж: «1984» 41
- Параллельные вселенные см. Мультиверс
- Пейли, Уильям 141, 153–154
- Пензиас, Арно 74, 75
- Пенроуз, Джордж 94, 130
- Первая миллисекунда см. Начало Вселенной
- Первозданный атом см. Большой взрыв
- Периодическая таблица элементов 19–20, 52
- Пиблз, Джеймс 74
- Пинкер, Стивен 145
- Планеты 17–25, см. также Солнечная система
 - обнаружение 22–24, 173, 174

- орбиты 120–121, 140–141, 166–168
- подобные Земле 24–25, 31–32, 35, 174
- подобные Юпитеру 25
- происхождение 21–23
- Планк, Макс 87
- Планка масштаб 123, 140–142, 171
- Плоскостность Вселенной 109, 109–111, 128–129, 180
- Плотности измерение 105, 168, 180
- Полкингхорн, Джон 154
- Предсказание 104, 101–105
- Провидение/замысел 153–154
- Прогнозы погоды 102
- Промысла Божьего аргумент 141, 153, 159
- Проплиды (диски протопланет) 22–23, 121
- Простота 167–168, *см. также* Сложность
- Протоны 53–54, 124–125
- Пульсары 36, 174–175
- Пустое пространство 107–108, 118, 178
- Путешествие во времени/машины времени 96–98, 117, 136
- Пэйн, Сесилия 46

- Радиоактивность 142–143
- Радиополоса 65
- Разум *см.* Жизнь и разум
- Расширение Вселенной 58, 59–60, 60–63
 - замедление 104, 103–105
 - и гравитация 127
 - причины 127, 125–130, 180
 - проблема прекрасного выхода 128
 - разрушающее действие 116
 - скорость 126–127, 127
 - ускорение 105–110, 116, 117, 178
- Религия 121, 141, 153–154, 159
- Рентгеновские лучи 65, 66, 90
- Ресселл, Генри Норрис 46
- Риман, Георг Фридрих Бернгард 143
- Ролл, Пол 74
- Рэндалл, Лиза 158

- Саган, Карл 28
- Салшетер, Эдвин 52
- Самарий 139
- Сахаров, Андрей 124
- Сверхновые 35–36, 48, 49, 126
 - первого типа 106–107
- Свобода воли 97–98
- Силовых линий доказательство 140–142
- Сильное ядерное взаимодействие 142–143
- Скиама, Деннис 177
- Скорость света: путешествие со скоростью, близкой к 95–97
- Слабые ядерные силы 142–143
- Сложность *см.* Простота
 - и гравитация 81, 82, 83–85
 - понятность 147
 - пределы 116–117
- Случайность против обязательности 162–163
- Случайность/совпадение 152–153
- Смолин, Ли 158, 159, 165–168, 182
- Снежинки 162
- Снимки Hubble Deep Field 69, 70, 72
- Солнечная система *см. также* планеты
 - возраст 69
 - теория катастрофная 21–22
 - теория проплитов 22–23, 121
- Солнечные системы, другие 22–24
- Солнце, ожидаемая гибель 103
 - орбита 57

- расчет синтеза в 20
- состав 45–46
- спектр света 44–45
- температура ядра 20
- цикл жизни 18–19, 20, 20–21
- Спектр света 23, 44–46, 64–65
- Спутник COBE (Cosmic Background Explorer) 74, 75, 86, 87
- Стандартная модель 160
- Степлдон, Олаф: «Создатель звезд» 140, 159–160
- «Столкновение с бездной» 40
- Странная материя 118–119, 180
- Структуры масштаб 171, 170–173, см. также Планка масштаб
- Сундрум, Раман 158
- Схождение/случайность 152–153

- Твердого тела масса 173
- Телескоп OWL 64
- Телескопы 63–67, 90, 157
- Телескопы Ксск (Гавайи) 63, 90
- Темная материя 57, 77–81, 105, 110, 150, 168, 175–176
- Темная энергия 110, 128, 167
- Температура, фоновая 89–90, 109, 109, 130
- Теории великого объединения см. Великого объединения теории
- Теория неизменного состояния 107
- Теория относительности см. Общая теория относительности
- Теория равномерного взрыва 87
- Теория стационарности 73, 74, 87
- Теория суперструн 141, 143–144
- Теплота удельная 84
- Термодинамики второй закон 81
- Тиллер, Фрэнк 119
- Титан 29
- Торий 49
- Тремэйн, Скотт 67
- Трехмерное пространство 140–141, 158–159
- Туманность Андромеды 57, 67, 107, 112, 116
- Туманность Орла 46, 48

- Углерод 49, 52–53
- Уилер, Джон 159, 177
- Уилкинсон, Дэвид 74
- Уилсон, Е. О. 121
- Уильям из Оккама 155
- Ультрафиолет 65
- Уолд, Джордж 174
- Уорд, Роберт 32
- Уран 19, 49, 138–139
- Уран (планета) 31

- Фактура Вселенной 85–87, 150–151
- Фарадей, Майкл 140–142
- Фаулер, Уильям 50
- Ферми, Энрико 37
- Физика 90, 145
- Физика частиц 145, 181
- Фиолетовый свет 65
- Форвард, Роберт 37
- Фотоны 123–124, 176
- Фрактальные вселенные 58, 60, 60–61
- Фраунгофер, Йозеф фон 44
- Фройденталь, Ганс 37
- Фундаментальная теория, нумерологическая 142, 143

- Хаббл, Эдвин 61, 63, 168
- Хаббл, космический телескоп 63–64, 69, 70, 90, 181
- Хаббла закон 61–63, 107
- Хаббла радиус 137, 180
- Хаггинс, Уильям 45
- Харрисон, Эдвард 159
- Хаяши, Ситору 73

- Химия 145
 Хлорофилл 174
 Хойл, Фред 50, 52–53, 72–73, 87
 — «Черное облако» 115
 Хокинг, Стивен 177
 Хранения информации пределы 116–117, 178–180
- Цвикки, Фриц 78
- Чандрасекар, Субраманьян 93–94
 Часы 63
 Человечество, угроза для 40–41
 Чемберлен, Томас 18–19
 Червоточины 97
 «Черное облако» (Хойл) 115
 Черные дыры 91–96
 — введение термина 93
 — и гравитационное притяжение 178–180
 — и мультиверс 148, 158, 165–166, 182
 — искажение пространства-времени в 91–93, 95–96
 — количество/размер 93–95, 173
 — обнаружение/понимание 93–94, 94
 — разрушение 113
 — формирование 91–94
- Шарлье, Карл В. Л. 60
 Шредингера уравнение 144
 Штейнгардт, Пауль 118
- Эверетт, Хью 159
 Эволюция, биологическая 17–18, 84–85, см. также Естественный отбор
 Эддингтон, Артур 142, 143
 Эйнштейн, Альберт 136, см. также Общая теория относительности
 — « $E = mc^2$ » уравнение 20, 108, 135
 — единой теории поиски 142
 — неевклидова геометрия, использованная 143
 — неизменного состояния теория 107
 Эксперименты с тяжелыми ионами 122, 180
 Электрический заряд 124
 Электромагнитный спектр 64–65
 Электроны 53–54
 Элементы 19–20, 52, 76, 77, 110–111, 178, см. также Особые элементы
 Энергии недостаток 135
 Энергия вакуума 107–111, 118, 164–165, 165, 178, 180
 Энтропия 81
- Юпитер 22, 55
- Ядерный синтез 20
 Янг Вей Те 35–36

Интересующие Вас книги нашего издательства можно заказать почтой или электронной почтой:

subscribe@rcd.ru

Внимание: дешевле и быстрее всего книги можно приобрести через наш Интернет-магазин:

<http://shop.rcd.ru>

Книги также можно приобрести:

1. Москва, ФТИАН, Нахимовский проспект, д. 36/1, к. 307, тел.: 332-48-92 (почтовый адрес: Нахимовский проспект, д. 34).
2. Москва, ИМАШ, ул. Бардина, д. 4, корп. 3, к. 414, тел. 135-54-37.
3. МГУ им. Ломоносова (ГЗ, 1 этаж).
4. Магазины:
Москва: «Дом научно-технической книги» (Ленинский пр., 40)
«Московский дом книги» (ул. Новый Арбат, 8)
«Библиоглобус» (м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6)
С.-Пб.: «С.-Пб. дом книги» (Невский пр., 28)

Рис Мартин

НАША КОСМИЧЕСКАЯ ОБИТЕЛЬ

Дизайнер М. В. Ботя

Технический редактор А. В. Ширококов

Компьютерная верстка С. В. Высоцкий

Корректор З. Ю. Соболева

Подписано в печать 19.12.02. Формат 80 × 100¹/₃₂.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,88. Уч. изд. л. 8,75.

Гарнитура Таймс. Бумага офсетная №1.

Тираж 1300 экз. Заказ № 5523.

АНО «Институт компьютерных исследований»

426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1.

Лицензия на издательскую деятельность ЛУ №084 от 03.04.00.

<http://rcd.ru> E-mail: borisov@rcd.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных диапозитивов на ФГУИПП «Вятка», 610033, г. Киров, ул. Московская, 122.

ISBN 5-93972-184-2



9 785939 721844

интернет-магазин

OZON.RU



19901785