

Происхождение
ВСЕГО

David Bercovici

the **ORIGINS** of
EVERYTHING

in 100 Pages
(More or Less)

Yale University Press
NEW HAVEN AND LONDON

Дэвид Берковичи

Происхождение ВСЕГО

От Большого взрыва
до человеческой цивилизации

Перевод с английского



ТРАЕКТОРИЯ



АЛЬПИНА НОН-ФИКШН

Москва

2017

УДК 001.92:524.85
ББК 22.68
Б48

Переводчик Михаил Безруков
Научный редактор Владимир Сурдин
Редактор Владимир Потапов

Берковичи Д.

Б48 Происхождение всего: От Большого взрыва до человеческой цивилизации / Дэвид Берковичи. — М.: Альпина нон-фикшн, 2017. — 202 с.

ISBN 978-5-91671-765-5

Невероятно компактный рассказ геофизика Дэвида Берковичи о том, как все везде появилось: звезды и галактики, атмосфера Земли, океаны, клетка и, наконец, человеческие цивилизации, написан трепетно и талантливо. Сочетая юмор и безупречную научную канву, Берковичи с головокружительной скоростью проводит нас сквозь пространство и время — почти 14 млрд лет, показывая при этом связи между теориями, помогающие понимать такие темы, как физика частиц, тектоника плит и фотосинтез. Уникальный эксперимент Берковичи в равной мере впечатляет научной убедительностью и литературным мастерством и станет незабываемым опытом знакомства с вопросами космологии, геологии, климатологии, человеческой эволюции как для искушенного читателя, так и для новичка.

УДК 001.92:524.85
ББК 22.68

Издание подготовлено в партнерстве с Фондом некоммерческих инициатив «Траектория» (при финансовой поддержке Н.В. Каторжнова).



ТРАЕКТОРИЯ

Фонд поддержки научных, образовательных и культурных инициатив «Траектория» (www.traektoriafdn.ru) создан в 2015 году. Программы фонда направлены на стимулирование интереса к науке и научным исследованиям, реализацию образовательных программ, повышение интеллектуального уровня и творческого потенциала молодежи, повышение конкурентоспособности отечественных науки и образования, популяризацию науки и культуры, продвижение идей сохранения культурного наследия. Фонд организует образовательные и научно-популярные мероприятия по всей России, способствует созданию успешных практик взаимодействия внутри образовательного и научного сообщества.

В рамках издательского проекта Фонд «Траектория» поддерживает издание лучших образцов российской и зарубежной научно-популярной литературы.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу nylib@alpina.ru.

© 2016 by David Bercovici
Originally published by Yale University Press

ISBN 978-5-91671-765-5 (рус.)
ISBN 978-0-300-21513-7 (англ.)

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
1 Вселенная и галактики	11
2 Звезды и элементы	29
3 Солнечная система и планеты	43
4 Континенты и строение Земли	65
5 Океаны и атмосфера.....	93
6 Климат и пригодность для жизни.....	113
7 Жизнь	139
8 Человек и цивилизации	163
Для дополнительного чтения.....	179
Благодарности	187
Предметно-именной указатель.....	189

ПРЕДИСЛОВИЕ

Историю Вселенной, пожалуй, лучше всего писать вспять. Разумеется, не набирая текст от конца к началу, а выстраивая рассказ в обратном хронологическом порядке. Притягательность момента творения и для религиозного, и для научного мышления объясняется нашим интересом к тому, как мы оказались там, где находимся сейчас. Если начать с настоящего момента и отмотать пленку назад на 7000 лет человеческой истории, то мы увидим, что далее перед нами простираются еще 7 млн лет до самой зари человечества. Как бы ошеломительно это ни звучало, но нас ждут еще 600 млн лет до появления животных, 3 млрд лет до момента зарождения жизни, ну и еще какой-нибудь жалкий миллиард до рождения нашей планеты и Солнечной системы. А уж из той точки открываются еще 9 млрд лет до момента возникновения самого времени. Если бы мы могли прокрутить историю Вселенной назад за сутки, как невыносимо длинный авангардистский фильм, то история человечества заняла бы в нем примерно 0,04 секунды и закончилась задолго до того, как с экрана исчезнут вступительные титры. Первые животные появились бы спустя час с начала просмотра; еще семь с лишним часов нам пришлось бы ждать сцен формирования Земли и Солнечной системы и затем промучиться еще 16 часов, чтобы наконец добраться до возникновения Вселенной.

Но как бы ни соблазнительно было вести рассказ об истории Вселенной «из настоящего в прошлое», хронологический подход оказывается значительно более продуктивным, тем более что мы привыкли мыслить и жить в мире, где все «устремлено вперед». В этой небольшой книге я изложу историю в ускоренном темпе не за 24 часа (хотя все зависит от тебя,

дорогой читатель), а скользя по поверхности событий и останавливаясь лишь на важнейших из них. Книга охватывает самые знаменательные моменты в истории Вселенной, показывая, когда и, самое главное, как появились различные ее части. Понятие «происхождение» глубоко укоренилось в науке. Речь идет не о мифах и домыслах, а о важнейших научных гипотезах, объясняющих, как возникло все сущее. Разница между домыслом и гипотезой принципиальная. Исследователи могут опровергнуть или признать ложной гипотезу в ходе экспериментов или наблюдений, поскольку гипотеза — это предсказание, поддающееся проверке и измерению. Проверяемая гипотеза, пожалуй, стала основополагающим научным понятием, и, хотя кому-то такого рода материи могут показаться сухими, я надеюсь донести до читателя всю красоту этого понятия, рассматривая истории происхождения. Но не волнуйтесь, слишком усердствовать с красотой я не собираюсь.

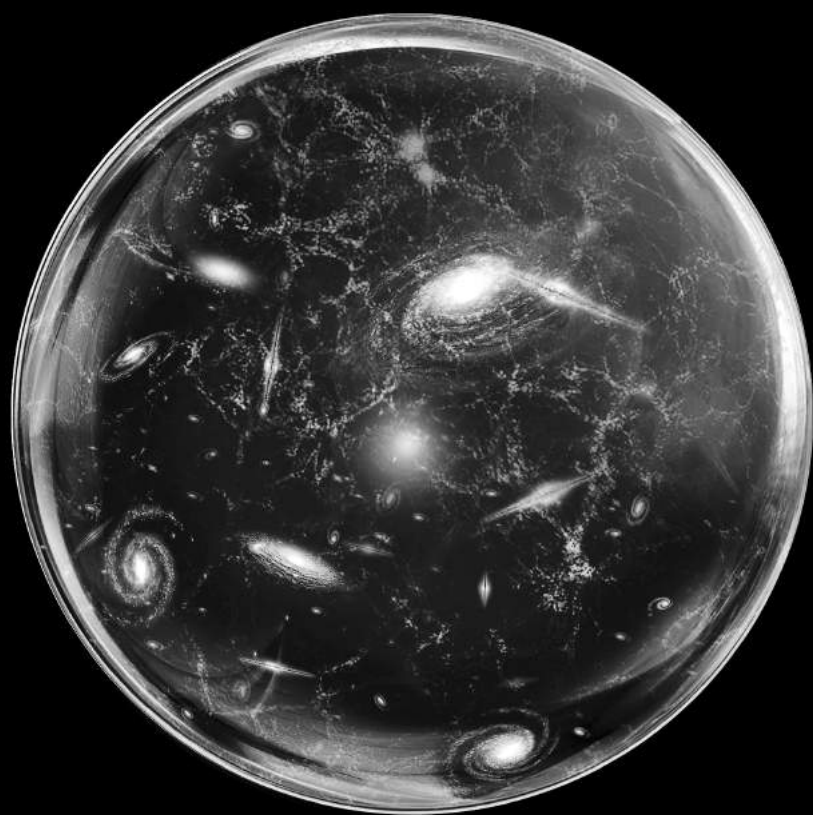
Хочу заметить, что эта книга выросла из моего студенческого семинара в Йельском университете, скромно названного «Происхождение всего». Его целью было объяснить, что такое наука с помощью «больших» проверяемых гипотез. Книга предназначена широкой аудитории, но я не думаю, что разговор о науке следует вести на примитивном уровне. В то же время я постараюсь не утомлять читателя терминологией и пояснять, что к чему, там, где без толики научного жаргона не обойтись.

И хотя я буду излагать лишь основные моменты теорий происхождения, это не случайные или не связанные между собой эпизоды — каждый из них зависит от предыдущего и плавно перетекает в последующий. Те кирпичики, из которых построена жизнь, возникли из воздуха, моря и горных пород нашей планеты, а сама Земля сформировалась из космической пыли. Ее частицы родились в горниле гигантских звезд, которые возникли из газа, появившегося в результате Большого взрыва. Расположение нашей планеты в космическом пространстве, то, каким образом возникали и изменялись ее океаны, атмосфера

и внутреннее строение, — все это позволило сложным формам жизни существовать на протяжении сотен миллионов лет.

Как ученый, который занимался рядом обсуждаемых здесь тем (хотя, конечно, не всеми), я часто рассматриваю вопросы происхождения сквозь призму геофизики, т. е., говоря откровенно, смотрю на вещи несколько предвзято. Со временем мои студенты уясняют, что в моем изложении важная роль отводится тектонике плит, и, если бы я мог каким-то образом возложить на нее ответственность за Большой взрыв, я бы это сделал (но, к сожалению, тут имеет место досадное несовпадение во времени). Есть прекрасные, гораздо более подробные, чем эта, книги по истории Вселенной и жизни на Земле, в конце я привожу их перечень. Моя же работа, не претендуя ни на глубину, ни на всеохватность, будет весьма немногословной и несколько поверхностной в лучшем смысле этих слов — если, конечно, такой смысл у них имеется. Моя цель — предложить краткий и, надеюсь, легко читаемый обзор, который призван дать представление об истории Вселенной (и в какой-то степени о месте человечества в этой истории), и, что еще важнее, побудить читателя расширять свои знания в этих интереснейших областях.

Предупреждение: читатель может предположить, что я являюсь специалистом во всех тех сферах, о которых говорится в этой небольшой книге. Что было бы замечательно, будь оно правдой, но, если честно, это не так. Определенный багаж знаний за почти три десятилетия преподавательской деятельности в университете я накопил, но я ни в коей мере не астроном, не биолог и не антрополог. Поэтому темы, близкие к моим научным интересам — геофизике и науке о Земле, — поневоле будут рассмотрены более подробно. Читатель не должен полагаться на эту книгу как на окончательное слово в затрагиваемых ей вопросах. Она больше похожа на пробную тарелку кушаний из ресторана кухни фьюжн, шеф-повар которого главным образом знаменит своими лингвини.



1 ВСЕЛЕННАЯ И ГАЛАКТИКИ

Время началось после непостижимого, чудовищной силы взрыва — неплохое начало, не так ли? Однако был ли этот взрыв первым моментом существования Вселенной или только Земли, еще сравнительно недавно — до XX в. — не знали. Первые строки Библии гласят: «В начале сотворил Бог небо и землю». В XVII в. ирландский архиепископ Джеймс Ашшер даже вычислил точную дату этого события — 23 октября 4004 г. до н.э.

Некоторые выдающиеся философы эпохи Возрождения, жившие незадолго до Ашшера, придерживались радикального мнения, что у времени вообще не было начала. В том числе знаменитый, в основном из-за своей мученической смерти, итальянский монах-доминиканец и мыслитель XVI в. Джордано Бруно. Он верил в альтернативную по тем временам идею Коперника о том, что Земля не является центром мира, а обращается вокруг Солнца. Бруно пошел дальше Коперника и предположил, что Солнце — всего лишь звезда, такая же, как и те, что мы видим на ночном небе, и вокруг которых также обращаются планеты. Но самое важное, по крайней мере, для нашей книги, — это утверждение Джордано Бруно о том, что Вселенная неизменна и безгранична во времени и пространстве. Бруно был не первым европейским мыслителем, высказывавшим такие взгляды, однако именно его идеи католическая церковь объявила еретическими наряду с еще более оскорбляющим веру отрицанием Божественности Христа и таинства Пресуществления. Бруно был схвачен в Венеции и предстал перед трибуналом, затем

его увезли в Рим, где вновь подвергли допросам. Пылкий и язвительный Бруно заявил, что не отречется от своих трудов, пока папа римский или сам Господь Бог не скажут ему, что он не прав. Те промолчали, и в первый день великого поста 1600 г. Джордано Бруно был сожжен на костре на площади Кампо ди Фьори в Риме. Сейчас на этом месте стоит его статуя, грозно поглядывающая на веселых туристов, которые обедают в ближайших кафе.

К счастью, с тех пор ученых больше не сжигают на кострах за их идеи (по крайней мере буквально). Однажды в Риме мы с коллегой, стоя перед впечатляющим памятником Джордано Бруно, задались вопросом, отреклись бы мы от своих научных работ под страхом смерти, как это сделал Галилео Галилей через 33 года после казни Бруно. После короткого раздумья мы рассмеялись и признали, что тут же отреклись бы. Но независимо от нашей трусости — и от самой идеи умереть за труды, которые никто не читал, — у нас есть возможность оценить прошлое, поэтому мы понимаем, что лженаука умирает вместе с ее авторами, а настоящая наука не умирает никогда. Если наши воззрения погибают вместе с нами, то, вероятно, этого они и заслуживают. Однако Джордано Бруно пожертвовал жизнью ради своих убеждений, став одним из самых известных мучеников науки. В конце концов его идеи оказались пророческими, особенно теория о том, что Земля — всего лишь одна из великого множества планет, обращающихся вокруг одной из многочисленных звезд в безграничной и древней Вселенной.

Однако идея Бруно о том, что Вселенная безгранична не только в пространстве, но и во времени, не верна — у времени было начало. Простейшее доказательство этого — темнота ночного неба. Если бы мы жили в безгранично древней и безгранично обширной Вселенной, каждый клочок ночного неба был бы занят звездами, свет этого беспредельного количества звезд успел бы достичь нашей планеты и все ноч-

ное небо было бы освещено этим светом. Еще современники Джордано Бруно немецкий математик Иоганн Кеплер и английский астроном Томас Диггес упоминали этот фотометрический парадокс, однако назван он был в честь немецкого астронома конца XVIII–XIX вв. Генриха Вильгельма Ольберса. Решение парадокса предложил Уильям Томпсон (лорд Кельвин), английский физик XIX–XX вв., а до него верную догадку высказал американский писатель и поэт Эдгар Аллан По: Вселенная должна быть ограничена либо во времени существования (и, таким образом, свет самых далеких звезд до нас еще не долетел), либо в размерах (потому звезды не занимают собой каждый клочок неба), либо в том и другом. Эта важная догадка впоследствии привела к гипотезе Большого взрыва, поскольку из нее следовало, что Вселенная появилась в некий момент прошлого и /или не везде одновременно.

В 1920-х гг. американский астроном Эдвин Хаббл на основании наблюдений в телескоп установил, что за пределами Млечного Пути, который прежде считали единственной галактикой в неподвижной и конечной Вселенной, имеются другие галактики. Расстояние до них Хаббл вычислил по цефеидам — пульсирующим переменным звездам, чей период (время между пульсациями) и светимость (полная излучаемая энергия в виде света) пропорциональны. Благодаря этому можно определять расстояния: у цефеид с одинаковым периодом пульсации светимость одинаковая, если же одна из этих звезд кажется более тусклой, значит, она находится дальше от нас, и наоборот. (Видимая яркость объекта убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до него.) Таким образом, наблюдая цефеиды, можно вычислить расстояние до галактик, в которых они расположены. Хаббл также обнаружил, что чем дальше отстоят галактики, тем больше их красное смещение. Красный свет имеет наибольшие периоды колебаний и длину волны в видимой части спектра. Красное смещение света можно сравнить с пониже-

нием звука сирены проезжающей мимо нас машины скорой помощи (звук понижается вследствие снижения частоты звуковых волн или увеличения их длины и периода колебаний). Красное смещение галактик показывает: чем больше расстояние между двумя галактиками, тем выше скорость их взаимного удаления, т. е. галактики удаляются друг от друга, разлетаясь в разные стороны.

До того как Эдвин Хаббл обнаружил, что галактики удаляются друг от друга, бельгийский астроном Жорж Леметр и русский физик Александр Фридман независимо друг от друга пришли к выводу, что Вселенная расширяется. Оба ученых использовали общую теорию относительности Эйнштейна, хотя сам Эйнштейн вначале отвергал их расчеты (правда, принял их позднее). Наблюдения Хаббла подтвердили идеи Леметра и Фридмана о расширяющейся Вселенной.

Если Вселенная конечна во времени и пространстве и при этом она расширяется, то, «отмотав назад» ее расширение, мы увидим, что вся ее масса и энергия некогда была сосредоточена в невероятно малой и горячей точке, которую Леметр назвал «космическим яйцом». Начальное расширение этой массы в первые моменты возникновения Вселенной астроном из Кембриджского университета Фред Хойл в насмешку (потому что ему очень не нравилась эта идея) назвал Большим взрывом. Название прижилось, хотя, вопреки фразе, которой я начал главу, слово «взрыв» не совсем подходит для описания этого явления. Взрыв представляет собой ударную волну, вызванную резким разделением газа с высоким давлением и газа с низким давлением, в то время как Вселенная со всей своей массой и энергией была сжата в одной крошечной точке, т. е. Вселенной некуда было распространяться. Расширяясь, Вселенная несет с собой границу нашего мира, за пределами которого нет ни света, ни энергии, ни пространства, ни времени. Представить это весьма трудно, не правда ли?

Наконец, в 1960-е гг. американцы Арно Пензиас и Роберт Уилсон открыли космическое микроволновое фоновое излучение, или *реликтовое излучение*, — радиационный шум, равномерно заполняющий Вселенную. Это показало, что космическое пространство не является абсолютно мертвым и холодным, с нулевыми показателями температуры и энергии, оно наполнено реликтовым излучением, которое «разогревает» температуру космоса до -270 °С. Это остаточное тепло является доказательством более горячего состояния Вселенной после Большого взрыва.

Теория Большого взрыва, как и позднейшие наблюдения расширяющейся Вселенной, позволяют вычислить возраст Вселенной. Если мы подсчитаем время, необходимое, чтобы Вселенная выросла с определенной скоростью расширения (названной постоянной Хаббла) из точки до своего сегодняшнего размера, а также учтем ее температуру, то можно предположить, что возраст Вселенной равен примерно 14 млрд лет (плюс/минус 1 млрд). Этот вывод подтверждается астрономическими наблюдениями старейших объектов Вселенной: главным образом это маленькие звезды с низкой скоростью горения (мы еще вернемся к ним в следующей главе). Однако они не могли возникнуть раньше чем через 500 млн лет после Большого взрыва, поэтому по ним нельзя точно определить возраст Вселенной. Сейчас он приблизительно оценивается в 13,8 млрд лет.

Теория Большого взрыва — нечто большее, чем просто описание разрастания Вселенной из крохотной точки до сегодняшнего громадного размера. Череду событий, изменивших ее начальное состояние, определила строение материи и структуру Вселенной. И все это произошло в интервале между первыми ничтожными долями миллисекунды до одной минуты после Большого взрыва. Не углубляясь в дебри, мы можем допустить, что на начальной стадии Вселенная была неверо-

ятно плотной и горячей и представляла собой крошечный шарик чистой колоссальной энергии. По мере его расширения и охлаждения появлялись различные состояния вещества, энергии и даже силы природы. Этот процесс отдаленно напоминает остывание пара и превращение его в воду, а затем в лед. Каждый этап ведет к изменению состояния вещества (газообразное, жидкое или твердое) — это называется фазовым переходом. Но в первые моменты Вселенной переходы были куда более странными, а о начальном этапе, из которого они вышли, мы пока ничего не знаем.

Предполагается, что в самый первый момент Большого взрыва температура и давление были столь высоки, что Вселенная, какой бы она ни была, содержала только одну форму энергии, сжатой в невообразимо малую точку, значительно меньшую, чем атом и даже субатомные частицы. В этом состоянии Вселенная пребывала 10^{-43} секунд (для справки: например, 10^{-2} — это то же самое, что и 0,01, таким образом, 10^{-43} равняется единице, отделенной от десятичного знака 42 нулями). Этот отрезок времени называется Планковской эпохой — в честь Макса Планка, немецкого физика XX в., который известен как основоположник квантовой механики. В течение этой эпохи (не могу не заметить, что космологи весьма странно используют такие понятия, как «эпоха» и «эра», что может довести до сумасшествия большинство геологов) все фундаментальные взаимодействия были представлены одной силой. Силы вызывают обмен частицами; например, магниты прицепляются к вашему холодильнику благодаря обмену фотонами — одновременно являющимися так называемыми «частицами-переносчиками» и частицами света. У других сил имеются свои частицы-переносчики. Если в Планковскую эпоху все эти частицы были одинаковы, значит, одинаковы были и сами силы. Концепция начальной объединенной силы, которую давно ищут физики-теоретики, иначе называется единой теорией поля, или теорией всего.

Однако теория, которая объединила бы гравитацию, удерживающую нас на планете, с тремя другими фундаментальными взаимодействиями — электромагнитным (контролирующим взаимодействие между электрическими зарядами и силы магнитного поля), сильным и слабым (контролирующими связь и притяжение субатомных частиц внутри атомного ядра) — пока не сформулирована. Возможно, решить эту сложную задачу помогут такие разделы физики, как теория струн или петлевая квантовая гравитация. Объединение трех фундаментальных взаимодействий, кроме гравитации, лежит в основе теорий Великого объединения и того, что мы называем Стандартной моделью «почти для всего». Обнаружение частицы (бозона) Хиггса, названного в честь британского физика Питера Хиггса, стало огромным шагом вперед в рамках Стандартной модели. Это открытие объясняет, чем обусловлено наличие массы у материи (конкретно «инертной массы», она делает одни объекты при перемещении более тяжелыми, чем другие, и зависит это от степени их взаимодействия с повсеместно распространенным полем Хиггса).

Но я отвлекся от сути. На самом деле мы все еще не знаем, что представляла собой Вселенная в Планковскую эпоху и что было до нее. Так или иначе в конце Планковской эпохи сильно связанная крошечная Вселенная стала нестабильной и произошел Большой взрыв.

Следующие 10^{-35} секунд Вселенной можно уже и вправду назвать взрывом Большого взрыва, вызвавшим невероятно быстрое расширение. Этот неуловимо короткий период времени называют Космической инфляцией. Она расширила объем Вселенной на много (как полагают, на 1070) порядков, и хотя сам объем был сравнительно мал (возможно, несколько кубических метров), расширение происходило со скоростью, во много раз превышающей скорость света. Предполагают, что оно началось благодаря высвобождению

некой формы энергии, заключенной в едином силовом поле. Она стала источником материи и энергии образовавшейся Вселенной.

Идея быстрого расширения Вселенной стала неотъемлемой частью теории Большого взрыва, без нее трудно объяснить наличие в космосе повсеместно распространенного электромагнитного излучения, называемого реликтовым. Если за прошедшие 14 млрд лет пустое космическое пространство Вселенной стало примерно одинаковой температуры, значит, разные ее части сообщались друг с другом до того момента, пока Вселенная не достигла столь больших размеров, чтобы сохранить одну и ту же температуру в будущем. Если же части Вселенной с начала времен не сообщались друг с другом, тогда трудно понять, почему сейчас они одной и той же температуры. Космическая инфляция позволила Вселенной распространиться в маленьком конечном объеме, в котором все находилось в контакте и было одной температуры, прежде чем разлетелось в разные стороны.

После расширения плотность высвобожденной расплывшейся энергии стала меньше, но этого было достаточно для образования материи. Энергия может превращаться в материю согласно известному уравнению Эйнштейна: $E = mc^2$, где E — энергия, m — превращенная масса, а c — скорость света. Первоначальная материя представляла собой «суп» из субатомных частиц, так называемых кварков — строительного материала для протонов и нейтронов, которые, в свою очередь, составляют ядро атома. Однако после расширения осталось еще много чистой энергии в форме фотонов и группы легких частиц — лептонов (электронов — отрицательно заряженных частиц, обращающихся вокруг атомного ядра и отвечающих за протекание электрического тока в проводниках, и нейтрино — обладающих практически нулевой массой частиц, которые прямо сейчас пролетают сквозь ваше тело совершенно незамеченными). Лептоны рас-

сматриваются отдельно от более тяжелых частиц, так как они не могут собраться вместе и составить атомное ядро.

Температура была все еще слишком высокой, чтобы кварки могли соединиться, но следующие 10^{-5} секунд жизни Вселенной стали богатыми на события. Приблизительно в равных количествах в ней существовали вещество и то, что мы называем антивеществом (например, античастица электрона — позитрон, который обладает такой же массой, но имеет противоположный электрический заряд). После короткого сосуществования вещество и антивещество аннигилировали друг друга. При этом высвобождалось огромное количество энергии и оставалось немного материи. Ее было «чуть» больше — именно поэтому материя сейчас преобладает. Похоже, тогда же возникла и темная материя, которая, как полагают, составляет большую часть массы Вселенной (мы поговорим об этом позже). В последние моменты этого отрезка времени происходило группирование кварков, достаточно охладившихся для объединения в протоны и нейтроны. Но все же было еще слишком горячо, чтобы нейтроны и протоны смогли образовать атомные ядра, не говоря уже о целых атомах. Протоны и нейтроны называют адронами, поэтому последняя часть этих 10^{-5} секунд зовется эпохой адронов.

По прошествии этих 10^{-5} секунд температура оставалась довольно высокой, и у фотонов было достаточно много энергии, чтобы преобразовывать ее в материю и создавать лептоны. Но через секунду Вселенная охладилась, появление лептонов прекратилось, а созданные тогда лептоны сохранились до наших дней (кроме лептонов, созданных в ядерных реакциях). То, что происходило между 10^{-5} до 1 секунды после Большого взрыва, называют эпохой лептонов.

В промежутке примерно от 1 секунды до 100 секунд Вселенная достаточно охладилась, чтобы нейтроны и протоны смогли объединяться, образуя первые атомные ядра. Но сво-

бодный нейтрон по своей природе нестабилен и может распадаться на электрон и протон. Таким образом, по истечении этих 100 секунд нейтронов осталось не так много: из каждых 16 адронов лишь два были нейтронами, а остальные 14 — протонами. В этой порции из 16 адронов два нейтрона могли соединиться с двумя протонами и образовать ядро гелия. Оставшиеся 12 протонов образовали ядра водорода. Таким образом, гелий составлял четверть массы Вселенной (так как четыре из каждых 16 адронов стали гелием), а оставшиеся три четверти приходились на водород (его образовали 12 из каждых 16 адронов). Образовались и другие элементы, такие как литий и более тяжелые разновидности (изотопы) водорода (например, дейтерий, ядро которого содержит и нейтрон, и протон), но в очень малых количествах, потому что Вселенная охладилась слишком быстро, чтобы могло сформироваться большее количество этих веществ. То, что массовая доля элементов во Вселенной осталась неизменной с тех самых пор, а именно примерно 75% водорода, 25% гелия и крайне небольшое количество более тяжелых элементов (подробнее об этом ниже), является еще одним, причем успешно проверенным, аргументом в пользу теории Большого взрыва.

На протяжении последующих 100 000 лет Вселенная была еще слишком горячей, чтобы атомные ядра могли захватить электроны и образовать целый атом. Плотность материи и энергии фотонов была достаточно высокой, чтобы они «застряли» друг в друге. Это означает, что материя была слишком плотной и потому непрозрачной, а энергии было слишком много, чтобы позволить материи собраться в нечто большее, чем существующие отдельно друг от друга атомные ядра и электроны. Это время обычно называют радиационной эрой или стадией радиационного доминирования, так как Вселенная была пронизана фотонами. Примерно через 100 000 лет после Большого взрыва масса и плотность

фотонов уменьшилась настолько, что свет смог отделиться от материи. А когда после Большого взрыва прошло около 380 000 лет, Вселенная достаточно охладилась, чтобы ядра смогли соединиться с электронами и образовать атомы. С этого момента начинается эра доминирования вещества, в которой мы в общем-то и живем. Благодаря этому последнему соединению высвободилось большое количество энергии, остатки которой наблюдаются сейчас в виде реликтового излучения. Это окончательное соединение атомов и высвобождение энергии может содержать следы слегка небольшой комковатости кварковой плазмы после эпохи быстрого расширения. Таким образом, малые флуктуации яркости космического реликтового излучения — это сильно расширившиеся следы ранних флуктуаций плотности вещества.

По окончании стадии радиационного доминирования и высвобождения энергии от соединившихся атомов свет отделился от вещества, и Вселенная на 300 млн лет погрузилась во тьму. Этот период называется Темными веками. Коротко говоря, Вселенная остыла, и материя рассеялась настолько, что в тот период не было источников света.

В конце Темных веков слабые флуктуации в плотности водорода и гелия вызвали повышенное гравитационное притяжение к более плотным участкам, которые притягивали все больше вещества. Дополнительное количество вещества вызвало «сгущение» этих флуктуаций, увеличение массы и т. д., что впоследствии привело к появлению гравитационно-связанных структур в форме огромных межзвездных облаков. В этих газовых облаках начали формироваться первые звезды.

По-видимому, первые звезды состояли только из водорода и гелия, а их формирование обозначило окончание Темных веков — 300 млн лет после Большого взрыва. После того как самые массивные из первых звезд закончили

свою эволюцию и взорвались, создав более тяжелые химические элементы (подробно об этом в следующей главе), более маленькие звезды начали формироваться в этих огромных межзвездных облаках, становясь гравитационно-связанными системами — первыми галактиками, пик появления которых пришелся на период между 1–3 млрд лет после Большого взрыва. Хотя галактики во Вселенной разлетаются, они не находятся в состоянии полностью свободного плавления, их группы гравитационно связаны друг с другом, образуя скопления галактик. Сами эти скопления связаны друг с другом вдоль галактических нитей, пронизывающих нашу Вселенную. Сети этих нитей являются крупнейшими структурами во Вселенной, а в промежутках между ними находятся пустые пространства космоса (войды).

Наша Галактика, Млечный Путь, связана с галактикой Андромеды (в отдаленном будущем они могут даже столкнуться). Обе они являются крупными галактиками в скоплении Девы, которое может быть частью еще большего скопления под названием Ланиакея. Тем не менее, после того как через миллиард лет после Большого взрыва возникли первые галактики, потребовалось еще 1–2 млрд лет, чтобы сформировались скопления галактик и галактические нити.

Галактики сегодня не одинаковы по форме и размеру, но в то же время они не образуют совершенно случайные фигуры. Самые большие из них — эллиптические галактики, которые представляют собой сферические шары из звезд, обращающиеся вокруг центра по хаотически ориентированным орбитам. Распространенными видами галактик являются дисковые, спиральные, а также спиральные галактики с перемычкой — плоские и обращающиеся вокруг массивного тела, находящегося в их центре, например Млечный Путь или Андромеда. Гигантское облако из газа и звезд, сформировавших спиральную галактику, уплотнялось под действием своей гравитации, но центробежная сила препятствовала

сжатию перпендикулярно оси вращения, позволяя облаку сжиматься параллельно оси, создавая таким образом форму плоского диска (это похоже на формирование Солнечной системы, о чем мы поговорим позднее). В центре сжимающегося облака всегда собирается бóльшая часть массы: в Солнечной системе это Солнце, а в галактиках масса их центра столь велика, что там образуется сверхмассивная черная дыра — объект настолько тяжелый, что даже свет не может преодолеть его притяжение, если подойдет слишком близко.

Обычно диаметр галактик составляет около 100 000 световых лет (1 световой год — это расстояние, которое проходит свет за 1 год, примерно 10^{13} км или 10 трлн км; для сравнения: Нептун, самая далекая от нас планета, находится на расстоянии 4,5 млрд км от Солнца, что в 2000 раз меньше светового года). Наша галактика содержит в себе сотни миллиардов звезд. Однако, по некоторым данным, можно предположить, что масса звезд составляет лишь крохотную долю общей массы галактики. Галактики содержат огромное количество скрытой массы, которую называют темной материей.

В 1960-х гг. американский астроном Вера Рубин и ее коллеги обнаружили, что в спиральных, дисковых и спиральных с перемычкой галактиках большинство звезд обращаются вокруг галактического центра почти с одинаковой скоростью независимо от расстояния от центра галактики, и это сильно отличается от обращения планет Солнечной системы вокруг Солнца. Орбитальные скорости планет уменьшаются с удалением от светила, ведь единственная сила, удерживающая их на орбите, — это гравитационное притяжение Солнца, которое слабеет по мере увеличения расстояния (это называют Кеплеровым движением — в честь Иоганна Кеплера и его законов движения планет по орбитам). Одинаковая орбитальная скорость звезд означает, что чем дальше они находятся от галактического центра, тем бóльшая масса должна содержаться внутри их орбиты, чтобы сохранялась гравитацион-

ная связь с галактикой. Однако, чтобы звезды продолжали двигаться таким образом, требуется намного бóльшая масса, чем та, которую мы можем наблюдать. Это указывает на присутствие темной материи, которая и составляет остальную часть необходимой массы.

Астрономы также заметили, что относительные скорости галактик внутри скоплений слишком высоки, чтобы оставаться гравитационно связанными друг с другом, если их масса состоит только из наблюдаемой звездной массы. Таким образом, звездные скопления могут быть стабильными и не разлетаться, только если они содержат гораздо больше массы, чем та, которую мы наблюдаем. Есть и другие данные, подтверждающие наличие темной материи, например гравитационное линзирование, из-за которого свет искривляется, проходя мимо таких массивных объектов, как скопления галактик.

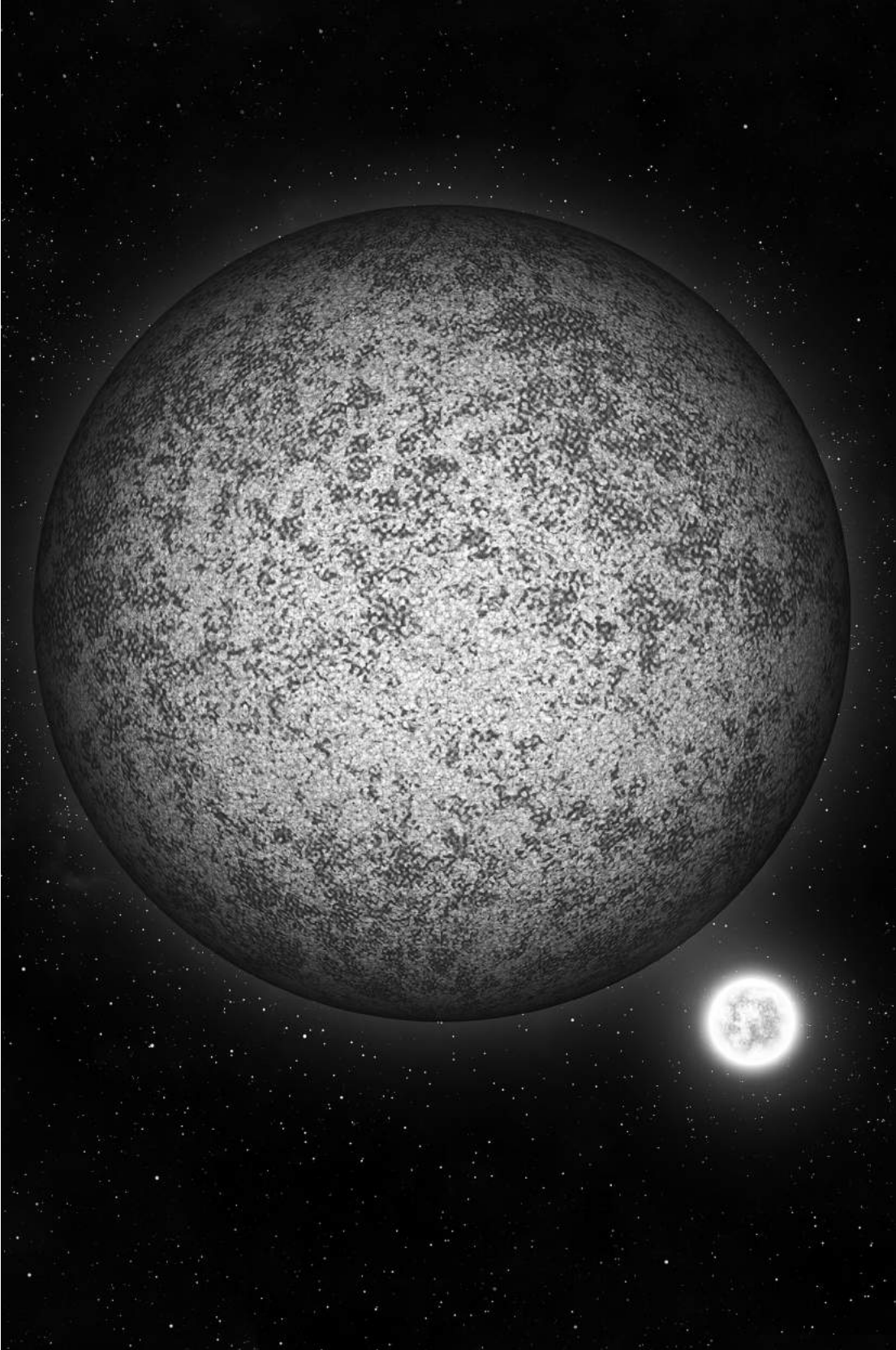
Эта невидимая темная материя, удерживающая вместе галактики и скопления галактик, не наблюдается ни в одном из диапазонов электромагнитного спектра — от микроволнового до инфракрасного и ультрафиолетового излучения. Однако в последние годы ученые пришли к выводу, что бóльшая часть материи в космосе — именно темная и первые галактики состояли по большей части из нее, а не из водорода и гелия. Пока остается загадкой, что же она из себя представляет, поскольку мы не можем наблюдать ее непосредственно.

Поскольку Вселенная после Большого взрыва продолжает расширяться, резонно задаться вопросом о ее будущем. Если расширение Вселенной замедляется под действием собственной гравитации, хватит ли начальной взрывной энергии, чтобы продолжать расширяться, или же это расширение «выдохнется» и гравитация заставит Вселенную сжаться обратно в точку? Недавние исследования говорят нам, что ни одна из этих гипотез не верна. Расширение Вселенной не замед-

ляется, а ускоряется. Прежде гравитацию считали единственной силой, действующей на большие расстояния, она должна была бы замедлять скорость расширения Вселенной (и, возможно, привести к ее сжатию) под действием собственной массы. Ускоренное расширение Вселенной стало немалым сюрпризом и свидетельством действия не обнаруженной до сих пор силы. Создающее ее энергетическое поле фактически создает и давление, разгоняющее Вселенную все быстрее. Это поле назвали темной энергией. («Темная энергия» и «темная материя» называются темными не потому, что они как-то похожи друг на друга, а потому, что их нельзя увидеть с помощью света.) Темная энергия — сверхдальнодействующая сила, которая обнаруживается только на уровне сверхскоплений галактик. Вероятно, она не играла особой роли, пока Вселенная не расширилась до достаточно больших размеров. Преобладание темной материи над гравитацией (и наблюдающееся в результате расширение Вселенной), предположительно началось около 4 млрд лет назад, после формирования Солнечной системы. В некотором смысле расширение Вселенной похоже на то, как вода постепенно заполняет таз, пока не доходит до краев и не выливается с другой стороны.

Учитывая объем Вселенной, в котором имеется темная энергия, можно сделать вывод, что она занимает примерно 70% содержимого (вместе взятых массы и энергии) Вселенной, при этом темная материя составляет 25% объема, а оставшиеся 5% — это обычная барионная материя, из которой состоят звезды, планеты и мы с вами. (Хотя большая часть этой материи по-прежнему представлена водородом и гелием.) Темная материя и темная энергия дают о себе знать только в масштабах галактик и их скоплений — совсем не те уровни, которые мы могли бы как-то чувствовать, наблюдать или понять интуитивно. Гравитация, пожалуй, единственная сила, которую мы физически ощущаем

и с которой постоянно сталкиваемся — например, когда встаем с кровати, поднимаемся по лестнице или наливаем кофе. А будь мы размером с букашку или микроба, для нас важнее было бы электромагнитное излучение, которое вызывает статическое электричество и поверхностное напряжение воды. Гравитация была бы для нас менее важна и едва заметна. (Муравей легко взбирается вверх по стене и ничуть не пострадает, упав с высотного здания.) В общем, пока мы находимся на крайне низком, микроскопическом уровне понимания природы темной материи и темной энергии.



2 ЗВЕЗДЫ И ЭЛЕМЕНТЫ

Темные века ранней Вселенной закончилась, когда огромные облака водорода и гелия (и темной материи), сжимаясь под воздействием собственного гравитационного притяжения, начали формировать первые звезды, а затем и галактики. Похожее звездообразование происходит и сейчас, одним из примеров является туманность Орла в нашей Галактике, которая до сих пор «штампует» новые звезды и звездные системы. Как мы уже отмечали, первые такие газовые облака состояли только из диффузной космической материи (если не считать темную материю), в основном в виде водорода и гелия, и потому не содержали ничего, из чего могли бы сформироваться планеты. Формирование первых и последующих за ними звезд обусловило появление более тяжелых элементов, из которых были созданы планеты и все живущее на них.

Когда протосолнечное облако начинает сжиматься под воздействием собственного гравитационного притяжения, молекулы устремляются к его центру с возрастающей скоростью — как шарик, катящийся с горки. Ускоряясь, они сталкиваются и отскакивают друг от друга, и энергия их движения преобразуется в тепло. Это повышает температуру и давление облака и в конце концов останавливает сжатие. (Размеры, формы и эволюцию этих облаков мы обсудим в следующей главе.)

Облако не может долго сжиматься под воздействием собственных гравитационных сил, в какой-то момент коллапс останавливается. Это зависит от размера. Не слишком мас-

сивное облако вообще не сжимается, а чем больше его масса, тем больше внутренняя гравитация, такое облако уплотнится еще до того, как внутри него станет слишком горячо.

Некоторые процессы помогают облаку избежать коллапса. Большая часть облака — это водород, молекулы которого состоят из двух связанных между собой атомов водорода. Если центр коллапсирующего облака становится достаточно горячим, чтобы молекулы водорода смогли распасться на атомы, этот распад поглотит энергию и не даст облаку нагреваться, позволяя ему продолжить существование.

Это похоже на фазовый переход, который происходит в кипящей воде (мы использовали такую аналогию при описании Большого взрыва). Тепловая энергия плиты передается воде, и вода закипает. Но превращение воды в пар поглощает энергию, и температура кипящей воды остается неизменной, пока вся вода не выкипит. Таким же образом превращение молекулярного водорода в атомарный поглощает тепловую энергию уплотняющегося облака и сохраняет его температуру стабильной, пока конверсия — в той части облака, которая стала достаточно горячей, — не завершится. То же происходит позже и в центре облака, где среда еще горячее и температура достаточно высока, чтобы атомы водорода испускали электроны и становились ионами. Это происходит по принципу «фазового перехода», выравнивающего температуру.

Поэтому только очень большие молекулярные облака могут коллапсировать сами по себе. Первые звезды, которые полностью состояли из водорода и гелия (их называют звездами населения III, сегодня это «исчезнувший вид»), формировались в облаках, в тысячи и даже миллионы раз более массивных, чем Солнце, и были в сотни раз тяжелее его. Небольшим облакам, чтобы они продолжили сжатие, после того как станут достаточно плотными, необходим триггер, воздействие извне (к примеру, смерть гигантских звезд, кото-