

МИЧИО КАКУ

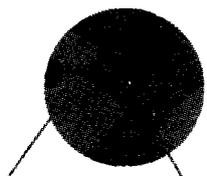
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МИРЫ

Об устройстве мироздания,
высших измерениях
и будущем Космоса

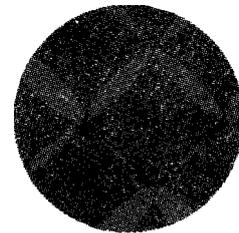


MICHIO KAKU

PARALLEL

 WORLDS

A JOURNEY
THROUGH
/ CREATION, HIGHER
DIMENSIONS,
AND THE FUTURE OF THE
COSMOS

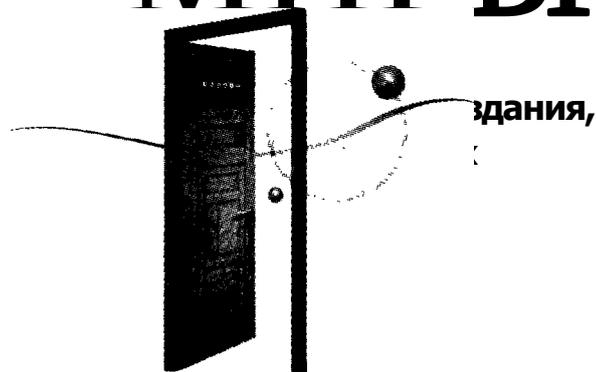


DOUBLEDAY

New York London Toronto Sydney Auckland

МИЧИО КАКУ

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МИРЫ



«СОФИЯ» 2008

УДК 524
ББК 22.6
К16

Перевод с английского М. Кузнецовой

Каку Мичио

К16 Параллельные миры: Об устройстве мироздания, высших измерениях и будущем Космоса / Перев. с англ. — М.: ООО Издательство «София», 2008. —416 с.

ISBN 978-5-91250-520-1

Эта книга, конечно же, не развлекательное чтение. Это то, что называется «интеллектуальный бестселлер». Чем, собственно, занимается современная физика? Какова нынешняя модель Вселенной? Как понимать «многомерность» пространства и времени? Что такое параллельные миры?

Автор этой книги, Мичио Каку, очень авторитетный ученый-физик. Поэтому в «Параллельных мирах» вы не найдете помпезной «псевдонауки». Мичио Каку — опытный литератор. Он умеет писать просто. И в этой книге вы не найдете сложных математических формул. Наконец, Мичио Каку — японец, воспитывавшийся в буддийской религии. И он умеет передать читателю свое чисто восточное спокойное восхищение совершенством нашего огромного Мироздания.

УДК 524
ББК 22.6

©2008byMichioKaku
Parallel Worlds

A Journey Through Creation, Higher Dimensions, and the Future of the Cosmos

Все права зарезервированы, включая право на полное или частичное воспроизведение в какой бы то ни было форме.

ISBN 978-5-91250-520-1

© «София», 2008
© ООО Издательство «София», 2008

Содержание

Благодарности.....	8
Вступление.....	12
Часть I. Вселенная.....	15
Глава 1	
Детские фотографии Вселенной.....	16
Глава 2	
Парадоксальная Вселенная.....	37
Глава 3	
Большой Взрыв.....	61
Глава 4	
Расширение и параллельные вселенные.....	94
Часть II. Мультивселенная.....	129
Глава 5	
Порталы в другие измерения и путешествие во времени.....	130
Глава 6	
Параллельные квантовые вселенные.....	169
Глава 7	
М-теория: мать всех струн.....	207
Глава 8	
Спроектированная вселенная?.....	272
Глава 9	
В поисках эхо-сигналов из одиннадцатого измерения...	289

Часть III. Побег в гиперпространство	321
Глава 10	
Конец всего	322
Глава 11	
Побег из нашей вселенной	340
Глава 12	
За пределами Мультивселенной	383
Примечания автора.....	403

*Эта книга посвящается
моей любящей жене Сидзуэ.*

Благодарности

Я хотел бы поблагодарить ученых, которые были столь любезны, что уделили мне время для беседы. Их комментарии, замечания и идеи в значительной степени обогатили эту книгу и придали ей большую глубину и ясность. Вот их имена:

- Стивен Вайнберг, нобелевский лауреат, Техасский университет
- Остин Мюррей Гелл-Манн, нобелевский лауреат, Институт Санта-Фе и Калифорнийский технологический институт
- Леон Ледерман, нобелевский лауреат, Технологический институт Иллинойса
- Джозеф Ротблат, нобелевский лауреат, Госпиталь святого Бартоломью (на пенсии)
- Уолтер Гилберт, нобелевский лауреат, Гарвардский университет
- Генри Кендалл (ныне покойный), нобелевский лауреат, Массачусетский технологический институт
- Алан Гут (Гус), физик, Массачусетский технологический институт
- Сэр Мартин Рис, Королевский астроном Великобритании, Кембриджский университет
- Фриман Дайсон, физик, Институт передовых исследований, Принстонский университет
- Джон Шварц, физик, Калифорнийский технологический институт

- Лиза Рэндалл, физик, Гарвардский университет
- Дж. Ричард Готт III, физик, Принстонский университет
- Нил де Грасс Тайсон, астроном, Принстонский университет и Планетарий Хейдена
- Пол Дэвис, физик, Университет Аделаиды
- Кен Кросвелл, астроном, Калифорнийский университет, Беркли
- Дон Голдсмит, астроном, Калифорнийский университет, Беркли
- Брайан Грин, физик, Колумбийский университет
- Кумрун Вафа, физик, Гарвардский университет
- Стюарт Сэмьюэл, физик, Калифорнийский университет, Беркли
- Карл Саган (ныне покойный), астроном, Корнеллский университет
- Дэниэл Гринбергер, физик, Городской колледж Нью-Йорка
- В. П. Нэйр, физик, Городской колледж Нью-Йорка
- Роберт П. Кишнер, астроном, Гарвардский университет
- Питер Д. Уорд, геолог, Вашингтонский университет
- Джон Бэрроу, астроном, Сассекский университет
- Марша Бартушек, научный журналист, Массачусетский технологический институт
- Джон Касти, физик, Институт Санта-Фе
- Тимоти Феррис, научный журналист
- Майкл Лемоник, научный обозреватель, журнал «Тайм»
- Фульвио Мелиа, астроном, Университет Аризоны
- Джон Хорган, научный журналист
- Ричард Мюллер, физик, Калифорнийский университет, Беркли
- Лоренс Краусс, физик, Университет Западного резервного района
- Тед Тэйлор, проектировщик атомных бомб
- Филип Моррисон, физик, Массачусетский технологический институт
- Ханс Моравек, робототехник, Университет Карнеги-Меллона

- Родни Брукс, робототехник, Лаборатория искусственного интеллекта, Массачусетский технологический институт
- Донна Ширли, астрофизик, Лаборатория реактивного движения
- Дэн Вертхаймер, астроном, SETI@home, Калифорнийский университет, Беркли
- Пол Хоффман, научный журналист, журнал «Дискавер»
- Френсис Эверитт, физик, Гравитационный Зонд Б, Стэнфордский университет
- Сидни Перковиц, физик, Университет Эмори

А вот имена ученых, которым я бы хотел выразить благодарность плодотворные дискуссии на физические темы:

- Т. Д. Ли, нобелевский лауреат, Колумбийский университет
- Шелдон Глэшоу, нобелевский лауреат, Гарвардский университет
- Ричард Фейнман (ныне покойный), нобелевский лауреат, Калифорнийский технологический институт
- Эдвард Витген, физик, Институт передовых исследований, Принстонский университет
- Джозеф Ликкен, физик, лаборатория Ферми
- Дэвид Гросс, физик, Институт Кавли, Санта-Барбара
- Фрэнк Вильчек, Калифорнийский университет, Санта-Барбара
- Пол Таунсенд, физик, Кембриджский университет
- Питер ван Ньювенхойзен, физик, Государственный университет Нью-Йорка, Стоуни-Брук
- Мигель Вирасоро, физик, Университет Рима
- Бундзи Сакита (ныне покойный), физик, Городской колледж Нью-Йорка
- Эшк Дэс, физик, Университет Рочестера
- Роберт Маршак (ныне покойный), физик, Городской колледж Нью-Йорка
- Фрэнк Типлер, физик, Университет Тулейна
- Эдвард Трайон, физик, колледж Хантера
- Митчелл Бегелман, астроном, Университет Колорадо

Я хотел бы также поблагодарить Кена Кросвелла за его многочисленные комментарии к моей книге.

И еще я хочу выразить благодарность моему редактору, Роджеру Шоллу, который мастерски отредактировал две мои книги. Его твердая рука во многом улучшила эти книги, а его комментарии всегда помогали разъяснить и углубить содержание и презентацию моих книг. И наконец, я бы хотел поблагодарить своего агента, Стюарта Кричевского, который занимался продвижением моих книг на протяжении всех этих лет.

Вступление

Космология изучает Вселенную как единое целое, в том числе ее рождение и, возможно, ее конечную судьбу. Неудивительно, что эта наука претерпела множество трансформаций в ходе своего медленного и нелегкого развития, — развития, которое часто омрачалось религиозными догмами и предрассудками.

Первый переворот в истории космологии был связан с изобретением телескопа в XVII в. При его помощи Галилео Галилей, основываясь на работах выдающихся астрономов Николая Коперника и Иоганна Кеплера, впервые приблизил к нам величие небес и сделал их предметом серьезных научных исследований. Кульминацией развития космологии на раннем этапе стали работы Исаака Ньютона, который сформулировал фундаментальные законы, управляющие движением небесных тел. Эти законы больше не рассматривались как некое волшебство или мистика — стало ясно, что на все тела действуют силы, которые можно измерить и подсчитать.

Начало второго переворота в истории космологии было положено изобретением больших телескопов, таких, как телескоп в обсерватории Маунт Уилсон с огромным рефлектором диаметром в 250 см. В 1920-е годы при помощи этого гигантского телескопа астроном Эдвин Хаббл опроверг вековые догмы, гласившие, что Вселенная неизменна и вечна: он показал, что галактики удаляются от Земли с невероятными скоростями — то есть что Вселенная расширяется. Это подтвердило результаты общей теории относительности Эйнштейна, в которой архитектура пространства-времени представляла отнюдь не плоской и линейной, а динамичной и искрив-

ленной. Это дало возможность выдвинуть первое правдоподобное объяснение происхождения Вселенной, которое заключалось в том, что Вселенная возникла в результате катастрофического взрыва, получившего название «Большой Взрыв». Он разбросал звезды и галактики в разные стороны. Новаторская работа Джорджа Гамова и его коллег по теории Большого Взрыва, а также работа Фреда Хойла, посвященная происхождению химических элементов, способствовали выстраиванию общей картины эволюции Вселенной.

В настоящее время происходит третий переворот. Он начался около пяти лет назад и был вызван появлением целого арсенала новых высокотехнологичных приборов, таких, как космические спутники, лазеры, детекторы гравитационных волн, рентгеновские телескопы и высокоскоростные суперкомпьютеры. На данный момент мы располагаем самыми надежными сведениями о природе Вселенной, включающими ее возраст, состав и, возможно, даже ее будущее и окончательную гибель.

Сейчас астрономы понимают, что Вселенная стремительно расширяется, бесконечно ускоряя это движение и постепенно становясь все холоднее и холоднее. Если этот процесс будет продолжаться, то мы столкнемся с перспективой «Большого Охлаждения», когда Вселенная погрузится во тьму и холод, а вся разумная жизнь погибнет.

Данная книга посвящена именно этому третьему перевороту. Она отличается от моих предыдущих книг по физике «За пределами научной мысли Эйнштейна» (*Beyond Einstein*) и «Гиперпространство» (*Hyperspace*), которые помогли представить широкой публике новые концепции дополнительных измерений и теории суперструн. В книге «Параллельные миры» я уделяю основное внимание не проблеме пространства-времени, а революционным изменениям в космологии, происшедшим за последние несколько лет. В разработке этой темы я опираюсь на новые данные, полученные учеными всего мира из самых отдаленных уголков космоса, а также на новейшие открытия теоретической физики. Мне очень хотелось, чтобы книгу легко было читать и понимать без предварительного введения в физику или космологию.

В первой части я акцентирую внимание на изучении Вселенной, кратко освещая достижения ранних этапов космологии, кульмина-

ционной точкой которых стало появление теории инфляционного расширения Вселенной. Эта теория представляет на настоящий момент самую передовую формулировку теории Большого Взрыва. Часть вторая посвящена исключительно зарождающейся теории Мультивселенной — мира, состоящего из множества вселенных, где наша является лишь одной из многих, — кроме того, в ней рассматривается возможность существования порталов-червоточин, пространственных и временных водоворотов и возможная связь между ними через дополнительные измерения. Теория суперструн и М-теория стали первым крупным достижением после основополагающей теории Эйнштейна. В этих теориях содержатся дальнейшие доказательства того, что наша Вселенная — лишь одна из многих. И наконец, в третьей части рассказывается о Большом Охлаждении и о том, каким представляют ученые конец нашей Вселенной. Я также веду серьезный, хоть и гипотетический разговор о том, каким образом в отдаленном будущем, триллионы лет спустя, высокоразвитая цивилизация могла бы использовать законы физики, чтобы покинуть нашу Вселенную и начать процесс возрождения в другой, более гостеприимной вселенной или вернуться назад — в то время, когда Вселенная была теплее.

Поток новых данных, которые мы получаем в настоящий момент, современная техника, такая, как космические спутники, способные сканировать небо, новые детекторы гравитации, а также близящееся завершение строительства новых ускорителей частиц размером с город, дают физикам уверенность в том, что мы вступаем в золотой век космологии. Словом, это благодатное время для физиков и всех, кто пускается на поиски знаний о происхождении и судьбе нашей Вселенной.

ЧАСТЬ I

ВСЕЛЕННАЯ

ГЛАВА 1

Детские фотографии Вселенной

Поэт лишь желает подняться головой к небесам. Логик же пытается затолкать небеса к себе в голову. Его-то голова и раскалывается.

Г. К. Честертон

Вдетстве я испытывал внутренний дискомфорт, связанный с тем, что я и мои родители исповедовали разные религии. Родители были воспитаны в буддийских традициях. Я же каждую неделю ходил в воскресную школу, где с увлечением слушал библейские сказания о китах, ковчегах, соляных столпах, ребрах и яблоках. Я был очарован этими притчами Ветхого Завета, в воскресной школе мне нравились именно они. Эти притчи о великих потопах, пылающих кустах и наступающих пучинах увлекали меня гораздо сильнее буддийских песнопений и медитаций. По сути, эти древние сказания о героизме и вселенской трагедии ярко иллюстрировали глубокие моральные принципы; уроки этики, вынесенные из них, остались со мной на всю жизнь.

Тогда мы как раз изучали Книгу Бытия. Читать о Боге, громогласно вещающем с небес «Да будет Свет!», было намного интереснее, чем безмолвно медитировать, погрузившись в размышления о грядущей Нирване. Из наивного любопытства я спросил нашу учительницу: «А была ли у Бога мать?» Обычно она отвечала на вопросы без малейшей запинки, у нее всегда имелась под рукой притча с глубокой моралью. Однако на этот раз оказалось, что я захватил ее врасплох.

— Нет, — ответила она с ноткой сомнения. — Наверное, у Бога не было матери.

— Но тогда откуда же взялся сам Бог? — спросил я.

Она смущенно пробормотала, что проконсультируется по этому вопросу со священником.

Мне и невдомек было, что я случайно коснулся одного из труднейших вопросов теологии. Я был озадачен, потому что в буддизме Бога-Творца просто не существует, есть лишь вечная Вселенная без начала и без конца. Какое-то время спустя, начав изучать великие мифологии мира, я узнал о существовании двух космологических концепций. Первая основывалась на представлении о том, что Бог создал Вселенную за одно мгновение, вторая же утверждала, что Вселенная была и пребудет вечно.

«Не может же и то, и другое быть верным», — думал я.

Позднее я обнаружил, что сходные мотивы пронизывают предания и в других культурах. Например, в китайской мифологии вначале было космическое яйцо. Бог-ребенок Пань-гу чуть ли не целую вечность находился внутри яйца, которое покачивалось на волнах безграничного моря Хаоса. Когда же наконец Пань-гу вылутился из яйца, он стал стремительно расти, прибавляя в росте более трех метров в день, так что верхняя половинка яичной скорлупы стала небесным сводом, нижняя же — земной твердью. Через 18 тысяч лет Пань-гу умер, дав начало нашему миру: кровь его стала реками, глаза — Солнцем и Луной, а голос — громом.

В мифе о Пань-гу повторяется идея, встречающаяся во многих других религиях и древних мифологиях, — о том, что Вселенная начала свое существование *creatio ex nihilo* (будучи сотворенной из ничего). В греческой мифологии Вселенная возникла из Хаоса (в сущности, само слово «хаос» происходит от греческого слова, означающего «бездна»). Эта пустота, лишенная каких-либо четких черт, часто представляется как некий Океан, например в вавилонской и японской мифологиях. Тот же мотив прослеживается в древнеегипетской мифологии, где бог солнца Ра появляется из яйца, покачивающегося на волнах Океана. В полинезийских мифах вместо космического яйца фигурирует скорлупа кокоса. В верованиях майя эта история подавалась в варианте, где Вселенная однажды возникла, но через каждые пять тысяч лет она умирает, чтобы воз-

рождаться вновь и вновь, повторяя бесконечный цикл рождений и разрушений.

Эти мифы *creatio ex nihilo* представляют собой ярко выраженный контраст с космологией буддизма и некоторых форм индуизма. В мифологиях этих религий Вселенная вечна, она не имеет ни начала, ни конца. Есть различные уровни существования, высшим из которых является Нирвана, уровень вечный, достичь которого можно лишь при помощи медитации. В индуистской Махапуране написано: «Если Бог создал мир, то где же Он был до Создания?.. Знайте, что мир не был создан, равно как не было создано время, они не имеют ни начала, ни конца».

Эти мифологии противоречат друг другу, не находя компромисса. Они взаимоисключающи: либо у Вселенной было начало, либо его не было. Очевидно, что здесь отсутствует возможная точка соприкосновения.

Однако сегодня, кажется, зарождается некое разрешение этого спора, приходящее из совершенно нового мира — мира науки. Его предлагают последние поколения мощных научных приборов и аппаратов, способных летать в открытом Космосе. Объясняя происхождение мира, древняя мифология основывалась лишь на мудрости рассказчика. Сегодня ученые, активно используя космические спутники, лазеры, детекторы гравитационных волн, интерферометры, высокоскоростные суперкомпьютеры, а также Интернет, совершили мощный прорыв в науке. Тем самым они революционизировали наше понимание Вселенной и представили нам самую убедительную из когда-либо существовавших точку зрения на ее возникновение.

Таким образом, на основе полученных новых данных постепенно происходит великий синтез двух противостоящих мифологий. Возможно, предполагают ученые, мир рождается многократно в вечном Океане Нирваны. В свете нынешних представлений нашу Вселенную можно сравнить с пузырьком воздуха, свободно плавающим во вселенском «океане», где постоянно образуются новые пузырьки. Согласно этой теории, вселенные образуются непрерывно, словно пузырьки при кипении воды, и разлетаются по бесконечному пространству, гиперкосмической нирване, обладающей одиннадцатью измерениями. Все больше физиков полагает, что наша Вселенная действительно появилась в результате огненного ката-

клизма, Большого Взрыва, сосуществуя в вечном Океане с другими вселенными. Если это так, то Большие Взрывы происходят даже сейчас, когда вы читаете это предложение.

Физики и астрономы во всем мире строят гипотезы о том, как могут выглядеть эти параллельные миры, какие законы в них действуют, откуда они произошли и как в конце концов погибнут. Возможно, параллельные миры пустынные и не содержат неких жизненно важных компонентов. А возможно, они практически не отличаются от нашей Вселенной и отделены от нее всего одним существенным событием (изошедшим или не произошедшим), которое и стало причиной их различия. По предположениям некоторых физиков, если когда-нибудь жизнь в существующей ныне Вселенной станет невозможной из-за ее старения и остывания, может так случиться, что нам придется ее покинуть и искать прибежища в другой вселенной.

Основанием для этих новых теорий служит огромный приток данных с космических спутников, по мере того как они фотографируют останки самого творения. Примечательно, что ученые сейчас сосредотачиваются на том, что произошло всего лишь через 380 000 лет после Большого Взрыва, когда «заревое» создания впервые полностью осветило Вселенную. Возможно, наиболее подробная картина творения была получена с помощью нового аппарата, который называется WMAP — зонд микроволновой анизотропии Уилкинсона.

Зонд микроволновой анизотропии Уилкинсона

«Невероятно!», «Новая веха!» — так восклицали в феврале 2003 года обычно сдержанные астрофизики, описывая драгоценные данные, полученные с последнего спутника. Зонд микроволновой анизотропии Уилкинсона (спутник WMAP), названный в честь крупнейшего астрофизика Дэвида Уилкинсона и запущенный в 2001 году, представил ученым беспрецедентно точную и детальную картину ранней Вселенной, возраст которой не превышал 380 000 лет. Колоссальная энергия, которая вырвалась из первоначального огненного облака, давшего начало звездам и галактикам, продолжает циркулировать в нашей Вселенной уже миллиарды лет. И вот ее засняли на пленку в мельчайших деталях с помощью микроволнового анизотропного

зонда Уилкинсона. Эта съемка принесла нам невиданную доселе карту поразительно четкую фотографию неба, на которой можно увидеть микроволновое излучение — результат того самого Большого Взрыва. Журнал «Times» назвал это излучение «эхом творения». И теперь астрономы всегда будут видеть небо в новом свете.

Джон Бакал из Принстонского института передовых исследований назвал открытия спутника WMAP своеобразным «ритуалом, сопровождающим переход космологии от предположений к точной науке». Впервые данные о раннем периоде истории Вселенной позволили космологам точно ответить на древнейший из когда-либо заданных вопросов — на вопрос, который озадачивал и интриговал человечество с тех самых пор, как мы впервые подняли глаза и увидели неземную красоту ночного неба. Каков возраст Вселенной? Каковы ее параметры? Какая судьба ее ждет?

В 1992 году предыдущий спутник, COBE (космический аппарат для изучения реликтового излучения), предоставил в наше распоряжение первые размытые снимки реликтового излучения, пронизывающего небеса. Полученные беспрецедентные результаты вызвали и определенное разочарование, поскольку представленная картина ранней Вселенной была несфокусированной. Это не помешало прессе возбужденно окрестить фотографию излучения «ликом Божиим». Но правильнее было бы сказать, что размытые снимки со спутника COBE представляли «младенческую фотографию» Вселенной. Если посчитать сегодняшнюю Вселенную восьмидесятилетним старцем, то снимки, сделанные спутником COBE (а позднее — зондом микроволновой анизотропии Уилкинсона), фиксируют ее «новорожденной», когда ей и дня еще не исполнилось.

Почему же зонд Уилкинсона смог предоставить нам беспрецедентные снимки зарождающейся Вселенной? Да потому, что ночное небо подобно машине времени. Поскольку свет распространяется с конечной скоростью, мы видим звезды в небе такими, какими они были когда-то, а не такими, каковы они сейчас. Расстояние от Луны до Земли свет проходит не мгновенно — ему для этого требуется секунда с небольшим; поэтому, когда мы смотрим на Луну, в действительности мы видим ее такой, какой она была секунду назад. На расстояние от Солнца до Земли световой луч затрачивает около восьми секунд. Многие из известных нам звезд настолько далеки от нас, что их све-

товому лучу требуется от десяти до ста лет, чтобы достичь пределов нашей видимости. (Иными словами, они находятся на расстоянии от десяти до ста световых лет от Земли. Световой год чуть меньше десяти триллионов километров — именно такое расстояние свет проходит за год.) Световые лучи из отдаленных галактик достигают Земли за сотни миллионов, а то и миллиарды световых лет. Таким образом, они являются источниками «ископаемого» света, при этом некоторые из них испустили его еще до появления динозавров. Среди самых отдаленных объектов, которые мы можем наблюдать с помощью телескопов, есть так называемые квазары, гигантские «космические маяки», генерирующие невероятные количества энергии на окраинах видимой Вселенной. Они находятся на расстоянии 12-13 млрд световых лет от Земли. И вот сегодня зонд Уилкинсона зафиксировал еще более древнее излучение, «зарезо» первоначального Взрыва, в результате которого возникла наша Вселенная.

Иногда космологи для описания Вселенной используют для иллюстрации Эмпайр Стейт Билдинг, возносящийся над Манхэттеном более чем на сто этажей. С крыши небоскреба тротуары можно различить с большим трудом. Условимся, что основание небоскреба представляет собой зону Большого Взрыва. Тогда, если считать, что мы смотрим с крыши, отдаленные галактики будут находиться на десятом этаже. Квазары, которые еще можно рассмотреть с Земли в телескопы, будут на уровне седьмого этажа. А реликтовое космическое излучение, измеренное зондом Уилкинсона, поднято над уровнем тротуара на высоту всего лишь около полутора сантиметров. Таким образом, зонд Уилкинсона предоставил нам возможность вычислить возраст Вселенной поразительно точно — с погрешностью всего лишь в 1 %: 13,7 млрд лет.

Запуск зонда Уилкинсона стал результатом более чем десятилетней напряженной работы астрофизиков. Концепция спутника с зондом Уилкинсона на борту была впервые предложена НАСА в 1995 году и одобрена через два года. 30 июня 2001 года сотрудники НАСА разместили зонд Уилкинсона на борту ракеты «Дельта II» и вывели ракету на орбиту между Солнцем и Землей. Тщательно рассчитанным пунктом назначения стала вторая точка Лагранжа (или L2, одна из точек гравитационного равновесия между Землей, Луной и Солнцем), которая обеспечивает наилучший обзор. В поле обзора

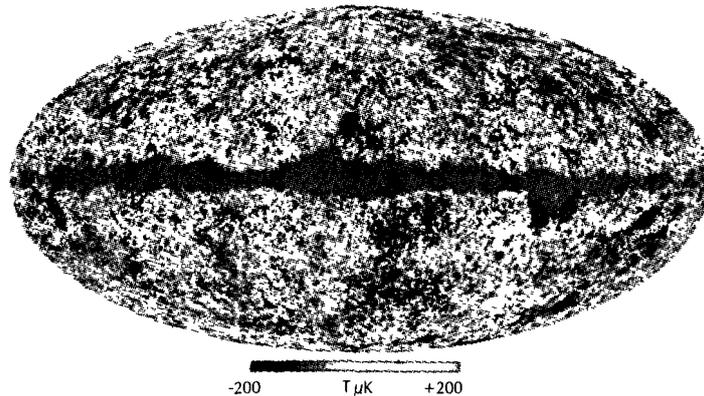
спутника не попадают ни Солнце, ни Земля, ни Луна, благодаря чему зонд Уилкинсона всегда транслирует четкую картину Вселенной. Спутник полностью сканирует небо с периодичностью в шесть месяцев.

Спутник оснащен самой современной аппаратурой. С помощью встроенных мощных сенсоров он может уловить слабое микроволновое излучение, оставшееся после Большого Взрыва. Это излучение омывает всю Вселенную, но наша атмосфера его в значительной мере поглощает. Спутник сделан из алюминиевого сплава. Его размеры — 3,8 x 5 м, вес — 840 кг. Спутник снабжен двумя телескопами, которые фокусируют микроволновое излучение из окружающего неба, а затем полученные данные передаются на Землю. Для работы спутнику необходима мощность всего лишь в 419 ватт (что равняется мощности четырех-пяти стандартных электрических лампочек). Зонд Уилкинсона располагается на расстоянии 1,5 млн км от Земли, оставляя далеко за собой все атмосферные колебания, которые скрывают слабое микроволновое излучение. Именно благодаря такому расположению спутник может непрерывно сканировать небо.

Свое первое сканирование неба спутник завершил в апреле 2002 года. Через полгода было завершено и второе полное сканирование. На сегодняшний день зонд Уилкинсона предоставил нам наиболее полную и точную из всех когда-либо существовавших карту микроволнового излучения. Существование реликтового микроволнового излучения, обнаруженного и зафиксированного зондом Уилкинсона, впервые предсказал Георгий (Джордж) Гамов со своими сотрудниками в 1948 году; они также обращали внимание на то, что это излучение должно иметь собственную температуру. Зонд Уилкинсона измерил эту температуру, зафиксировав ее на уровне чуть выше абсолютного нуля, между 2,7249° и 2,725 Г по шкале Кельвина.

Невооруженному глазу карта неба, отсканированная зондом Уилкинсона, не покажется интересной: мы увидим лишь беспорядочное скопление точек. Однако некоторые астрономы чуть не рыдали над этим скоплением точек, поскольку они представляют из себя флуктуации, или неравномерности, первоначального огненного катаклизма — Большого Взрыва — сразу после возникновения Вселенной. Эти крошечные флуктуации подобны «семенам», которые буйно разрослись, когда распустился «бутон» Вселенной.

Сегодня из этих крошечных семян «расцвели пышным цветом» галактические скопления и галактики, сверкающие на небесах. Иными словами, наша Галактика Млечный Путь и все скопления галактик вокруг были когда-то этими крошечными флуктуациями. Измерив распределение этих флуктуаций, мы поймем происхождение галактических скоплений из этих точек, вытканых на гобелене ночного неба.



Эта фотография, сделанная спутником WMAP представляет «Вселенную в детстве», то есть такую, какой она была всего лишь через 380 000 лет после своего возникновения. Каждая точка весьма правдоподобно представляет крошечную квантовую флуктуацию, неравномерность в заре творения. Все они в результате расширения превратились в галактики и галактические скопления, которые мы наблюдаем сегодня.

Сегодня ученые в выдвижении новых теорий не поспевают за потоком поступающих астрономических данных. В общем, я бы не согласился с тем, что наступает золотой век космологии. (Как ни впечатляет зонд Уилкинсона, достижения его покажутся не такими уж значительными по сравнению со спутником «Планк», который европейцы собираются запустить в 2007 году. «Планк», как надеются астрономы, даст нам еще более точные картины микроволнового реликтового излучения.) Однако мы вполне можем сказать, что космология наконец вступает в период зрелости. После многолетнего прозябания в болоте предположений и фантастических гипотез она выходит из тени точных наук. Исторически так сложилось, что

космологи пользовались несколько подмоченной репутацией. Ошеломляющая страстность, с которой они излагали свои грандиозные теории о возникновении Вселенной, была сравнима со столь же ошеломляющей бедностью их данных. Недаром нобелевский лауреат Лев Ландау саркастически отмечал, что «космологи часто ужасаются, но никогда не сомневаются». Среди ученых-естественников популярна старая поговорка: «Есть предположения, дальше идут предположения о предположениях, а еще дальше — космология».

В бытность мою студентом-физиком в Гарварде в конце 1960-х годов я некоторое время лелеял мысль заняться космологией — меня с детства волновал вопрос о происхождении Вселенной. Однако знакомство с этой наукой показало ее постыдную примитивность. Это была вовсе не та экспериментальная наука, где можно проверять гипотезы при помощи точных приборов, а скорее грудa неопределенных и в высшей степени недоказательных теорий. Космологи вели жаркие дискуссии о том, возникла ли Вселенная в результате космического взрыва или же она всегда пребывала в устойчивом состоянии. Но теорий у них всегда было намного больше, чем данных. Так оно всегда: чем меньше данных, тем жарче споры.

На протяжении всей истории космологии эта нехватка достоверных данных приводила к жестоким войнам между астрономами, затягивавшимся иногда на десятилетия. (В частности, на некоем научном форуме непосредственно перед тем, как Аллан Сэндидж из обсерватории Маунт Уилсон должен был выступить с докладом о возрасте Вселенной, предыдущий оратор объявил с сарказмом: «Все, что вы сейчас услышите, — вранье». А сам Сэндидж, прослышав о том, что группа ученых-соперников добилась определенного успеха, прорычал: « Это все полная чушь. Война так война!»)

Возраст Вселенной

Особенно интересовал астрономов вопрос, каков же истинный возраст Вселенной. На протяжении столетий ученые, философы и теологи пытались определить его хотя бы приблизительно, пользуясь единственным доступным им методом — генеалогией человечества со времен Адама и Евы. В прошлом веке геологи использовали ре-

ликовое излучение, которое наблюдается в скалах, для получения наиболее точных данных о возрасте Земли. В свою очередь, зонд микроволновой анизотропии Уилкинсона измерил сегодня эхо самого Большого Взрыва, дав нам наиболее надежные данные о возрасте Вселенной. Данные зонда Уилкинсона показывают, что Вселенная возникла в результате Взрыва, который произошел 13,7 млрд лет тому назад.

(В течение многих лет одним из наиболее скользких моментов, неотступно преследующим космологию, было то, что вычисленный возраст Вселенной часто оказывался меньше возраста отдельных планет и звезд. Причиной тому были ошибки в исходных данных. Предыдущие расчеты возраста Вселенной давали ей от 1 до 2 млрд лет, что противоречило принятому возрасту Земли (4-5 млрд лет) и «старейших» звезд (12 млрд лет). Теперь эти противоречия устранены.)

Данные зонда Уилкинсона стали причиной крутого поворота в споре о том, из чего состоит Вселенная, в вопросе, которым задавались еще греки более двух тысячелетий тому назад. На протяжении всего XX века считалось, что ответ на этот вопрос известен. Проведя тысячи скрупулезных экспериментов, ученые пришли к выводу, что Вселенная в основном состоит примерно из сотни различных элементов, выстроенных в аккуратную периодическую таблицу, начинающуюся с водорода. Эта таблица — основа современной химии, и, фактически, ее изучают в каждой средней школе. Зонд Уилкинсона разрушил эти представления.

Подтверждая ранее проведенные эксперименты, зонд Уилкинсона показал, что вся видимая материя вокруг нас (включая горы, планеты, звезды и галактики) составляет ничтожную часть (4 %) всей материи и энергии во Вселенной. (Большую часть этих 4 % составляют водород и гелий, и только где-то около 0,03 % — тяжелые элементы.) Но подавляющая часть Вселенной состоит из загадочного невидимого вещества абсолютно неизвестного происхождения. Известные элементы, из которых состоит наш мир, составляют во Вселенной лишь 0,03 %. В каком-то смысле наука отброшена на века назад, во времена, когда еще не было атомической гипотезы, поскольку физики споткнулись на факте, что во Вселенной преобладают принципиально новые, неизвестные науке формы материи и энергии.

Согласно данным зонда Уилкинсона, Вселенная на 23 % состоит из неизвестной, неопределенной субстанции, так называемой «темной материи». Она обладает весом и окружает галактики гигантским ореолом, который нам невидим. «Темная материя» настолько вседуша и ее так много, что в нашей Галактике Млечный Путь она весит в 10 раз больше, чем все звезды вместе взятые. Несмотря на невидимость этой неизвестной материи, ученые, используя метод непрямого наблюдения, смогли ее «увидеть»: «темная материя» искривляет звездный свет подобно стеклу, и поэтому ее можно обнаружить по степени создаваемого оптического искажения.

По поводу удивительных результатов, полученных со спутника WMAP, астроном из Принстона Джон Бакал заявил: «Мы живем в невероятной, просто сумасшедшей Вселенной, но теперь нам известны ее определяющие характеристики».

Однако, наверное, самым большим сюрпризом из данных, полученных спутником WMAP и потрясших все научное сообщество, стал факт, что 73 % Вселенной, ее большая часть, состоит из абсолютно неизвестной формы энергии, называемой «темной энергией», или невидимой энергией, таящейся в вакуумном пространстве. Введенное самим Эйнштейном в 1917 году, а затем отброшенное (великий физик назвал его своей «величайшей ошибкой») понятие «темная энергия», она же энергия пустоты, пустого космоса, теперь снова выходит на авансцену как движущая сила Вселенной. Ученые считают, что «темная энергия» создает антигравитационное поле, которое тянет галактики в разные стороны, и конечная судьба Вселенной будет определяться именно «темной энергией».

На данный момент никто и представить не может, откуда взялась эта «энергия пустоты».

«Откровенно говоря, мы этого просто не понимаем. Нам известно ее воздействие, но у нас нет ключа к разгадке... ни у кого нет ни единого ключа», — признает Крейг Хоган, астроном из Университета им. Дж. Вашингтона в Сиэтле.

Если взять новейшую теорию субатомных частиц и попытаться вычислить значение этой «темной энергии», мы получим число, которое отклоняется от нормы на 10^{120} (это единица, за которой следуют 120 нулей). Такое расхождение между теорией и экспериментом — величайший за всю историю пробел в науке. Это одно

из наших непреодолимых (по крайней мере, в настоящее время) препятствий — даже с помощью лучшей из наших теорий мы не можем вычислить значение величайшего источника энергии во всей Вселенной. Безусловно, целая куча Нобелевских премий ожидает предприимчивых ученых, которые смогут раскрыть тайны «темной энергии» и «темной материи».

Расширение

Астрономы до сих пор пытаются справиться с лавиной данных, принесенных спутником WMAP. По мере того как эта лавина сметает устаревшие концепции Вселенной, в космологии вырисовывается новая картинка.

«Мы заложили фундамент единой, непротиворечивой теории космоса», — заявляет Чарльз Л. Беннетт, руководитель международной команды, принимавшей участие в обработке и анализе данных со спутника WMAP.

На данный момент ведущей теорией является «инфляционная теория Вселенной», то есть усовершенствованная теория Большого Взрыва, впервые предложенная Аланом Гутом* из Массачусетского технологического института. По инфляционной теории, в первую триллионную долю секунды загадочная антигравитационная сила вынудила Вселенную расширяться намного быстрее, чем считалось раньше. Инфляционный период был невообразимо взрывным, при этом Вселенная расширялась со скоростью, намного превышающей скорость света. (Это не противоречит заявлению Эйнштейна, что «ничто» может перемещаться быстрее света**, поскольку расширяется пустое пространство. Что же касается материальных объектов, то они не могут перескочить световой барьер.) Итак, за ничтожную долю секунды Вселенная невообразимо расширилась — в 10^{50} раз.

Чтобы вообразить себе интенсивность инфляционного периода (или инфляционной эпохи), представьте себе воздушный шарик с

* Его фамилию (Guth) часто также транскрибируют как «Гус». — *Здесь и далее прим. ред., если не указано иначе.*

** Хотя общепринятый перевод этого высказывания Эйнштейна — «Ничто не может перемещаться быстрее света», в данном контексте адекватен именно вышеуказанный **дословный** перевод, поскольку автор таким образом обыгрывает это высказывание, приравнивая «ничто» к пустому пространству.

нарисованными на его поверхности галактиками, который быстро надувают. Видимая Вселенная, заполненная звездами и галактиками, лежит на поверхности воздушного шарика, а не внутри его. Теперь поставьте на шарике микроскопическую точку. Эта точка и есть видимая Вселенная, то есть все, что мы можем наблюдать при помощи наших телескопов. (Для сравнения: если бы видимая Вселенная была размером с субатомную частицу, то вся Вселенная была бы намного больше той реальной видимой Вселенной, которую мы наблюдаем.) Иными словами, инфляционное расширение было настолько интенсивным, что теперь существуют целые области Вселенной вне нашей видимой, которые так навсегда и останутся для нас за пределами видимости.

Расширение Вселенной было таким интенсивным, что при взгляде на описанный шарик с близкого расстояния он кажется плоским. Этот факт был экспериментально проверен спутником WMAP. Как и Земля кажется нам плоской, потому что мы очень малы по сравнению с ее радиусом, так и Вселенная кажется нам плоской лишь потому, что она изогнута в гораздо большем масштабе.

Допустив раннее инфляционное расширение, можно без особых усилий объяснить многие загадки Вселенной, как, например, то, что она кажется плоской и однородной. Характеризуя инфляционную теорию, физик Джоэл Примак сказал: «Из таких прекрасных теорий еще ни одна не оказывалась ошибочной».

Мультивселенная

Несмотря на то что инфляционная теория согласуется с данными зонда Уилкинсона, она все же не отвечает на вопрос: что стало причиной расширения? Что побудило к действию антигравитационную силу, которая «раздула» всю Вселенную? Существует более 50 теорий о том, что стало причиной начала и окончания расширения Вселенной, в результате чего и возникла наша Вселенная. Но единого мнения не существует. Большинство физиков соглашается с основной идеей о стремительном инфляционном периоде, но решающего ответа на вопрос о механизме расширения Вселенной пока не существует.

Поскольку никто точно не знает, почему началось расширение, вполне вероятно, что подобное событие может снова иметь

место — то есть, что инфляционные взрывы могут повторяться. Эта теория была предложена русским физиком Андреем Линде из Стэнфордского университета. Она утверждает, что, какой бы механизм ни послужил причиной внезапного расширения Вселенной, он постоянно находится в действии, заставляя беспорядочно расширяться другие, отдаленные области Вселенной.

И тогда крошечный участок Вселенной может внезапно расшириться и «образовать почку», пустить побег «дочерней» вселенной, от которой, в свою очередь, может отпочковаться новая дочерняя вселенная; при этом процесс «почкования» продолжается непрерывно. Представьте, что вы пускаете мыльные пузыри. Если дуть достаточно сильно, то можно увидеть, как некоторые из них делятся, образуя новые, «дочерние» пузыри. Подобным образом одни вселенные могут постоянно давать начало другим вселенным. Согласно этому сценарию, Большие Взрывы происходили все время, происходят и сейчас. Если это верно, то, возможно, мы плаваем в море таких вселенных, словно пузырек, покачивающийся в океане среди других пузырьков. По сути, более подходящим словом будет не «Вселенная» (Универсум), а «Мультивселенная» (Мультиверсум).

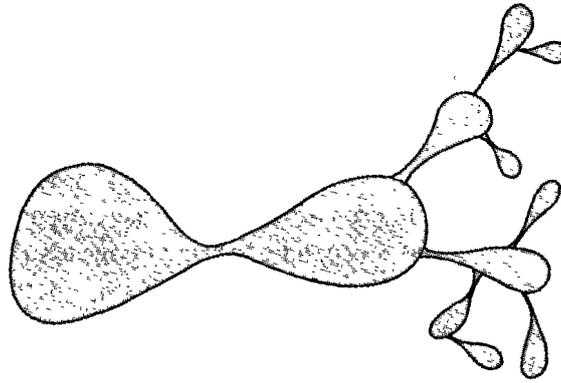
Линде называет свою теорию вечным, самовоспроизводящимся расширением, или «хаотическим расширением», поскольку он подразумевает непрерывающийся процесс постоянного расширения параллельных вселенных.

«Расширение заставляет нас предполагать существование многочисленных вселенных», — говорит Алан Гут, впервые предложивший инфляционную теорию.

Эта теория также предполагает, что от нашей Вселенной, возможно, когда-нибудь отпочкуется собственная дочерняя вселенная. Возможно, и наша собственная Вселенная обрела свое существование, отпочковавшись от более древней, более ранней вселенной.

По словам главы Королевского астрономического общества Великобритании сэра Мартина Риса, «то, что традиционно называлось «Вселенная», может быть лишь частью целого ансамбля. Может существовать бесконечное множество других областей Вселенной, где действуют иные законы. Вселенная, в которой мы появились, принадлежит к необычному подмножеству, которое позволяет развиваться сложным формам и сознанию».

Исследования в области Мультивселенной вызвали дискуссии о том, как выглядят другие вселенные, обитаемы ли они и даже возможен ли с ними контакт. Ученые Калифорнийского технологического института, Массачусетского технологического университета, Принстонского университета, а также других научных центров сделали расчеты для решения вопроса, не противоречит ли законам физики множественность Вселенных и возможность их достижения.



Появляется все больше теоретических доказательств в поддержку существования Мультивселенной, где целые вселенные могут отпочковываться или «распускать бутоны» из других Вселенных. Если теория подтвердится, то она объединит две величайшие религиозные мифологии: возникновение мира и Нирвану. Тогда возникновение мира происходило бы непрерывно в безвременной Нирване.

М-теория и 11-е измерение

Сама идея параллельных вселенных когда-то рассматривалась учеными с изрядной долей подозрения и считалась областью деятельности мистиков, шарлатанов и больших оригиналов. Каждый ученый, осмеливавшийся работать в области изучения параллельных вселенных, подвергался насмешкам, даже рисковал своей карьерой, поскольку вплоть до сегодняшнего дня не существует экспериментального подтверждения существования параллельных вселенных.

Но в последнее время произошел серьезный прорыв в исследованиях, и теперь лучшие умы планеты интенсивно работают именно в этом направлении. Причиной столь внезапного поворота стало

появление новой *струнной теории* и ее последней версии, *М-теории*, которая не только сулит раскрыть природу Мультивселенной, но также обещает возможность воочию «увидеть Божий замысел», как когда-то красноречиво выразился Эйнштейн. Если теория окажется верной, то это будет главным достижением науки за последние 2000 лет, с тех самых пор, как древние греки начали поиски единой связной и целостной теории Вселенной.

Количество опубликованных работ в области струнной теории, М-теории, впечатляет — они исчисляются десятками тысяч. Этой теме были посвящены сотни международных конференций. В каждом университете мира либо есть группа, занимающаяся разработкой струнной теории, либо делаются отчаянные попытки ее изучения. Хотя теорию и не проверить при помощи наших несовершенных современных приборов, она вызвала живейший интерес математиков, физиков-теоретиков и даже экспериментаторов, которые надеются протестировать периферию Вселенной (конечно, в будущем) при помощи тонких детекторов гравитационных волн открытого космоса и мощных ускорителей частиц.

В конечном счете эта теория, возможно, ответит на вопрос, который волновал космологов с тех самых пор, как впервые была высказана идея Большого Взрыва: а что произошло после Большого Взрыва?

Для решения такой задачи нам потребуется весь потенциал наших знаний в области физики, анализ всех физических открытий, накопленных за века исследований. Иными словами, нам нужна «теория всего», единая теория всех физических сил, действующих во Вселенной. Эйнштейн потратил последние тридцать лет своей жизни, пытаясь создать эту теорию, но ему это не удалось.

На сегодняшний день главной (и, собственно, единственной) теорией, которая может объяснить все многообразие сил, организующих Вселенную, является струнная теория, особенно ее последнее воплощение — М-теория. («М» означает «мембрана», но может также означать «загадка» (от англ. *mystery* — тайна, загадка, головоломка), «магия» и даже «мать»). Хотя, по существу, струнная теория и М-теория идентичны, М-теория представляет собой более загадочную и значительно более сложную структуру, объединяющую различные «струнные теории».)

Еще древнегреческие философы предполагали, что все во Вселенной может состоять из крошечных частиц, называемых атомами. Сегодня же, используя мощные ускорители заряженных частиц, мы можем расщепить атом на электроны и ядро, которые, в свою очередь, могут быть расщеплены на еще более мелкие субатомные частицы. Но вместо открытия стройной и простой системы ученые стали свидетелями угнетающего факта: из ускорителей вылетают сотни субатомных частиц со странными названиями, такими, как нейтрино, кварки, мезоны, лептоны, адроны, глюоны, бозоны и прочие. Трудно поверить, что природа на уровне выстраивания фундамента смогла создать целые джунгли странных атомных частиц, среди которых можно просто заблудиться.

В основе струнной теории и М-теории лежит идея о том, что удивительное разнообразие субатомных частиц, составляющих Вселенную, подобно нотам, по которым можно сыграть мелодию на скрипичной струне, или на мембране, натянутой, скажем, как кожа барабана. (Это не совсем обычные струны и мембраны; они существуют в десяти- и одиннадцатимерном гиперпространстве.)

Традиционно физики рассматривали электроны как бесконечно малые точечные частицы. Это означало, что им приходилось вводить свою точку для каждой из обнаруженных субатомных частиц, что очень сбивало с толку. Но струнная теория говорит, что, если бы у нас был супермикроскоп, который позволял бы заглянуть вглубь электрона, мы бы увидели, что это никакая не точечная частица, а крошечная вибрирующая струна. Она лишь кажется нам точечной частицей, поскольку наши приборы слишком несовершенны.

Эта струна вибрирует с различной частотой и различным резонансом. Если бы мы задели струну, то частота ее вибраций изменилась бы и она превратилась бы в другую субатомную частицу, например в кварк. Тронь ее опять, и она превращается в нейтрино. Таким образом, мы можем объяснить «метель» субатомных частиц различными по высоте звуками вибрирующей струны. И теперь мы можем считать сотни субатомных частиц, наблюдаемых в лаборатории, одним объектом — струной.

В такой терминологии законы физики, тщательно обоснованные тысячелетними экспериментами, являются не чем иным, как законами гармонии, которые справедливы для струн и мембран. Законы

химии — это мелодии, которые можно сыграть на этих струнах. Вся Вселенная представляет из себя божественную симфонию для «струнного оркестра». А «Замысел Божий», о котором столь красноречиво говорил Эйнштейн, — это космическая музыка, резонирующая сквозь гиперпространство. (Возникает вопрос: если Вселенная — это симфония для струнного оркестра, то кто ее автор? Я вернусь к этому вопросу в главе 12.)

Музыкальная аналогия	Струнный эквивалент
Нотная запись	Математика
Скрипичные струны	Суперструны
Ноты	Субатомные частицы
Законы гармонии	Физика
Мелодии	Химия
Вселенная	Симфония для струнного оркестра
«Замысел Бога»	Музыка, резонирующая сквозь гиперпространство
Композитор	??!

Конец Вселенной

Зонд Уилкинсона не только дал возможность увидеть подробнейший портрет юной Вселенной, он также открыл нам впечатляющую картину того, как наша Вселенная умрет. Та же самая загадочная антигравитационная сила, оттолкнувшая (растащившая) галактики друг от друга в начале времен, теперь толкает Вселенную навстречу судьбе. Раньше астрономы считали, что расширение Вселенной постепенно замедляется. Теперь мы понимаем, что на самом деле движение Вселенной ускоряется и галактики мчатся от нас прочь со все возрастающими скоростями. «Вселенная ведет себя, как водитель, притормаживающий на красный сигнал светофора и затем газующий на зеленый», — утверждает Адам Рис из Института космического телескопа.

Если какой-либо катаклизм не обратит процесс расширения вспять, то через 150 млрд лет наша Галактика Млечный Путь окажется-

ся довольно одинокой: 99,999 % близлежащих галактик «улетят» за пределы видимой Вселенной. Знакомые галактики, которые мы можем наблюдать в ночном небе, умчатся прочь с такой скоростью, что их свет никогда не достигнет нас тогдашних. Сами галактики не исчезнут, но окажутся слишком далеко, чтобы мы могли наблюдать их в свои телескопы. Хотя сейчас в видимой Вселенной содержится около 100 млрд галактик, «все» через 150 млрд лет видимыми останутся лишь несколько тысяч в близлежащем скоплении галактик. Еще через некоторое время вся видимая Вселенная будет ограничена группой, состоящей из 36 галактик, в то время как миллиарды и миллиарды других галактик исчезнут за «горизонтом». Такой вариант развития событий объясняется тем, что гравитация в пределах этой местной группы достаточно сильна для того, чтобы преодолеть силы разбегания. Ирония состоит в том, что, когда отдаленные галактики исчезнут из поля зрения, любой астроном из будущей «темной эпохи» будет не в состоянии вообще заметить расширение Вселенной, поскольку местная группа галактик не расширяется. Астрономы сверхдалекого будущего — если такие будут и займется исследованием ночного неба — вряд ли поймут, что Вселенная расширяется; скорее они придут к заключению, что Вселенная статична и состоит всего лишь из 36 галактик.

Если эти силы антигравитации будут и дальше действовать в том же духе, то Вселенная в конце концов погибнет от холода. Вся разумная жизнь на планете, замерзая, будет биться в мучительной агонии, поскольку температура дальнего космоса близка к абсолютному нулю, а при такой температуре даже молекулы еле «шевелиются». В какой-то момент, спустя триллионы триллионов лет, звезды перестанут испускать свет, их ядерный реактор погаснет, израсходовав все топливо, и Вселенная погрузится в вечную ночь. Космическое расширение приведет к тому, что останется лишь холодная мертвая Вселенная, состоящая из черных звезд-карликов, нейтронных звезд и черных дыр. А в еще более далеком будущем даже черные дыры отдадут всю свою энергию, останется лишь безжизненная холодная туманность парящих элементарных частиц. В такой блеклой холодной Вселенной разумная жизнь физически невозможна в принципе. Железные законы термодинамики пресекут любую передачу информации в этой ледяной среде, и вся жизнь, вне всяких сомнений, прекратится.

В XVIII веке люди впервые осознали, что Вселенная может погибнуть от холода. Комментируя гнетущую концепцию о том, что законы физики, по-видимому, обрекают на смерть всю разумную жизнь, Чарльз Дарвин писал: «Та вера, которую я питаю в то, что человек в далеком будущем будет намного более совершенным существом, делает невыносимой даже саму мысль о том, что он и все сознательные существа обречены на полное вымирание после такого продолжительного медленного прогресса». К несчастью, последние данные спутника WMAP, видимо, подтверждают самые худшие опасения Дарвина.

Побег в гиперпространство

Существует закон физики, согласно которому разумная жизнь во Вселенной в конце концов непременно погибнет. Но существует и закон эволюции, согласно которому при изменении окружающей среды жизнь должна либо покинуть ее, либо адаптироваться к ней, либо погибнуть. Поскольку адаптироваться ко Вселенной, несущей ледяную смерть, невозможно, то остаются лишь два варианта — либо умереть, либо покинуть эту Вселенную. Возможно ли, что, столкнувшись лицом к лицу с неотвратимой смертью Вселенной, цивилизации, отстоящие от нас на триллионы лет, достигнут успеха в разработке технологий, которые позволят покинуть нашу Вселенную и на суперкосмической «спасательной шлюпке» отправиться в другую вселенную, намного более молодую и «горячую»? Или же они используют свои высочайшие технологии для построения «временного кольца» и отправятся в свое прошлое, в котором температура на планетах была намного выше?

Некоторые физики, привлекая новейшие достижения науки, построили несколько правдоподобных, хотя и в высшей степени гипотетических схем, которые должны подтвердить реальность создания космических порталов или ворот в другую вселенную. Доски физических аудиторий по всему миру испещрены абстрактными уравнениями: физики вычисляют, возможно ли использование «экзотической энергии» и черных дыр для поисков туннеля, ведущего в другую вселенную. Может ли развитая цивилизация, по технологическим разработкам обгоняющая нашу на миллионы и миллиарды

лет, воспользоваться известными законами физики для перехода в другую вселенную?

Космолог Стивен Хокинг из Кембриджского университета однажды пошутил: «Если бы пространственно-временные туннели существовали, они были бы идеальным средством быстрого перемещения в Космосе. Можно было бы с утра пройти таким туннелем в другой конец галактики и вернуться к обеду».

Если же пространственно-временные туннели и порталы окажутся слишком тесными для массового переселения в другую вселенную, то есть еще один вариант: свести все информационное содержание развитой разумной цивилизации до молекулярного уровня и пропустить через туннель, а там оно снова организуется в самое себя. Таким образом, целая цивилизация сможет перенести свои «семена» через этот коридор и на новой почве снова расцвести во всей своей красе. Гиперпространство перестанет быть игрушкой в руках физиков-теоретиков и вполне сможет стать единственным спасением для разумной жизни, оказавшейся в умирающей вселенной.

Но для того, чтобы полностью разобраться в последствиях подобного шага, для начала необходимо понять, как мучительно космологи и физики шли к этим поразительным выводам. В книге «Параллельные миры» мы рассмотрим историю космологии, уделяя особое внимание парадоксам, веками наводнявшим эту область науки. В конце концов они породили инфляционную теорию, которая, не противореча никаким экспериментальным данным, заставляет нас поддержать концепцию существования многочисленных вселенных.

ГЛАВА 2

Парадоксальная Вселенная

Присутствуй я при сотворении мира, дал бы пару советов,
как получше обустроить Вселенную.

Альфонс Мудрый

Черт бы побрал эту Солнечную систему! Плохое освещение,
планеты слишком далеко, полно комет, задумка слабовата.
Я бы сотворил [Вселенную] получше.

Лорд Джеффри

В пьесе «Как вам это понравится» Шекспир написал бессмертные слова:

Весь мир — лишь сцена,
Где женщины, мужчины — лишь актеры.
*У них свои есть выходы, уходы**.

В Средние века мир был поистине сценой, но сценой маленькой, статичной, состоящей из крошечной плоской Земли, вокруг которой небесные тела следовали по своим совершенным орбитам. На кометы смотрели как на недобрые знамения, предвещающие смерть королей. Когда в 1066 году яркая комета появилась над Англией, она

В классическом переводе Т. Гцпкиной-Куперник эти слова звучат следующим образом: «Весь мир — театр. В нем женщины, мужчины — все актеры. У них свои есть выходы, уходы», но, поскольку слово *stage* означает не только «театр», но и «сцену», а автор на протяжении книги проводит аналогию Вселенной именно со сценой, мы дали именно такой перевод.

привела в ужас саксонскую армию короля Гарольда, и саксы стремительно отступили, проиграв сражение наступающей победоносной армии Вильгельма Завоевателя, тем самым подготовив сцену и все декорации для становления современной Англии.

Та же комета проплыла над Англией во второй раз в 1682 году, вновь став причиной восторга и ужаса в Европе. Казалось, каждый человек, от короля до крестьянина, был зачарован этой неожиданной небесной гостьей, пронесшейся в небесах. Откуда появилась комета? Куда она направлялась и предвестием каких событий служила?

Один богатый джентльмен, астроном-любитель Эдмунд Галлей, был настолько заинтригован кометой, что решил поинтересоваться мнением одного из величайших ученых того времени, сэра Исаака Ньютона. Когда он спросил Ньютона, какая сила управляет движением кометы, ученый спокойно ответил, что комета двигалась по эллипсообразной орбите согласно закону обратных квадратов (то есть сила притяжения, действующая на комету, менялась обратно пропорционально квадрату ее расстояния от Солнца). Ньютон объяснил, что на самом деле он давно наблюдал за кометой при помощи изобретенного им телескопа (того самого телескопа-рефлектора, которым в наше время пользуются астрономы всего мира) и та двигалась в полном соответствии с законом всемирного тяготения, который он, Ньютон, открыл еще 20 лет назад.

Галлей был невероятно поражен.

— Откуда вам это известно ?

— Я вычислил это, — ответил Ньютон.

Галлей даже не подозревал, что тайну небесных тел, волновавшую еще первых людей, обративших взор к небесам, можно разъяснить с помощью нового закона всемирного тяготения.

Пораженный значительностью этого монументального прорыва, Галлей предложил щедро финансировать публикацию новой теории. В 1687 году с помощью Галлея и при его финансовой поддержке Ньютон опубликовал свою грандиозную работу «Математические начала натуральной философии» (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*). Эта работа была провозглашена тогда (и признается сейчас) одной из самых важных из когда-либо опубликованных в мире. Разом все ученые, не имеющие понятия о других законах Солнечной системы, оказались в состоянии самостоятельно пред-

сказывать с величайшей точностью траекторию движения небесных тел.

«Начала» стали настолько популярны в салонах и при королевских дворах Европы, что поэт Александр Поуп писал:

Был этот мир глубокой тьмой окутан.

Да будет свет! И вот явился Ньютон*.

(Галлей понял, что, поскольку орбита кометы представляет собой эллипс, то можно вычислить, когда она снова появится над Лондоном. Просмотрев старые записи, он обнаружил, что кометы 1531, 1607 и 1682 годов были на самом деле одной и той же кометой. Комету, оказавшую столь сильное влияние на становление современной Англии в 1066 году, на протяжении всей истории видели многие люди, в том числе Юлий Цезарь. Галлей предсказал, что комета вновь вернется в 1758 году. Когда же комета уже через годы после кончины Галлея и Ньютона действительно вернулась в предсказанный год на Рождество, ее назвали кометой Галлея.)

Ньютон открыл закон всемирного тяготения тогда, когда в связи с эпидемией чумы закрылся Кембриджский университет и ученый был вынужден уехать в свое поместье в Вульсторп. Ньютон с нежностью вспоминал прогулку в тамошнем парке, когда увидел, как упало яблоко. Тут он задал себе вопрос, которому в конечном счете суждено было изменить ход человеческой истории: если падает яблоко, падает ли также и Луна? В момент гениального озарения Ньютон понял, что яблоки, Луна, вообще все планеты подчиняются одному и тому же закону всемирного тяготения, что их падение (точнее, их движение) связано с законом обратных квадратов. Когда Ньютон обнаружил, что математика XVII века слишком примитивна, чтобы описать этот закон, он изобрел новое направление в математике — вычислительную математику, — чтобы определить скорость падения яблок и лун.

В «Началах» Ньютон изложил также законы механики, которые определяют траектории всех земных и небесных тел. Эти «Начала» легли в основу теории конструирования машин, использования энергии пара, а также создания локомотивов, которые, в свою очередь, способствовали промышленной революции и развитию современ-

* Пер. С. Маршака.

ной цивилизации. В наши дни все небоскребы, мосты и ракеты строятся с учетом ньютоновских законов механики.

Ньютон не только дал нам вечные законы механики; он также перевернул наше видение мира, представил совершенно новую картину Вселенной, где таинственные законы, управляющие движением небесных тел, были идентичны законам, действующим на Земле. Сцена жизни отныне уже не была окружена наводящими ужас небесными знаменами; актеры подчинялись тем же законам, что и декорации.

Парадокс Бенгли

Поскольку «Начала» были работой революционной, они вызвали к жизни первые парадоксы в теориях о строении Вселенной. Если весь мир — сцена, то насколько она велика? Конечен мир или бесконечен? Это извечный вопрос, которым задавался еще римский философ Лукреций Кар. «Вселенная не ограничена ни в одном направлении, — говорил он. — Ведь совершенно ясно, что вещь может иметь предел лишь в том случае, если вне ее существует что-либо. Поэтому во всех измерениях, будь то вперед или назад, вверх или вниз, Вселенной нет конца».

Но теория Ньютона раскрыла и парадоксы, присущие любой теории конечной или бесконечной Вселенной. Простейшие вопросы ведут к целой бездне противоречий. Еще греясь в лучах славы, которую принесла ему публикация «Начал», Ньютон обнаружил, что его теория гравитации изобилует парадоксами. В 1692 году священник, преподобный отец Ричард Бенгли, написал обезоруживающе простое, но огорчительное для Ньютона письмо. Тот факт, что гравитация всегда притягивала и никогда не отталкивала, написал Бенгли, означает, что звезды, входящие в какое-либо скопление, естественным образом столкнутся друг с другом. Если Вселенная конечна, то ночное небо вместо того, чтобы быть неизменным и статичным, должно было бы представлять собой сцену невероятного побоища, поскольку звезды при столкновении друг с другом сливались бы в огненные суперзвезды. Но Бенгли также обратил внимание на то, что если бы Вселенная была бесконечна, то сила, действующая на любой предмет, также была бы бесконечной и тянула бы и вправо, и

влево, что стало бы причиной того, что звезды разорвало бы в клочья в результате огненных катаклизмов.

Поначалу казалось, что Бентли разгромил теорию Ньютона в пух и прах. Либо Вселенная конечна (и слилась в огненный шар), либо она бесконечна (в таком случае все звезды должны разлететься в стороны). Оба варианта разрушали новую теорию Ньютона. Эта проблема впервые в истории обнаружила едва различимые внутренние парадоксы, свойственные любой теории гравитации при применении ее ко всей Вселенной.

Поразмыслив, Ньютон написал Бентли, что обнаружил слабое место в его аргументации. Ученый писал, что считает Вселенную бесконечной, но совершенно однородной. Таким образом, если звезду тянет в какую-то сторону бесконечное количество звезд, то эту силу уравновешивает тяготение в противоположном направлении другого бесконечного количества звезд. Все силы во всех направлениях сбалансированы, и это создает статичную Вселенную. Таким образом, если сила гравитации всегда только притягивает, то единственным решением парадокса Бентли будет существование однородной бесконечной Вселенной.

Ньютон действительно нашел слабое место в аргументации Бентли. Однако он был достаточно умен, чтобы сознавать неубедительность своего ответа. Он признал в письме, что предлагаемое им решение, несмотря на техническую правильность, было нестабильным внутренне. Однородная, но бесконечная Вселенная Ньютона была похожа на карточный домик: на вид устойчивая, она могла рассыпаться, стоило ее чуть потревожить. Можно рассчитать, что, даже если одна-единственная звезда чуть-чуть качнется, это станет началом цепной реакции и скопления звезд начнут разрушаться. Своим ответом Ньютон отсылал к «божественной силе», которая якобы не дает развалиться его карточному домику.

«Необходимо воздействие непрерывного чуда, чтобы Солнце и звезды, находящиеся в покое, не устремились друг к другу под действием силы тяготения», — писал он.

Ньютону Вселенная представлялась как гигантские часы, запущенные Господом в начале времен и идущие с тех пор, повинувшись трем законам механики и не требуя божественного вмешательства. Но временами Господу все же приходилось вмешиваться и слег-

ка настраивать механизм Вселенной, чтобы она не разрушилась. (Иными словами, иногда Господу приходилось вмешиваться, чтобы декорации на сцене творения не развалились и не рухнули на головы актеров.)

Парадокс Ольберса

Кроме парадокса Бентли, существовал еще более интересный парадокс, который не могла обойти ни одна теория бесконечной Вселенной. Ольберс задался вопросом, почему ночное небо черное. Еще во времена Иоганна Кеплера астрономы знали, что если бы Вселенная была однородной и бесконечной, то, куда бы мы ни бросили взгляд, мы видели бы небо, освещенное бесконечным количеством звезд. В какую бы точку ночного неба ни был устремлен наш взгляд, он в конце концов наткнулся бы на бесконечное количество звезд и мы видели бы небо, залитое бесконечным количеством звездного света. Тот факт, что ночное небо — черное, а не яркое, веками считался глубоким космическим парадоксом.

Парадокс Ольберса, подобно парадоксу Бентли, обманчиво прост, но он терзал душу многим поколениям философов и астрономов. И один парадокс, и второй опираются на наблюдения, что в бесконечной Вселенной гравитационные силы и световое излучение могут слагаться, что приведет к бесконечным значениям и того, и другого. За сотни лет было предложено множество неверных объяснений. Кеплер был настолько обеспокоен этим парадоксом, что просто постулировал: Вселенная конечна, находится в оболочке, а потому лишь ограниченное количество звездного света достигает наших глаз.

Замешательство, вызванное этим парадоксом, было столь массовым (если массой считать ученое сообщество), что, согласно результатам исследования, проведенного в 1987 году, 70% учебников по астрономии давали неверный ответ на этот вопрос, 30% от ответа воздержались.

Можно было попытаться решить парадокс Ольберса, предположив, что звездный свет поглощается пылевыми облаками. Именно такой ответ в 1823 году дал сам Генрих Вильгельм Ольберс, когда впервые точно сформулировал парадокс. Ольберс написал: «Очень

удачно, что Земля не получает свет из каждой точки небесного свода! Однако при такой невообразимой яркости и температуре, которые в 90 000 раз выше тех, каким мы подвергаемся сейчас, Всевышний легко мог создать организмы, способные адаптироваться и к таким экстремальным условиям». В объяснение того "факта, что Землю не заливают «свет столь же яркий, как и солнечный диск», Ольберс предположил, что, должно быть, пылевые облака поглощают сильный жар, делая жизнь на Земле возможной. Например, огненный центр нашей Галактики Млечный Путь, который по справедливости должен «сжигать» все небо, в действительности скрыт пылевыми облаками. Если мы посмотрим в направлении созвездия Стрельца, где находится центр Млечного Пути, вместо ослепительного огненного шара нашим глазам предстанет лишь темное пятно.

Но и пылевые облака не могут служить убедительным объяснением парадокса Ольберса. За достаточно длительное (чтобы не сказать — бесконечное) время пылевые облака поглотят свет бесконечного количества звезд и в конце концов засверкают сами подобно звездной поверхности. Таким образом, даже пылевые облака должны бы сиять в ночном небе.

По этой логике можно предположить, что чем дальше находится звезда, тем слабее ее свет. Факт по сути своей верен, но он не может служить ответом. Если мы взглянем на участок ночного неба, то увидим, что самые далекие звезды действительно тусклые, но чем дальше мы устремляем взгляд, тем больше звезд мы видим. Такого в однородной Вселенной не должно было бы быть — там небо казалось бы белым. (Это объясняется тем, что интенсивность звездного света, обратно пропорциональная квадрату расстояния до звезды, компенсировалась бы количеством звезд, прямо пропорциональным квадрату расстояния.)

Как ни странно, первым в истории человеком, решившим парадокс Ольберса, стал американский автор детективов Эдгар Аллан По, который увлекался астрономией. Перед самой смертью он опубликовал многие из своих наблюдений в неоднозначной философской поэме под названием «Эврика: Прозаическая поэма». Вот замечательный отрывок:

Будь множество звезд бесконечным, небесный свод был бы полностью залит светом, таким же, как мы видим в Галактике, —

поскольку не было бы ни единой точки на всем этом фоне, где не было бы звезды. Единственным способом, с помощью которого мы могли бы объяснить пустоты, которые в большом количестве наблюдаем при помощи телескопов, было бы предположение, что расстояние до невидимой части небесного свода настолько велико, что еще ни один луч света оттуда не был в состоянии достичь нас.

В заключение По писал о том, что эта мысль «слишком прекрасна, чтобы не содержать в себе Истину как неотъемлемую свою составляющую».

Это и есть ключ к верному ответу. Возраст Вселенной не бесконечен. Рождение мира было. Нашему взгляду доступна лишь некая часть звездного света. Свету наиболее отдаленных от нас звезд не хватило времени, чтобы достичь наших взоров. Космолог Эдвард Харрисон, впервые обнаруживший, что По разрешил парадокс Ольберса, написал: «Когда я впервые прочел слова По, я был поражен: как мог поэт, в лучшем случае ученый-любитель, 140 лет назад уловить верное объяснение, в то время как в наших колледжах до сих пор преподают объяснение неправильное?»

В 1901 году шотландский физик лорд Кельвин также нашел верное решение. Он осознал, что, глядя на ночное небо, мы видим его в прошлом, а не таким, каково оно сейчас, поскольку скорость света, хоть и гигантская по земным меркам (299 792 458 м/с), все же конечна и свету отдаленных звезд необходимо время, чтобы достичь Земли. По подсчетам Кельвина, для того, чтобы ночное небо **было** белым, Вселенная должна бы растянуться на сотни триллионов световых лет. Но поскольку Вселенной не триллионы лет, небо будет только черным. (Существует также второй фактор, который способствует решению вопроса, почему ночное небо черное; и этот фактор — конечный жизненный цикл звезд, измеряющийся миллиардами лет.)

Недавно появилась возможность экспериментально проверить правильность этого решения при помощи таких спутников, как космический телескоп Хаббла. Эти телескопы, в свою очередь, позволяют нам ответить на вопрос, который задают даже дети: «Как далеко от нас самая далекая звезда? И что лежит за самой далекой звездой?» Чтобы ответить на эти вопросы, астрономы запрограммировали космический телескоп Хаббла для решения исторической задачи — заснять самую отдаленную точку Вселенной. Для того чтобы уловить

чрезвычайно слабые сигналы из отдаленнейших уголков Космоса, телескопу предстояло выполнить беспрецедентную работу: быть направленным в одну и ту же точку в небе рядом с созвездием Ориона на протяжении нескольких сотен часов, что требовало точнейшей настройки телескопа на протяжении четырех сотен оборотов Земли. Проект был столь сложен, что его выполнение растянулось более чем на четыре месяца.

В 2004 году на первых полосах газет всего мира была опубликована ошеломляющая фотография. На ней — скопление десяти тысяч ранних галактик, возникших из хаоса Большого Взрыва. «Возможно, нам довелось увидеть конец начала», — заявил Антон Коукемоур из Научного института космического телескопа. На фотографии изображено беспорядочное скопление рождающихся галактик на расстоянии более 13 млрд световых лет от Земли — то есть понадобилось более 13 млрд световых лет для того, чтобы их свет достиг Земли. Поскольку самой Вселенной лишь 13,7 млрд лет, это означает, что галактики сформировались примерно через полмиллиарда лет после возникновения Вселенной, когда первые звезды и галактики рождались из «кипящего бульона» газов, оставшихся после Большого Взрыва. «Хаббл переносит нас на расстояние, откуда камнем докинуть до Большого Взрыва», — заявил астроном Массимо Стивавелли из того же института.

Но тут возникает вопрос: что лежит за пределами самой далекой галактики? При внимательном рассмотрении этой замечательной фотографии становится понятно, что между галактиками — лишь тьма. Именно эта тьма является причиной того, что ночное небо — черное. Это последняя граница, за которой мы не видим света дальних звезд. Однако эта «тьма» и сама является реликтовым микроволновым излучением. Таким образом, окончательный ответ на вопрос, почему ночное небо черное, таков: на самом деле ночное небо совсем не черное. (Если бы наши глаза каким-¹тм образом могли воспринимать микроволновое излучение, а не только видимый спектр, мы бы увидели излучение, порожденное Большим Взрывом и наполняющее ночное небо. В каком-то смысле, излучение Большого Взрыва является каждую ночь. Если бы наши глаза могли улавливать микроволны, мы бы увидели, что за самой далекой звездой обретается само творение.)

Эйнштейн-мятежник

Законы, открытые Ньютоном, так хорошо объясняли мир, что науке понадобилось более двухсот лет, чтобы сделать очередной серьезный шаг. Этот шаг был связан с работой Альберта Эйнштейна. Начало его карьеры никак не предвещало такой революции в науке. Получив степень бакалавра в Политехническом институте в Цюрихе (Швейцария), в 1900 году, Эйнштейн обнаружил, что получить работу нет никакой надежды. Его карьеру разрушили его же преподаватели, не любившие самонадеянного дерзкого студента, который часто срывал занятия. Тоскливые безысходные письма свидетельствуют о тяжелой депрессии. Альберт считал себя неудачником и тяжелой обузой для родителей. В одном горьком письме он признавался, что даже собирался свести счеты с жизнью: «Несчастье моих бедных родителей, у которых за столько лет не было ни единой минуты счастья, тяжелее всего давит на мои плечи... Я лишь обуза для родственников... Наверняка было бы лучше, если бы я вообще не жил», — с горечью писал он.

В отчаянии Альберт подумывает о том, чтобы бросить науку и поступить в страховую компанию. Он даже взялся за частные уроки, но поспорил с работодателем и его уволили. Когда подруга Эйнштейна Милева Марик неожиданно забеременела, он сознавал, что ребенок останется незаконнорожденным, потому что на женитьбу у него нет средств. (Никто не знает, что в конце концов стало с его незаконнорожденной дочерью Лизераль.) Глубокое потрясение, которое испытал Эйнштейн, когда внезапно умер его отец, оставило в душе незаживающую рану, от которой он так никогда и не излечился. Ученый всегда помнил, что отец умер, считая сына неудачником.

Хотя 1901-1902 годы были самым трудным периодом в жизни Эйнштейна, от забвения его спасла рекомендация сокурсника, Марселя Гроссмана, который, потянув «за кое-какие ниточки», обеспечил Эйнштейну работу скромного клерка в Швейцарском патентном бюро в Берне.

Парадоксы относительности

На первый взгляд, патентное бюро было не самым перспективным местом, где могла начаться величайшая со времен Ньютона револю-

ция в физике. Но были у этой службы и свои преимущества. Быстро разделившись с заявками на патенты, загромождавшими его стол, Эйнштейн откидывался на стуле и погружался в детские воспоминания. В молодости он прочел «Естественнонаучные книги для народа» Аарона Бернштейна, «работу, которую я прочел, затаив дыхание», вспоминал Альберт. Бернштейн предлагал читателю представить, что тот следует параллельно с электрическим током, когда тот передается по проводам. В 16 лет Эйнштейн задал себе вопрос: на что был бы похож луч света, если бы его можно было догнать? Он вспоминал: «Такой принцип родился из парадокса, на который я натолкнулся в 16 лет: если я гонюсь за лучом света со скоростью c (скорость света в вакууме), я должен наблюдать такой луч света как пространственно колеблющееся электромагнитное поле в состоянии покоя. Однако, кажется, такой вещи не может существовать — так говорит опыт, и так говорят уравнения Максвелла». В детстве Эйнштейн считал, что если двигаться параллельно лучу света со скоростью света, то свет будет казаться замерзшим, подобно застывшей волне. Однако никто не видел замерзшего света, так что тут явно что-то было не так.

В начале нового века существовали в физике два столпа, на которых покоилось все: ньютоновская теория механики и гравитации и теория света Максвелла. В 1860-е годы шотландский физик Джеймс Кларк Максвелл доказал, что свет состоит из пульсирующих электрических и магнитных полей, постоянно переходящих друг в друга. Эйнштейну же предстояло открыть, к его великому потрясению, что эти два столпа противоречат друг другу, и одному из них предстояло рухнуть.

В уравнениях Максвелла он обнаружил решение загадки, которая преследовала его на протяжении 10 лет. Эйнштейн нашел в них то, что упустил сам Максвелл: уравнения доказывали, что свет перемещается с постоянной скоростью, при этом было совершенно неважно, с какой скоростью вы пытались догнать его. Скорость света c была одинаковой во всех инерциальных системах отсчета (то есть системах отсчета, двигающихся с постоянной скоростью). Стояли ли вы на месте, ехали ли на поезде или примостились на мчащейся комете, вы бы обязательно увидели луч света, несущийся впереди вас с постоянной скоростью. Неважно, насколько быстро вы двигались бы сами, — обогнать свет вам не под силу.

Такое положение дел быстро привело к появлению множества парадоксов. Представьте на миг астронавта, пытающегося догнать луч света. Астронавт стартует на космическом корабле, и вот он несется голова в голову с лучом света. Наблюдатель на Земле, ставший свидетелем этой гипотетической погони, заявил бы, что астронавт и луч света двигаются бок о бок. Однако астронавт сказал бы нечто иное, а именно: луч света уносился от него вперед, как если бы космический корабль находился в состоянии покоя.

Вопрос, вставший перед Эйнштейном, заключался в следующем: как могут два человека настолько по-разному интерпретировать одно и то же событие? По теории Ньютона, луч света всегда можно догнать; в мире Максвелла это было невозможно. Эйнштейна внезапно озарило, что уже в фундаментальных основах физики таился фундаментальный же изъян. Эйнштейн вспоминал, что весной 1905 года «в моей голове разразился шторм». Он наконец нашел решение: *время движется с различными скоростями в зависимости от скорости движения*. По сути, чем быстрее двигаться, тем медленнее движется время. Время не абсолютно, как когда-то считал Ньютон. По Ньютону, время однородно во всей Вселенной и длительность одной секунды на Земле будет идентична одной секунде на Юпитере или Марсе. Часы абсолютно синхронизированы со всей Вселенной. Однако, по Эйнштейну, различные часы во Вселенной идут с различными скоростями.

Эйнштейн понял, что если бы время могло меняться в зависимости от скорости^{*}, то другие величины, такие, как длина, масса и энергия, также должны меняться. Он обнаружил, что чем быстрее тело движется, тем более оно сокращается в направлении движения (что иногда называют «сокращением Лоренца-Фицджеральда»). Подобным образом, чем быстрее вы двигаетесь, тем тяжелее вы становитесь. (По сути, когда вы приблизитесь к скорости света, время замедлится до полной остановки, ваши размеры сократятся до полного нуля, а ваша масса возрастет до бесконечности — все это полный абсурд. Это причина того, что нельзя превысить световой барьер, который является скоростным пределом во Вселенной.)

* Примечания автора, обозначенные цифрами в квадратных скобках, см. в конце книги (стр.403).

Это странное искажение пространства-времени склонило некоего поэта написать следующее:

Жил-был парень по имени Фиск,
Фехтуя, он был крайне быстр,
И так был он быстр во владении,
Что Фицджеральдово сокращение
Превратило рапиру в диск.

Подобно тому как прорыв Ньютона объединил земную и небесную физику, Эйнштейн объединил время и пространство. Но он также показал, что материя и энергия взаимосвязаны и потому могут переходить друг в друга. Если объект становится тем тяжелее, чем быстрее он движется, это означает, что энергия движения трансформируется в материю. Обратное также справедливо — материя может быть преобразована в энергию. Эйнштейн подсчитал, сколько энергии будет преобразовано в материю, и вывел формулу $E = mc^2$, то есть даже крошечное количество материи m умножается на огромное число (квадрат скорости света) при превращении в энергию E . Таким образом, был обнаружен таинственный источник энергии звезд — им оказалось преобразование материи в энергию согласно уравнению, которое справедливо для всей Вселенной. Тайну звезд оказалось возможным раскрыть благодаря простому утверждению, что скорость света одинакова во всех инерциальных системах отсчета.

Так, как когда-то Ньютон, Эйнштейн изменил наш взгляд на подмостки жизни. В мире Ньютона все актеры точно знали, который час и как измеряется расстояние. Ход времени и размеры сцены никогда не менялись. Но относительность принесла нам причудливое понимание пространства и времени. Во Вселенной Эйнштейна наручные часы каждого актера показывают свое время. Это означает, что сверить все часы, тикающие на сцене, невозможно. На репетицию, назначенную в полдень, разные актеры явятся в разное время. И вообще, когда актеры бегают по сцене, происходят вещи необыкновенные. Чем быстрее они двигаются, тем медленнее тикают их часы и тем более тяжелыми и плоскими становятся их тела.

Потребовались годы, чтобы широкое научное сообщество приняло взгляды Эйнштейна. Но сам Эйнштейн не стоял на месте; он

хотел применить свою новую теорию относительности к самой гравитации. Он осознавал всю сложность своего предприятия — в одиночку заниматься самой прогрессивной и «тяжеленной» теорией своего времени, точнее, опережающей свое время. Макс Планк, создатель квантовой теории, предостерегал Эйнштейна: «Как старший друг я должен предупредить тебя, чтобы ты не делал этого, ибо, во-первых, ты не добьешься успеха, а даже если и добьешься, никто тебе не поверит».

Эйнштейн понимал, что его новая теория относительности разрушала теорию гравитации Ньютона. По Ньютону, гравитация распространялась во Вселенной мгновенно. Но тут возникает вопрос, который иногда задают даже дети: «Что будет, если Солнце исчезнет?» По Ньютону, вся Вселенная тут же станет свидетельницей исчезновения Солнца. Но по теории относительности это невозможно, поскольку информация об исчезновении звезды ограничена скоростью света. Согласно теории относительности, внезапное исчезновение Солнца вызвало бы сферическую ударную волну гравитации, распространяющуюся во все стороны со скоростью света. Наблюдатели, находящиеся с внешней стороны ударной взрывной волны, сказали бы, что Солнце продолжает светить, поскольку гравитация еще не успела достичь их. Но наблюдатель внутри волны сказал бы, что Солнце исчезло. Для разрешения этой проблемы Эйнштейн ввел совершенно новые понятия пространства и времени.

Сила как искривление пространства

Ньютон понимал пространство и время как огромную пустую арену, где события происходят в соответствии с его законами механики. Когда-то сцена была полна чудес и тайн, но, по существу, оставалась инертной и неподвижной, лишь пассивной свидетельницей ритуального танца природы. Однако Эйнштейн перевернул это представление. Для Эйнштейна сама сцена становится важной составляющей жизни. Во Вселенной Эйнштейна пространство и время уже не были статичной сценой, как предполагал (и предписывал) Ньютон, — они приобрели динамичность, изгибались и извивались причудливым образом. Представьте, что сцену жизни заменил батут, на котором все актеры мягко проседают под собственным весом. При таком по-

ложении дел мы увидим, что сцена становится столь же важной, как и актеры.

Представьте, что на кровать положили шар для игры в боулинг и он мягко утопает в матрасе. Теперь подтолкните небольшой шарик по искривленной поверхности матраса. Шарик будет двигаться. Ньютоновец, увидев с большого расстояния шарик, огибающий большой шар, пришел бы к выводу, что существует некая таинственная сила, с которой шар для игры в боулинг воздействует на маленький шарик. Он сказал бы, что шар для боулинга мгновенно воздействует на маленький шарик, притягивая его к центру.

Для релятивиста, который наблюдает движение шарика с близкого расстояния, совершенно ясно, что никакой силы не существует вообще. Есть лишь искривление матраса, которое и заставляет шарик двигаться по кривой. Он говорит: «При чем тут притяжение? Есть лишь давление, которое оказывает матрас на маленький шарик. Теперь возьмем вместо шарика Землю, вместо большого шара — Солнце, а вместо матраса — Космос, и мы поймем, что Земля движется вокруг Солнца не из-за гравитационного притяжения, а потому, что Солнце искажает космическое пространство вокруг Земли и тем создает давление, заставляющее Землю двигаться по окружности.

Таким образом, Эйнштейн пришел к выводу, что гравитация больше похожа на материю, нежели на невидимую силу, действующую мгновенно в пределах всей Вселенной. Если быстро встряхивать материю, то образовавшиеся волны побегут по ее поверхности с определенной скоростью. Это разрешает парадокс исчезнувшего Солнца. Если гравитация — побочный продукт искривления материи пространства-времени, то исчезновение Солнца можно сравнить (вернемся к матрасу) с резким подскоком с постели шара для игры в боулинг. Когда матрас резко возвращает себе первоначальную форму, по поверхности простыни бегут волны,двигающиеся с определенной скоростью. Таким образом, сведя гравитацию к искривлению пространства и времени, Эйнштейн смог примирить ее с теорией относительности.

Представьте себе муравья, пытающегося бежать по смятому листу бумаги. Он будет передвигаться, раскачиваясь, будто пьяный матрос, влево и вправо. Муравей горячо возразил бы, что он не пьян, утверждая, что его качает таинственная сила, дергая то влево, то вправо.

Для муравья это ничем не заполненное пространство полно таинственных сил, мешающих ему идти прямо. Однако, глядя на муравья с близкого расстояния, мы видим, что никакая сила его не тянет. Его «толкают» складки мятого листа бумаги. Силы, воздействующие на муравья, — это всего лишь иллюзия, вызванная искривлением пространства. Воздействие силы — на самом деле лишь «толчок», когда он перешагивает через складку бумаги. Другими словами, не гравитация притягивает, а пространство отталкивает.

В 1915 году Эйнштейну наконец удалось завершить то, что он назвал общей теорией относительности, и это стало фундаментом, на котором покоится вся космология. В этой удивительной картине мира гравитация выступает не как независимая сила, заполняющая Вселенную, а как видимый эффект искривления материи пространства-времени. Теория Эйнштейна была так всеобъемлюща, что подытожить ее ему пришлось в длинном уравнении. В этой блестящей новой теории степень искривления пространства и времени определялась количеством материи и энергии, содержащихся в них. Представьте, что в пруд бросили камень. По поверхности пруда пойдет рябь, вызванная падением камня. Чем больше камень, тем более неровной станет поверхность пруда. Похожим образом, чем больше звезда, тем сильнее искривление пространства-времени, окружающего звезду.

Рождение космологии

Эйнштейн попытался использовать подобный принцип для описания Вселенной как целостного образования. Его ожидало столкновение с парадоксом Бентли. В 1920-е годы большинство астрономов верило в то, что Вселенная однородна и статична. Поэтому Эйнштейн отталкивался от предположения, что Вселенная однородно заполнена пылью и звездами. В одной из моделей Вселенная сравнивается с большим воздушным шаром или мыльным пузырем. Мы живем на его поверхности. Звезды и галактики, которые мы видим вокруг себя, можно сравнить с точками, нарисованными на поверхности воздушного шарика.

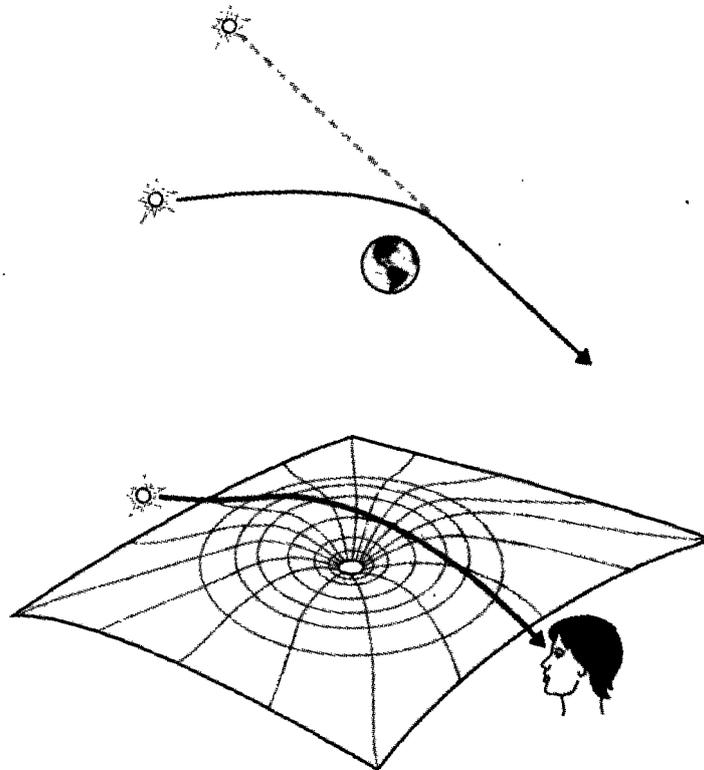
К своему удивлению, всякий раз, когда Эйнштейн пытался решить собственные уравнения, он приходил к выводу, что Вселенная дина

мична. Ученый столкнулся с той самой проблемой, которую сформулировал Бенгли более чем за два столетия до того. Поскольку гравитация всегда притягивает и никогда не отталкивает, ограниченное количество звезд должно взорваться в огненном катаклизме. Однако это противоречило господствующему в начале XX века мнению, главившему, что Вселенная как раз статична и однородна.

Несмотря на всю свою революционность, Эйнштейн не мог поверить, что Вселенная может двигаться. Подобно Ньютону и множеству остальных ученых, Эйнштейн верил в статичную Вселенную. Так, в 1917 году Эйнштейн был вынужден ввести в свои уравнения новый член, некий «поправочный множитель», он вводил в свою теорию новую, «антигравитационную» силу, которая толкала звезды прочь друг от друга. Эйнштейн назвал ее «космологической константой», и она выглядела «гадким утенком», запоздалым дополнением к его теории. Эйнштейн без достаточных на то оснований, чтобы полностью нейтрализовать силы гравитации, ввел антигравитацию, создавая тем самым статичную Вселенную. Другими словами, Вселенная стала статичной просто по воле Эйнштейна: внутреннее сокращение Вселенной благодаря гравитации нейтрализовалось внешней силой темной энергии. (На протяжении 70 лет эта антигравитационная сила считалась в физике чем-то вроде сироты, вплоть до открытий последних лет.)

В 1917 году голландский физик Биллем де Ситтер предложил еще одно решение для уравнений Эйнштейна, где Вселенная была бесконечной и полностью лишенной всякой материи. По сути, Вселенная состояла только из энергии, содержащейся в вакууме, — космологической константы. Этой чистой антигравитационной силы было достаточно, чтобы вызвать стремительное экспоненциальное расширение Вселенной. Даже без всякой материи эта темная энергия могла создать расширяющуюся Вселенную.

Теперь перед физиками встала дилемма. Во Вселенной Эйнштейна существовала материя, но не было движения. Во Вселенной де Ситтера было движение, но не существовало материи. Во Вселенной Эйнштейна космологическая константа оказалась необходимой для нейтрализации гравитационного притяжения и создания статичной Вселенной. Во Вселенной де Ситтера одной космологической константы было достаточно для создания расширяющейся Вселенной.



В 1919 году две команды ученых подтвердили предсказание Эйнштейна, что свет далекой звезды будет искривляться, проходя вблизи Солнца.

Таким образом, будет казаться, что звезда несколько изменила свое положение в пространстве, притягиваемая Солнцем. Это происходит потому, что Солнце искривляет пространство-время, окружающее его.

Таким образом, гравитация не «притягивает». Это пространство «толкает».

В конце концов в 1919 году, когда Европа, залечивая раны, пыталась выбраться из-под руин Первой мировой войны, по всему миру были разсланы команды ученых-астрономов для проверки новой теории Эйнштейна. Эйнштейн предположил, что искривление пространства-времени Солнцем будет достаточным для искривления звездного света, проходящего вблизи Солнца. Величину искривления звездного света можно было точно подсчитать, подобно тому как можно вычислить, насколько стекло искривляет свет. Но поскольку

днем сияние Солнца скрывает все звезды, для проведения решающего эксперимента ученым пришлось ждать наступления солнечного затмения.

Группа, возглавляемая британским астрофизиком Артуром Эддиштоном, отправилась на остров Принсипи в Гвинейском заливе (у побережья Западной Африки), чтобы запечатлеть искривление света звезд вокруг Солнца во время будущего солнечного затмения. Другая команда под руководством Эндрю Кроммелина отправилась в деревню Собраль в Северной Бразилии. Собранные ими данные свидетельствовали, что средняя величина отклонения звездного света равняется 1,79 секунды дуги, что вполне соотносилось с предсказанной Эйнштейном 1,74 дуговой секунды (неточность объяснялась погрешностью измерений в ходе эксперимента). Иными словами, свет действительно искривлялся вблизи Солнца. Позднее Эддингтон заявил, что проверка теории Эйнштейна стала одним из величайших моментов его жизни.

6 ноября 1919 года на совместном заседании Королевского общества и Королевского астрономического общества в Лондоне нобелевский лауреат и президент Королевского общества Дж. Дж. Томсон торжественно объявил, что это «одно из величайших достижений в истории человеческой мысли. Это открытие не отдаленного острова, а целого континента новых научных идей. Это величайшее открытие в области гравитации с тех пор, как Ньютон сформулировал свои законы».

(По легенде, позднее некий репортер спросил Эддингтона: «Ходят слухи, что во всем мире лишь трое понимают теорию Эйнштейна. Вы, должно быть, один из них». Эддингтон стоял, ни говоря ни слова, и репортер добавил: «Не скромничайте, Эддингтон». Эддингтон пожал плечами и ответил: «Я вовсе не скромничаю. Я просто задумался, кто же может быть третьим».)

На следующий день лондонская «Тайме» вышла с сенсационным заголовком: «Научная революция — Новая теория Вселенной — Идеи Ньютона низвергнуты». Этот заголовок определил момент, когда Эйнштейн стал фигурой мирового значения, посланцем звезд.

Заявление было настолько ошеломляющим, а отход Эйнштейна от идей Ньютона настолько радикален, что в обществе возникла

негативная реакция — даже выдающиеся физики и астрономы осудили эту теорию. В Колумбийском университете Чарльз Лейн Пуэр, преподаватель астрономии, возглавил кампанию по критике теории относительности. Он объявил: «Я чувствую себя так, будто прогулялся с Алисой по стране чудес и побывал на чаепитии у Безумного Шляпника».

Причина, по которой теория относительности противоречит здравому смыслу, заключается не в том, что теория относительности неверна, а в том, что наш здравый смысл не в состоянии представить реальность. Мы — странноватое произведение природы. Мы заселяем необычный объект неживимости, где температура, плотность и скорости довольно умеренны. Однако в «настоящей Вселенной» температуры могут быть невероятно высокими в центре звезды или чрезвычайно низкими в открытом космосе, а субатомные частицы проносятся в космическом пространстве со скоростью, близкой к скорости света. Другими словами, наш здравый смысл сформировался в крайне необычной темной части Вселенной, на Земле, а потому неудивительно, что наш рассудок не может постичь истинные размеры Вселенной. Проблема не в теории относительности, а в нашем убеждении, что наш рассудок в состоянии объяснить реальность.

Будущее Вселенной

Хотя теория Эйнштейна успешно объясняла такие астрономические явления, как искривление звездного света вокруг Солнца и легкое смещение орбиты Меркурия, все же космологические прогнозы были не совсем ясны. Положение вещей в значительной степени прояснил русский физик Александр Фридман, открывший самые общие и реалистичные решения уравнений Эйнштейна. И в наши дни эти решения изучаются в курсе общей теории относительности. (Он открыл их в 1922 году, умер через три года, и о его работе вспомнили лишь спустя много лет.)

Теория Эйнштейна в общем случае описывается рядом чрезвычайно сложных уравнений, для решения которых зачастую необходим компьютер. Однако Фридман предположил, что Вселенная динамична, а затем привел два упрощающих допущения (называемые

«космологическим принципом»): Вселенная изотропна (она выглядит одинаково вне зависимости от того, в каком направлении мы смотрим из данной точки) и гомогенна (она однородна, в какой бы точке Вселенной мы ни находились).

Если применить эти упрощающие допущения, видно, что уравнения обретают решения. (По сути, и решение Эйнштейна, и решение де Ситтера представляли собой лишь частные случаи более общего решения Фридмана.) Примечательно, что его решения зависели лишь от трех параметров:

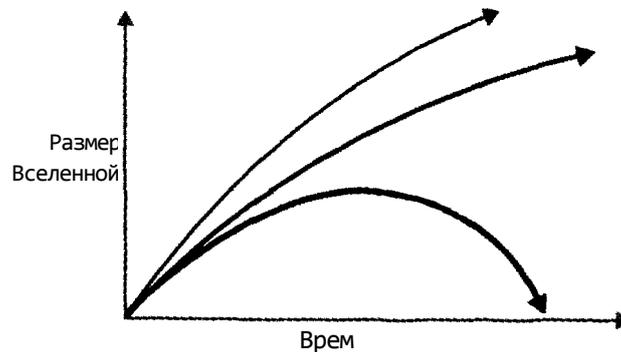
1. H , определяющая скорость расширения Вселенной (сегодня ее называют постоянной Хаббла в честь астронома, который действительно измерил расширение Вселенной).
2. ω (омега), которая определяет среднюю плотность материи во Вселенной.
3. λ (лямбда), энергия пустого космоса, или темная энергия.

Многие космологи всю свою профессиональную жизнь провели в попытках определить точное значение этих трех величин. Неуловимое взаимодействие между этими тремя постоянными определяет будущее развитие нашей Вселенной. Например, поскольку гравитация выражается силами притяжения, то плотность Вселенной ω действует в качестве некоего тормоза, замедляющего расширение Вселенной. Представьте, что вы подбросили камень. В обычных условиях гравитация достаточно велика, чтобы изменить движение камня, который падает обратно на Землю. Однако если подбросить камень с достаточной силой, то он преодолит действие гравитации и навсегда вырвется в открытый космос. Подобно камню, Вселенная первоначально расширилась в результате Большого Взрыва, но материя, ω , действует на расширение Вселенной как тормоз, точно также, как земная гравитация воздействует в качестве тормоза на подброшенный камень.

Теперь допустим, что λ , энергия пустого космоса, равна нулю. Пусть ω — плотность Вселенной, разделенная на критическую плотность. (Критическая плотность Вселенной равна приблизительно , 10 атомам водорода на кубический метр. Она в среднем соответствует одному атому водорода в объеме трех баскетбольных мячей — настолько пустынна Вселенная.)

Ученые считают, что если величина Ω меньше единицы, то во Вселенной недостаточно материи, чтобы обратить вспять первоначальное расширение, вызванное Большим Взрывом. (Подобно примеру с подброшенным камнем: если масса Земли недостаточно велика, то камень преодолеет земную гравитацию и улетит прочь.) В результате Вселенная будет расширяться вечно, погружаясь в ледяной холод — температуры ее приблизятся к абсолютному нулю. (Это принцип работы холодильника или кондиционера. Расширяясь, газ охлаждается. Например, газ, циркулирующий в трубке вашего кондиционера, расширяется, охлаждая трубку и вашу комнату.)

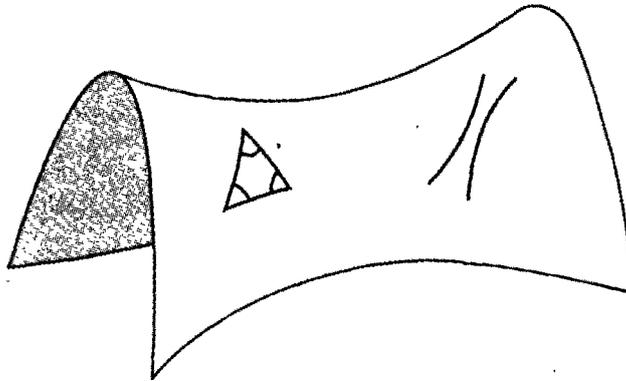
Если величина Ω больше 1, то во Вселенной достаточно материи и гравитации, чтобы в конце концов изменить направление космического расширения. В результате расширение Вселенной прекратится, а затем она начнет сжиматься. (Так же как в случае с подброшенным камнем: если масса Земли достаточно велика, то камень в конце концов достигнет наивысшей точки, а затем снова упадет на Землю.) Когда звезды и галактики устремятся навстречу друг другу, температуры начнут расти. (Каждый, кто хоть раз накачивал велосипедную шину, знает, что при сжатии газ нагревается. Механическая работа



Существует три варианта возможного развития Вселенной. Если Ω меньше 1 (а λ равна 0), то Вселенная будет продолжать расширяться вечно вплоть до Большого Охлаждения. Если Ω больше 1, то Вселенная придет к Большому Сжатию. Если Ω равна 1, то Вселенная — плоская и будет продолжать расширяться вечно. (Данные со спутника WMAP показывают, что Ω и λ в сумме дают единицу, а это означает, что Вселенная плоская.)

накачивания воздуха преобразует энергию гравитации в тепловую энергию.) В конце концов температуры станут настолько высокими, что всякая жизнь исчезнет, а во Вселенной начнется процесс «Большого Сжатия». (Астроном Кен Кросвелл называет этот процесс «от создания к сжиганию».)

Третий вариант заключается в том, что Ω равняется 1. Иными словами, плотность Вселенной равна критической плотности. В таком случае Вселенная балансирует на грани между двумя крайностями, но при этом она будет продолжать расширяться вечно. (Как мы увидим, этот сценарий развития вписывается в инфляционную картину.)



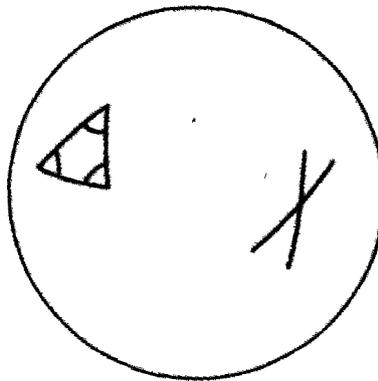
Если Ω меньше 1 (а λ равна 0), то Вселенная открыта, а ее кривизна отрицательна, как кривизна седла. Параллельные линии никогда не сходятся, а внутренние углы треугольника в сумме дают меньше 180 градусов.

И наконец, существует возможность, что Вселенная после Большого Сжатия снова возникнет при очередном Большом Взрыве. Эту теорию называют теорией пульсирующей Вселенной.

Фридман доказал, что каждый из описанных сценариев развития определяет кривизну пространства-времени. В случае, если Ω меньше 1 и Вселенная расширяется вечно, то, по Фридману, бесконечно не только время, но и пространство. Такую Вселенную называют «открытой», то есть бесконечной во времени и в пространстве. Когда Фридман подсчитал кривизну такой Вселенной, он обнаружил, что она отрицательна. (Это похоже на поверхность седла или изогнутой трубы. Если бы жучок жил на этой поверхности, он бы обнаружил,

что параллельные линии никогда не пересекаются, а внутренние углы треугольника в сумме дают меньше 180 градусов.)

Если ω больше 1, то Вселенная в конце концов придет к Большому Сжатию. Время и пространство конечны. Фридман открыл, что кривизна такой Вселенной положительна (она похожа на сферу). И, наконец, если ω равняется 1, то пространство плоское, а время и пространство границ не имеют.



Если ω больше 1, то Вселенная замкнута и ее кривизна положительна, как в сфере. Параллельные линии всегда сходятся, а внутренние углы треугольника в сумме дают больше 180 градусов.

Фридман не только первым применил комплексный подход к космологическим уравнениям Эйнштейна, он также представил наиболее реалистичную версию Судного Дня, конца Вселенной: исчезнет ли она в ледящем холоде, сгорит ли в Большом Сжатии или же будет продолжать пульсировать вечно. Ответ определяется ключевыми параметрами: плотностью Вселенной и энергией вакуума.

Но в картине, нарисованной Фридманом, зияет дыра. Если Вселенная расширяется, это означает, что у нее должно было быть начало. Теория Эйнштейна ничего не сообщает о моменте этого начала. Отсутствовал именно момент создания — Большой Взрыв. И вот в конце концов трое ученых представили нам убедительнейшую картину Большого Взрыва.

ГЛАВА 3

Большой Взрыв

**Вселенная не просто удивительнее, чем мы предполагаем;
она удивительнее, чем мы можем предположить.**

Дж. Б. С. Холдейн

Что мы, люди, ищем в истории создания, — так это способ познания мира, который откроет нам нечто, выходящее за пределы данных опыта, что дает нам знания и одновременно формирует нас в своих пределах. Вот что нужно людям. Вот чего просит душа.

Джозеф Кэмпбелл

Обложка журнала «Тайм» от 6 марта 1995 года с изображением большой спиральной галактики M100 гласила: «Космология в хаосе». Космология погрузилась в смятение, потому что последние данные, полученные с помощью космического телескопа Хаббла, явно указывали на то, что Вселенная моложе, чем ее старейшая звезда, а это с научной точки зрения невозможно. Данные показывали, что возраст Вселенной от 8 до 12 млрд лет, в то время как некоторые ученые придерживались мнения о том, что старейшие звезды насчитывают 14 млрд лет. «Вы не можете быть старше вашей мамочки», — прокомментировал этот факт Кристофер Импей из Аризонского университета.

Но раз уж вы прочитали заголовок, выделенный жирным шрифтом, то вы понимаете, что теория Большого Взрыва пребывает в

добром здравии. Доказательства, оспаривающие теорию Большого Взрыва, основывались на данных одной-единственной галактики M100, а такой метод научных исследований весьма сомнителен. В статье утверждалось, что бреши в теории «столь велики, что сквозь них легко прошел бы космический корабль "Энтерпрайз" из телесериала "Стар Трек"». С опорой на необработанные данные космического телескопа Хаббла возраст Вселенной можно было вычислить не точнее, чем с 10-20-процентной погрешностью.

Я считаю, что теория Большого Взрыва основывается не на догадках, а на результатах обработки сотен данных из нескольких источников, которые все вместе подтверждают единую непротиворечивую теорию. (В науке не все теории равнозначны. Каждый может предложить свою версию создания Вселенной, но при этом необходимо, чтобы такая теория могла объяснить результаты обработки множества собранных данных, которые легко вписываются в теорию Большого Взрыва.)

Три великих «доказательства» теории Большого Взрыва основаны на работе троих невероятно талантливых ученых, каждый из которых занимал ведущее положение в той области науки, которой занимался. Это Эдвин Хаббл, Георгий Гамов и Фред Хойл.

Эдвин Хаббл, астроном-аристократ

Теоретические основы космологии были заложены Эйнштейном, что же касается современной экспериментальной космологии, то своим созданием она практически полностью обязана Эдвину Хабблу — возможно, величайшему астроному XX столетия.

Хаббл родился в глухом местечке Маршфилд (штат Миссури). У скромного деревенского парня были тем не мене* большие амбиции. Отец, адвокат и страховой агент, убеждал его заняться юриспруденцией. Однако Эдвин был покорен романами Жюль Верна и... очарован звездами. Он жадно глотал классические произведения научной фантастики, такие, как «Двадцать тысяч лье под водой» и «Из пушки на Луну». Он прекрасно боксировал, тренеры уговаривали юношу профессионально заниматься боксом, чтобы со временем выйти на поединок с чемпионом мира в тяжелом весе Джеком Джонсоном.

Хаббл сумел получить престижную стипендию имени Родса для изучения юриспруденции в Оксфорде, где начал осваивать манеры британской аристократической элиты. (Он стал носить твидовые костюмы, курить трубку, добиваться безукоризненного британского выговора и рассказывать о дуэльных шрамах, хоть и поговаривали, что он нанес их себе сам.)

Однако счастья Хаббл не испытывал. Его не вдохновляли гражданские правонарушения и судебные процессы — сердце его с детства принадлежало звездам. Он набрался храбрости и круто изменил жизнь, отправившись из Чикагского университета в обсерваторию Маунт Уилсон в Калифорнии, где находился самый большой в мире телескоп со 100-дюймовым зеркалом. Начав карьеру так поздно, Хаббл очень торопился. Наверстывая упущенное время, он стремился как можно быстрее найти ответы на глубочайшие и древнейшие вопросы в астрономии.

В 1920-е годы Вселенная была удобным местечком. Люди верили, что она состоит лишь из Галактики Млечный Путь, туманной полосы света в ночном небе, напоминающей разлитое молоко. (Вообще, слово «галактика» происходит от греческого слова, обозначающего молоко.) В 1920 году состоялся «Великий спор» между астрономами Харлоу Шейпли и Хебером Кертисом из Ликской обсерватории. Спор шел на тему «Размер Вселенной» и касался размеров Галактики Млечный Путь и всей Вселенной в целом. Шейпли отстаивал точку зрения, что Млечный Путь — это и есть вся Вселенная. Кертис считал, что за пределами Млечного Пути находятся «спиральные туманности», странные, но очень красивые образования вращающейся туманной материи. (Еще в XVIII в. Иммануил Кант высказывал предположение, что эти туманности являются «островными Вселенными».)

Хаббл заинтересовался этим спором. Основной проблемой было то, что определение расстояния до звезд (и до сегодняшнего дня) является для астрономов дьявольски сложной задачей. Яркая, но очень далекая звезда может выглядеть точно так же, как тусклая, но ближняя звездочка. Эта путаница послужила источником многих серьезных споров и противоречий в астрономии. Для решения проблемы Хабблу требовалась так называемая «стандартная свеча», объект, который испускает одно и то же количество света в любой

точке Вселенной. (Вообще, значительная часть усилий в современной астрономии направлена именно на поиск и калибровку таких «стандартных свечей». Многие споры в астрономии ведутся именно о том, насколько в действительности надежны эти «свечи».) Если бы действительно существовала такая свеча, которая горит однородно и с одинаковой интенсивностью в любой точке Вселенной, то звезда, скажем, в четыре раза менее яркая, чем стандартная, просто находилась бы вдвое дальше от Земли.

Однажды вечером, когда Хаббл анализировал фотографию спиральной туманности Андромеды, у него наступил момент озарения. Он обнаружил в пределах туманности Андромеды разновидность переменной звезды (цефеиду), их изучением ранее занималась Генриетта Ливитт. Было известно, что цефеиды постоянно «разгорались» и меркли через определенные промежутки времени, при этом время одного полного цикла зависело от яркости звезды. Чем она ярче, тем дольше цикл пульсации. Таким образом, измерив продолжительность этого цикла, можно определить яркость звезды и вычислить расстояние до нее. Хаббл подсчитал, что период изменения блеска звезды составляет 31,4 дня, что, к его большому удивлению, соответствовало расстоянию в миллион световых лет, а значит, звезда находилась далеко за пределами Галактики Млечный Путь. (Светящийся диск Млечного Пути насчитывает лишь 100 000 световых лет в поперечнике. Дальнейшие подсчеты показали, что Хаббл даже недооценил действительное расстояние до Андромеды, которое приближается к двум миллионам световых лет.)

Проведя такой эксперимент с другими спиральными туманностями, Хаббл обнаружил, что они тоже находятся далеко за пределами Галактики Млечный Путь. Иначе говоря, ему стало ясно, что спиральные туманности представляют собой полноправные «островные вселенные», а Млечный Путь — лишь одна из многих галактик на небесном своде.

Размер Вселенной вырос буквально на глазах. Оказалось, что она вовсе не состоит из одной галактики, а заполнена миллионами, а возможно, и миллиардами сестер-галактик. Вместо 100 000 световых лет в поперечнике Вселенная вдруг стала измеряться миллионами, а возможно, и миллиардами световых лет.

Уже одно это открытие обеспечило бы Хаббл законное место в пантеоне великих астрономов. Но ему самому этого было мало. Хаббл намеревался не просто определить расстояние до галактик, но и вычислить, насколько быстро они движутся.

Эффект Доплера и расширяющаяся Вселенная

Хаббл знал, что простейшим способом вычислить скорость отдаленных объектов является анализ изменений в звуке или свете, который они испускают, так называемого эффекта Доплера. Машины издают звук, проносясь по шоссе. Полицейские пользуются эффектом Доплера для вычисления скорости, с которой вы едете. Они направляют на вашу машину луч лазера, который отражается обратно к полицейской машине. Проанализировав изменение частоты света лазера, полицейские могут вычислить скорость вашего движения.

Скажем, если звезда движется по направлению к вам, то световые волны, которые она испускает, складываются подобно мехам аккордеона. В результате длина волн испускаемого ею света становится короче. Желтая звезда будет казаться слегка синеватой (потому что волны синего цвета короче, чем желтого). Подобным образом, если звезда удаляется от вас, то ее световые волны растягиваются, становятся длиннее, и желтая звезда будет казаться уже красноватой. Чем больше искажение, тем больше скорость звезды. Таким образом, если мы знаем смещение частоты звездного света, мы можем определить скорость звезды.

В 1912 году астроном В. Слайфер обнаружил, что галактики удаляются от Земли с огромной скоростью. Вселенная не просто была изначально намного больше, чем ранее предполагалось, она еще и расширялась с огромной скоростью. Он обнаружил, что галактики имеют красное смещение, а не синее, что вызвано удалением галактик от нас. Открытие Слайфера показало, что Вселенная действительно динамична, а не статична, как предполагали Ньютон и Эйнштейн.

В те столетия, что ученые изучали парадоксы Бентли и Ольберса, никто не принимал всерьез тезис, что Вселенная расширяется.

В 1928 году Хаббл совершил, можно сказать, судьбоносную поездку в Голландию, где встретился с Виллемом де Ситтером. Хаббла заинтересовало предположение де Ситтера, что чем дальше находится галактика, тем с большей скоростью она должна двигаться. Представьте воздушный шарик, на поверхности которого нарисованы галактики. По мере увеличения шарика в объеме «галактики», расположенные недалеко друг от друга, разнесутся (разлетаются) в стороны сравнительно медленно. Чем ближе они друг к другу, тем медленнее они взаимно удаляются. Но галактики, находящиеся далеко друг от друга, разлетаются значительно быстрее.

Де Ситтер посоветовал Хабблу найти подтверждение этого явления в собранных им данных, что могло быть достигнуто анализом красного смещения галактик. Чем значительнее красное смещение галактики, тем быстрее она уносится прочь, а значит, тем дальше находится. (По теории Эйнштейна, красное смещение было вызвано не удалением галактики от Земли, а, напротив, расширением пространства между галактикой и Землей. Происхождение красного смещения он объяснял тем, что световые волны, испускаемые далекой галактикой, удлиняются в связи с расширением пространства, а потому сдвигаются в красную сторону спектра.)

Закон Хаббла

Вернувшись в Калифорнию, Хаббл последовал совету де Ситтера и приступил к поискам доказательств этого положения. Проанализировав 24 галактики, он обнаружил, что чем дальше находится галактика, тем быстрее она отдаляется от Земли, как и доказал Эйнштейн своими расчетами. Соотношение скорости и расстояния было приблизительно постоянным. Эта величина известна как постоянная Хаббла, или H . Возможно, постоянная Хаббла является важнейшим космическим критерием, поскольку она выражает скорость расширения Вселенной.

Ученые задумались над тем, что если Вселенная расширяется, то у нее непременно должно было быть начало. Величина, обратная постоянной Хаббла, позволяет нам определить приблизительный возраст Вселенной. Представьте, что вы смотрите видеозапись взры-

ва. Вы видите осколки, улетающие прочь от места взрыва, и можете примерно вычислить скорость расширения. Но это также означает, что можно отмотать пленку назад, до того момента, когда все осколки еще составляют единое целое. Зная скорость расширения Вселенной, мы можем перенестись назад и вычислить примерно время, когда произошел Большой Взрыв.

(По первоначальной оценке Хаббла, возраст Вселенной — около 1,8 млрд лет, что добавило головной боли целым поколениям космологов, поскольку эта цифра меньше, чем предполагаемый возраст Земли и звезд. Годы спустя астрономы поняли, что ошибки, допущенные при измерении света от переменных цефеид в туманности Андромеды, стали причиной неверного вычисления значения постоянной Хаббла. По сути, «Хаббловы войны» по поводу уточненного значения постоянной Хаббла бушевали на протяжении последних 70 лет. На сегодняшний день наиболее точную цифру дают данные, полученные спутником WMAP.)

В 1931 году в ходе триумфального посещения Эйнштейном обсерватории Маунт Уилсон он впервые встретился с Хабблом. Признавая, что Вселенная действительно расширяется, Эйнштейн назвал космологическую константу своей «величайшей ошибкой». (Однако ошибка Эйнштейна способна поколебать до основания всю космологию, в чем мы убедимся в дальнейшем, когда будем говорить о данных, полученных со спутника WMAP.) Когда жена Эйнштейна осматривала огромную обсерваторию Маунт Уилсон, ей сказали, что благодаря этому гигантскому телескопу можно определить первоначальный вид Вселенной. Миссис Эйнштейн весело ответила: «Мой муж делает это на обороте старого конверта».

Большой Взрыв

Бельгийский священник Жорж Леметр, узнавший о теории Эйнштейна, был очарован идеей, что из этой теории логически вытекает вывод о расширяющейся, имеющей начало Вселенной. Он понял, что, поскольку газы нагреваются при сжатии, Вселенная «начала времен» должна была быть невероятно горячей. В 1927 году Леметр заявил, что Вселенная, должно быть, возникла из невероятно горячего и

сверхплотного «первоатома», который внезапно взорвался, дав начало расширяющейся Вселенной Хаббла. Он писал: «Эволюцию мира можно сравнить с только что закончившимся фейерверком: несколько огненных облаков, пепел и дым. Стоя на остывшей золе, мы видим, как медленно угасают солнца, и пытаемся воссоздать исчезнувшее сияние начала миров».

(Первым человеком, предложившим идею «первоатома» начала времен, был Эдгар Аллан По. Он утверждал, что материя притягивает другие формы материи, а значит, в начале времен должно было существовать космическое скопление атомов.)

Леметр посещал физические конференции и донимал ученых своей теорией. Они благодушно выслушивали его, а затем спокойно отвергали его теорию. Артур Эддингтон, один из ведущих физиков своего времени, сказал: «Как ученый, я просто не верю в то, что существующий порядок вещей произошел из Взрыва... Понятие «внезапного начала» для существующего порядка в Природе мне противно».

Но настойчивость Леметра постепенно преодолела сопротивление физического сообщества. Ученый, которому предстояло стать важнейшим представителем и популяризатором теории Большого Взрыва, в конце концов представил самое убедительное доказательство этой теории.

Георгий Гамов, космический шутник

Работу Хаббла, уточненного аристократа от астрономии, продолжил не менее талантливый ученый, Георгий (Джордж) Гамов. Во многом Гамов являл собой противоположность Хабблу: шутник, карикатурист, прославившийся розыгрышами и двадцатью занимательными научными книгами, многие из которых были предназначены для молодежи. Несколько поколений физиков (включая и меня) было воспитано на его занимательных и содержательных книгах по физике и космологии. В то время, когда теория относительности и квантовая теория производили переворот в науке и обществе, книги Гамова занимали особое место, потому что они были достоверным источником информации в вопросах передовой науки, вполне доступным даже подросткам.

Ученые менее крупные часто бывают не слишком богаты идеями, они довольствуются разработкой чужих. Гамов же был одним из самых плодовитых гениев своего времени, эрудитом, стремительно выдававшим на-гора идеи, изменившие ход развития ядерной физики, космологии и даже исследований ДНК. Возможно, не случайно автобиография Джеймса Уотсона, который вместе с Фрэнсисом Криком раскрыл тайну молекулы ДНК, называется «Гены, Гамов и девушки». Коллега-физик Эдвард Теллер вспоминал: «90 % теорий Гамова были неправильны, очень легко было понять, что они неправильны. Но он никогда не возражал. Он был одним из тех, кто не испытывает особой гордости за свои открытия. Он выдавал последнюю идею, а затем рассматривал ее как шутку». Но оставшиеся 10% его теорий продолжали развиваться, изменяя всю мировую науку.

Гамов родился в Одессе (Россия) в 1904 году, когда страна стояла на пороге социального переворота. Он вспоминал, что «уроки часто отменяли во время стрельбы или штыковых атак греческих, французских или британских экспедиционных войск на главных улицах города против красных, белых или даже зеленых или когда русские разных цветов сражались друг против друга».

Решающий момент в жизни Гамова наступил в тот день, когда он пошел в церковь и после службы тайком унес домой кусочек просфоры. Глядя в микроскоп, он не смог разглядеть разницы между хлебом причастия, символизирующим тело Христово, и обычным хлебом. Он заключил: «Я считаю, что именно этот эксперимент сделал меня ученым».

Гамов получил образование в Ленинградском университете, где физику преподавал Александр Фридман. Позднее в Копенгагенском университете он встретился со светилами науки, такими, как Нильс Бор. (В 1932 году он и его жена совершили неудачную попытку оставить Советский Союз, отплыв на плоту из Крыма в Турцию. Позднее ему удалось покинуть страну благодаря поездке на конференцию по физике в Брюссель, что обеспечило ему смертный приговор в Советском Союзе.)

Гамов прославился тем, что посылал шуточные стишки своим друзьям. Большинство из них непечатные, в одном описывается беспокойство космологов, когда они встречаются лицом к лицу с огромностью астрономических чисел и глядят в лицо бесконечности:

Жил-был парень в прекрасном Манчестере,
 Взял он корень из бесконечности,
 От количества знаков
 Чуть не умер от страха,
 Бросил числа, стал думать о Вечности.

В 1920-е годы в России Гамов впервые добился большого успеха, разрешив загадку радиоактивного распада. Благодаря работам мадам Кюри и других ученых стало известно, что атом урана нестабилен и излучает радиацию в виде альфа-лучей (ядро атома гелия). Но согласно механике Ньютона загадочная ядерная сила сцепления, сохраняющая ядро целым, должна была предотвращать расщепление атома. Как же это было возможно?

Гамов (а независимо от него — Р. Герни и Э. Кондон) понял, что радиоактивный распад стал возможен потому, что принцип неопределенности в квантовой механике гласит: нельзя одновременно узнать точное местоположение и скорость частицы; следовательно, существовала ничтожно малая вероятность того, что она может «туннелировать», или проникать сквозь барьер. (Сегодня теория «квантового туннелирования» частиц занимает центральное место в физике и используется для объяснения свойств электронных устройств, черных дыр и Большого Взрыва. Сама Вселенная могла быть создана подобным туннелированием.)

Проводя аналогию, Гамов говорил об узнике, который заточен в темницу, окруженную высокими тюремными стенами. В классическом мире Ньютона побег невозможен. Но в мире квантовой теории вы не знаете точно, где находится узник в любой момент времени, так же, как не знаете и скорость его перемещения. Если узник начнет биться о стены с достаточной частотой, возникнет некоторая вероятность того, что однажды он пройдет сквозь них, хотя это будет прямым противоречием здравому смыслу и ньютоновской механике. Существует конечная, поддающаяся вычислению вероятность того, что узник окажется за пределами тюремных стен. В случае с объектом «узник», имеющим большие размеры и малую энергию, для такого чуда может понадобиться время, превышающее время жизни всей Вселенной. Но с альфа-частицами и субатомными частицами так происходит почти все время, потому что они часто бьются о стены

ядра, используя огромные энергии. Многие считали, что эта работа Гамова заслуживает Нобелевской премии.

В 1940-е годы интересы Гамова от теории относительности переместились в сторону космологии, которую он рассматривал как неизведанную ранее сферу деятельности. Что было известно в то время? То, что небо черное, а Вселенная расширяется. Гамов руководствовался единственной целью: найти любые свидетельства, или «окаменелости», доказывающие, что миллиарды лет тому назад произошел Большой Взрыв. Это было бесперспективно, поскольку космология не экспериментальная наука в истинном смысле этого слова. Не существует таких экспериментов, которые бы доказали Большой Взрыв. Космология больше похожа на криминальную дедукцию — науку, основанную на наблюдениях, где нужно искать «следы» или «свидетельства» на месте преступления, — чем на науку, где можно ставить точные эксперименты.

Ядерная кухня Вселенной

Очерёдным вкладом Гамова в физическую науку стало открытие ядерных реакций, в результате которых образуются легчайшие элементы, существующие ныне во Вселенной. Ему нравилось называть это «доисторической кухней Вселенной», в которой все элементы изначально возникли из жаркого пламени Большого Взрыва. Сегодня этот процесс носит название «нуклеосинтез», или установление относительного содержания элементов во Вселенной. Суть теории Гамова в том, что существует нерушимая цепочка элементов, начинающаяся с водорода, которая может быть построена путем последовательного добавления частиц к атому водорода. Гамов утверждал, что вся периодическая таблица элементов Менделеева могла быть создана в пекле Большого Взрыва.

Гамов и его последователи доказывали, что в момент творения Вселенная представляла собой невообразимо горячее скопление протонов и нейтронов; затем, видимо, произошло слияние — атомы водорода образовали атомы гелия. Подобное происходит в водородной бомбе или звезде: температуры настолько велики, что протоны — ядра водорода — с огромной скоростью сталкиваются друг с другом и сливаются, превращаясь в ядро гелия. По этому сценарию

последующие столкновения водорода с гелием рожают набор следующих элементов, включая литий и бериллий. Гамов предположил, что элементы более высокого порядка могут быть образованы последовательно путем добавления все большего количества субатомных частиц к ядру, — иначе говоря, он предположил, что сотня или более того элементов, составляющих всю видимую Вселенную, были «испечены» в огненном жару Большого Взрыва.

В свойственной ему манере Гамов в общих чертах нарисовал свою претенциозную идею и предоставил своему аспиранту Ральфу Альферу доработать детали. Когда работа была закончена, Гамов не смог удержаться от розыгрыша. Он поставил имя физика Ганса Бете на титуле своей работы без его ведома, и она стала известна как «альфа-бета-гамма» теория.

Гамов обнаружил, что Большой Взрыв был действительно настолько мощным, что его жара хватило для образования гелия, который составляет около 25 % массы Вселенной. Работая в другом направлении, «доказательство» теории Большого Взрыва можно обнаружить лишь при взгляде на многочисленные звезды и галактики нашего времени — мы понимаем, что они состоят примерно на 75 % из водорода, а на 25 % — из гелия и некоторых других микроэлементов. (Как сказал астрофизик Дэвид Спергель из Принстона: «Каждый раз, покупая воздушный шарик, наполненный гелием, вы покупаете атомы, многие из которых образовались в первые несколько минут после Большого Взрыва».)

Однако у Гамова появились проблемы с расчетами. Его теория была абсолютно верна лишь для очень легких элементов. Но элементы с 5 и 8 нейтронами и протонами чрезвычайно неустойчивы, а потому не могут служить «мостом» для создания элементов с большим количеством нейтронов и протонов. Мост смыло на пяти и восьми частицах. Поскольку Вселенная состоит из тяжелых элементов с гораздо большим количеством частиц, чем 5 и 8 протонов и нейтронов, то как же они образовались при взрыве, осталось космической тайной. Неудача Гамова в попытках преодолеть разрыв на пяти и восьми частицах на долгие годы поставила перед физиками нерешенную проблему, отрезая путь его идее о том, что все элементы Вселенной возникли в момент Большого Взрыва.

Микроволновое реликтовое излучение

В то же время Гамовым овладела другая идея: если Большой Взрыв был так невообразимо горяч, то, возможно, часть его остаточного «жара» все еще циркулирует во Вселенной. Если так, то этот жар предоставил бы «ископаемую запись» о Большом Взрыве. Возможно, интенсивность Большого Взрыва была настолько невообразимой, что Вселенная до сих пор наполнена однородной туманностью его излучения.

В 1946 году Гамов предположил, что Большой Взрыв — это взрыв сверхгорячего ядра нейтронов. То было вполне разумное предположение, поскольку о других субатомных частицах (помимо электрона, протона и нейтрона) известно было очень мало. Гамов понял, что если бы он смог оценить температуру нейтронного шара, то смог бы подсчитать количество и природу излучения, которое тот испускал. Через два года Гамов доказал, что излучение этого сверхгорячего ядра действовало бы как «излучение абсолютно черного тела». Это совершенно особый вид излучения, отдаваемого горячим объектом: свет, падающий на него, объект поглощает полностью, испуская излучение особым образом. Например, Солнце, расплавленная лава, горячие угли в огне и горячая глина в печи светятся желто-красным и испускают излучение «абсолютно черного тела». (Излучение абсолютно черного тела было впервые открыто известным фабрикантом фарфора Томасом Веджвудом в 1792 году. Он заметил, что при обжиге в печи свежеизготовленных изделий они меняют свой цвет от красного к желтому, затем к белому по мере того, как повышается температура.)

Это важный момент, поскольку, зная цвет горячего объекта, примерно знаешь его температуру, и наоборот. Точная формула, связывающая температуру горячего объекта и испускаемого им излучения, была впервые получена Максом Планком в 1900 году, что привело к рождению квантовой теории. (Это, по сути, одна из теорий, при помощи которой ученые определяют температуру Солнца. Солнце излучает в основном желтый цвет, что соответствует температуре абсолютно черного тела в 6000°K. Таким образом, нам известна температура внешних слоев атмосферы Солнца. Подобным образом рассчитывалась температура поверхности красной звезды-гиганта

Бетельгейзе — 3000°K , — температура абсолютно черного тела, соответствующая красному излучению: такую температуру имеет раскаленный кусок угля.)

В своей работе 1948 года Гамов впервые предположил, что излучение Большого Взрыва может иметь характерную особенность — это излучение абсолютно черного тела. Важнейшей характерной особенностью излучения абсолютно черного тела является его температура. Теперь Гамову необходимо было вычислить температуру излучения абсолютно черного тела.

Аспирант Гамова Ральф Альфер и другой ученик, Роберт Херман, попытались завершить расчеты Гамова, вычислив точную температуру излучения. Гамов написал: «Экстраполируя от первых дней Вселенной до настоящего времени, мы обнаружили, что за прошедшие эпохи Вселенная должна была охладиться до температуры 5 градусов выше абсолютного нуля».

В 1948 году Альфер и Херман опубликовали работу, где были представлены аргументы в пользу того, что температура излучения, сохранившегося после Большого Взрыва, сегодня должна составлять 5 градусов выше абсолютного нуля (их оценка была поразительно близка к той цифре, которая известна нам сейчас — $2,7$ градуса Кельвина). Они постулировали, что излучение, которое они определили как излучение микроволнового диапазона, должно до сих пор циркулировать по Вселенной, наполняя космос однородным «послесвечением».

(Аргументация следующая. В течение многих лет после Большого Взрыва температура Вселенной была настолько высока, что всякий раз, когда образовывался атом, его снова разрывало на части; поэтому образовалось множество свободных электронов, которые и могут рассеивать свет. Таким образом, Вселенная была темной, не прозрачной. Любой луч света,двигающийся в этой сверхгорячей Вселенной, поглощался, пройдя короткое расстояние, поэтому Вселенная выглядела облачной. Однако через 380 000 лет температура упала до 3000 градусов. При более низкой температуре атомы уже, сталкиваясь, больше не разрывались. В результате стало возможным формирование устойчивых атомов, а лучи света смогли перемещаться в течение световых лет, не будучи поглощенными. Таким образом, впервые пустое пространство стало прозрачным. Излучение же,

которое больше не поглощалось сразу же, как только возникло, продолжает циркулировать во Вселенной и в наши дни.)

Когда Альфер и Херман показали Гамову свои окончательные расчеты температуры Вселенной, их учитель был разочарован. Температуру настолько низкую измерить было чрезвычайно трудно. Гамову понадобился целый год, чтобы в конце концов согласиться с тем, что их расчеты верны. Но он отчаялся когда-либо измерить столь слабое поле излучения. Приборами 1940-х годов безнадежно было измерять слабое эхо Большого Взрыва. (В более поздних вычислениях, отталкиваясь от неверного предположения, Гамов поднял температуру излучения до 50 градусов.)

Они прочитали цикл лекций для популяризации своей теории. Но, к несчастью, их пророческие выводы были проигнорированы. Альфер писал: «Мы потратили уйму энергии на лекции о нашей работе. Никто не клонул; никто не сказал, что температура может быть измерена... И вот где-то в период с 1948 по 1955 год мы, наверное, сдались».

Непоколебимый Гамов благодаря своим лекциям и книгам стал ведущей фигурой в области теории Большого Взрыва. Но он встретил достойного соперника — яростного противника его взглядов. Гамов был способен очаровать слушателей шутками и остротами, зато Фред Хойл мог потрясти слушателей ослепительным блеском своего красноречия и агрессивной дерзостью.

Фред Хойл, оппонент

Микроволновое реликтовое излучение — это второе «доказательство» Большого Взрыва. Но то, что третье серьезное доказательство Большого Взрыва (через нуклеосинтез) даст Фред Хойл, трудно было себе представить: по иронии судьбы, в течение всей своей профессиональной карьеры он пытался опровергнуть теорию Большого Взрыва.

Хойла можно было бы назвать олицетворением человека, не способного к научной деятельности. Он был блестящим оппонентом, и ему ничего не стоило в несколько агрессивной манере отрицать традиционную мудрость. В то время как Хаббл был изысканным аристократом с манерами оксфордского преподавателя, а Гамов — остро-

умным шутником и эрудитом, привлекающим слушателей остротами, стишками и шутками, Хойл напоминал неотесанного деревенского бульдога; он казался странным образом не на своем месте в древних стенах Кембриджского университета, старинной альма-матер Исаака Ньютона.

Фред Хойл родился в 1915 году в Северной Англии. Он жил в районе, где суконная промышленность занимала ведущее место, был сыном торговца тканями. С детства в нем проснулся интерес к науке. В те времена радио еще только-только появилось в сельской местности. Хойл вспоминал, что человек 20-30 с большим энтузиазмом установили у себя дома радиоприемники. Но поворотный момент наступил в его жизни, когда родители подарили ему телескоп.

Воинственный стиль Хойла сформировался в глубоком детстве. В возрасте трех лет он знал таблицу умножения, а затем учитель показал ему римские цифры. «Как может быть кто-то настолько глуп, чтобы писать VIII вместо 8?» — вспоминал он с презрением. Но когда ему сказали, что закон требует от него посещения школы, Хойл написал: «Я сделал вывод, что, к несчастью, я родился в мире, где господствует яростное чудовище, называемое «закон», всемогущее и безмерно тупое».

Пренебрежению Хойла к авторитетам способствовала стычка с учительницей, которая сказала всему классу, что у цветка (назвала его) пять лепестков. Как доказательство ее неправоты Фред принес в класс именно этот цветок, но с шестью лепестками. За эту дерзость она сильно ударила его по левому уху. (Позднее Хойл на это ухо оглох.)

Теория стационарной Вселенной

В 1940-е годы Хойл не принял теорию Большого Взрыва. Одним из недостатков этой теории было то, что из-за ошибок в измерении интенсивности излучения далеких галактик Хаббл неправильно рассчитал возраст Вселенной — 1,8 млрд лет. Геологи же утверждали, что Земля и Солнечная система, вполне возможно, насчитывают миллиарды лет. Как же могла Вселенная быть моложе собственных планет?

Вместе с коллегами, Томасом Голдом и Германом Бонли, Хойл начал работу над созданием собственной теории. По легенде, их теория стационарной Вселенной была навеяна триллером « Глубокой ночью » с Майклом Редгрейвом в главной роли. Фильм состоит из нескольких рассказов о страшных историях, но в последней сцене происходит неожиданный виток: фильм заканчивается точно так же, как и начался. Таким образом, события замыкаются в круг, не имея ни начала, ни конца. Как утверждают, именно фильм вдохновил трех ученых на разработку теории Вселенной, у которой также не было ни начала, ни конца. (Позднее Голд внес немного ясности в эту историю. Он вспоминал: «Кажется, несколькими месяцами ранее мы смотрели фильм, и когда я предложил рассмотреть теорию устойчивой Вселенной, я сказал: «А не напоминает ли это фильм "Глубокой ночью"?»)

По этой теории части Вселенной действительно расширились, но новая материя постоянно создавалась из ничего, так что плотность Вселенной оставалась неизменной. Хотя Хойл не мог объяснить, каким же именно таинственным образом эта материя появлялась ниоткуда, теория незамедлительно привлекла сторонников, которые вступили в борьбу с приверженцами теории Большого Взрыва. Хойлу казалось нелогичным, что огненный катаклизм возник ниоткуда, став причиной того, что галактики разлетелись во все стороны. Он предпочитал спокойное создание вещества из ничего. Иными словами, такая Вселенная была бы безвременной. У нее не было ни начала, ни конца. Она просто была всегда.

(Противостояние «Стационарная Вселенная— Большой Взрыв» походило на противостояния разных теорий в геологии и других науках. В геологии существовал затянувшийся спор между теорией однородности [мнение о том, что Земля приобрела свою теперешнюю форму в результате постепенных изменений в прошлом] и теорией катастроф [которая постулировала, что изменения произошли в результате ужасных катаклизмов]. Несмотря на то что теория однородности и до сих пор объясняет многие из геологических и экологических особенностей Земли, никто не станет отрицать влияния комет и астероидов, которые становились причинами массовых вымираний или разрушения и смещения континентов в результате тектонических сдвигов.)

Лекции Би-Би-Си

Хойл всегда любил хорошую драку. В 1949 году его и Гамова пригласила Британская радиовещательная корпорация (Би-Би-Си) для проведения дискуссии о происхождении Вселенной. Во время этих передач Хойл, оспаривая теорию Большого Взрыва, и далее, собственно, такое название. Он сказал следующее: «Эти теории основывались на гипотезе о том, что вся материя во Вселенной была создана в результате одного Большого Взрыва, происшедшего в определенное время в далеком прошлом». Это название пристало. Теория Гамова отныне была официально названа теорией Большого Взрыва, и название это придумал ее величайший враг. (Позднее Хойл заявил, что не имел в виду унижить противника. «Я ни в коем случае не выдумал это название для уничижения. Оно было выбрано в качестве аргумента в споре», — признался он.)

(В течение многих лет сторонники теории Большого Взрыва героически пытались это название изменить. Они недовольны этой, почти вульгарной коннотацией названия теории, а также тем фактом, что его изобрел основной ее противник. Языковых пуристов особенно раздражало то, что название и по сути-то абсолютно неверно. Во-первых, Большой Взрыв не был большим (поскольку это был взрыв некоего крошечного образования, намного меньшего, чем атом), а во-вторых, взрыва как такового не было (поскольку в открытом космосе не было воздуха). В августе 1993 года журнал «Небо и Телескоп» объявил конкурс на новое название теории Большого Взрыва. На конкурс было представлено тринадцать тысяч предложений, но жюри не смогло выбрать из них вариант лучше первоначального.)

Чем Хойл поистине прославился в народе, так это своими знаменитыми радиолекциями на Би-Би-Си, посвященными науке. В 1950-х годах Би-Би-Си планировала транслировать научные лекции в субботу вечером. Однако, когда изначально приглашенный гость отказался прийти, продюсеры вынуждены были искать замену. Они связались с Хойлом, и тот согласился. И только потом они проверили досье ученого, где было написано: «Этого человека мы опасаемся приглашать».

К счастью, они проигнорировали неприятное предостережение предыдущего продюсера, и Хойл прочитал миру пять захватывающих лекций. Эти классические передачи Би-Би-Си очаровали всю нацию и даже вдохновили молодое поколение будущих астрономов. Астроном Уоллес Сарджент вспоминает, что эти передачи оказали на него сильное воздействие: «Когда мне было пятнадцать, я послушал лекции Фреда Хойла по Би-Би-Си под названием «Природа Вселенной». Сама мысль о том, что вы знаете, какова температура и плотность в центре Солнца, чудовищно шокировала. В пятнадцатилетнем возрасте казалось, что такие вещи лежат за пределами возможного знания. Шокировали не просто сами цифры, а тот факт, что их вообще можно узнать».

Звездный синтез

Хойл, который презирал праздные размышления, взялся за проверку своей теории. Он был в восторге от идеи, что элементы Вселенной испеклись не в топке Большого Взрыва, как считал Гамов, а в звездном ядре. Если около сотни химических элементов возникло в ядре звезд, то потребность в существовании Большого Взрыва вообще отпадала.

В ряде работ, содержащих плодотворные идеи и опубликованных в 1940-е - 1950-е годы, Хойл и его коллеги описали в подробностях, как ядерные реакции в ядре звезд, а не в пламени Большого Взрыва присоединяли все больше и больше протонов и нейтронов к ядрам водорода и гелия до тех пор, пока не были созданы все тяжелые элементы, во всяком случае до железа. (Они решили загадку, как создать элементы с массовым числом выше 5, которая поставила в тупик Гамова. В гениальном озарении Хойл понял, что если существовала ранее незамеченная неустойчивая форма углерода, состоящая из трех ядер гелия, то она могла бы просуществовать достаточно долго, чтобы послужить «мостом» для создания элементов высшего порядка. В ядрах звезд эта новая неустойчивая форма углерода могла продержаться достаточно долго для того, чтобы можно было путем последовательного добавления все большего количества нейтронов и протонов создать элементы с массовым числом выше 5 и 8. Когда

эта неустойчивая форма углерода действительно была обнаружена, это открытие блестяще продемонстрировало, что нуклеосинтез происходит в ядрах звезд, а не при Большом Взрыве. Хойл даже создал большую компьютерную программу, определяющую почти с первых шагов относительное содержание элементов во Вселенной.)

Но даже сильного жара внутри звезд недостаточно, чтобы «испечь» такие элементы, как медь, никель, цинк и уран. (Извлекать энергию при слиянии элементов тяжелее железа чрезвычайно сложно в силу различных причин, в том числе отталкивания протонов в ядре и нехватки связующей энергии.) Для тяжелых элементов понадобилась бы печка побольше — взрыв массивных, или сверхновых звезд. При грандиозном взрыве гигантской звезды температура ее предсмертной агонии может достигать триллионов градусов, и эта энергия оказывается достаточной для «приготовления» элементов тяжелее железа. По сути, это означает, что большинство элементов тяжелее железа — результат взрыва сверхновых звезд.

В 1957 году Хойл в соавторстве с Маргаретой Джеффри Бербиджами и Уильямом Фаулером опубликовал, возможно наиболее значительную, работу, где в подробностях были представлены все этапы, необходимые для создания элементов во Вселенной и для определения их распространенности. Аргументы авторов были так точны, вески и убедительны, что даже Гамову пришлось признать, что Хойл представил убедительнейшую картину нуклеосинтеза. Гамов, в присутствующей ему манере, даже сочинил следующий экспромт в библейском стиле:

В самом начале, когда Бог создавал элементы, волнуясь при счете, Он не назвал массу пять, а потому, естественно, не могли образоваться тяжелые элементы. Бог был очень разочарован и поначалу хотел снова взорвать Вселенную, а затем начать все сначала. Но это было бы слишком просто. Тогда всемогущий Бог решил исправить свою ошибку самым невероятным образом. И сказал Бог: Да будет Хойл. И появился Хойл. И посмотрел Бог на Хойла... И велел ему сотворить тяжелые элементы так, как ему вздумается. И Хойл решил сотворить тяжелые элементы в ядрах звезд и распространять их по Вселенной с помощью взрывов сверхновых.

Аргументы против теории стационарной Вселенной

Однако в течение десятилетий во всех направлениях науки накапливалось все больше доказательств, опровергающих «теорию стационарной Вселенной». Хойл обнаружил, что его борьба обречена на верный проигрыш. По его теории, поскольку Вселенная не эволюционировала, а постоянно создавала новую материю, ранняя Вселенная должна была выглядеть очень похожей на Вселенную наших дней. Видимые нам сегодня галактики тоже должны были походить на те галактики, что существовали миллиарды лет назад. Теория стационарной Вселенной могла быть опровергнута, если бы были обнаружены признаки значительных эволюционных изменений Вселенной на протяжении миллиардов лет.

В 1960-е годы в космическом пространстве обнаружили загадочные источники невероятной энергии, названные «квазарами», или квазизвездными объектами. (Название было таким броским, что позднее его использовали в качестве марки телевизора.) Квазары генерировали невероятные количества энергии и характеризовались красным смещением огромной величины, что означало, что они находятся на расстоянии миллиардов световых лет от нас, а также что они освещали Вселенную еще в раннем ее детстве (сегодня астрономы считают, что квазары — это гигантские молодые галактики, ведомые энергией огромных черных дыр). У нас нет доказательства существования каких-либо квазаров сегодня, хотя согласно теории стационарной Вселенной они должны существовать. За миллиарды лет они исчезли.

В теории Хойла крылась еще одна проблема. Ученые доказали, что во Вселенной слишком много гелия, чтобы это вписывалось в теорию стационарной Вселенной. Гелий, известный как газ, используемый для надувания воздушных шаров и небольших дирижаблей, в действительности довольно редок на Земле, но он является вторым по относительному содержанию элементом во Вселенной после водорода. Вообще, он настолько редок, что впервые был обнаружен не на Земле, а на Солнце. (В 1868 году ученые анализировали свет Солнца, проходящий через призму. Преломленный луч света распался на обычную радугу цветов и спектральных линий, но ученые обнаружи-

ли нечеткие спектральные линии, вызванные загадочным элементом, никогда не виденным ранее. Они ошибочно посчитали, что это металл, а названия металлов (в английской терминологии) оканчиваются на *Lum*, например *lithium* (литий), *uranium* (уран). Они дали этому загадочному металлу название *helium* (гелий) от греческого названия Солнца, «Helios». Когда же в 1895 году гелий был найден на Земле в залежах урана, ученые с большим смущением обнаружили, что это газ, а не металл. Так название гелия, впервые открытого на Солнце, изначально оказалось неправильным.)

Если первичный гелий в основной своей массе родился в звездных ядрах, как считал Хойл, он должен был быть довольно редким и находиться в недрах звезд. Но астрономические данные показали, что относительное содержание гелия во Вселенной довольно высоко и составляет 25 % от всей массы атомов во Вселенной. Было обнаружено, что гелий однородно распространен по всей Вселенной (как и предполагал Гамов).

Сегодня мы знаем, что и в теории Гамова, и в теории Хойла были зерна истины относительно нуклеосинтеза. Гамов считал, что все химические элементы были побочным результатом, или золой, Большого Взрыва. Но его теорию убили провалы на пяти и восьми частицах. Хойл же считал, что смог зачеркнуть теорию Большого Взрыва, показав, что в звездах «пекутся» все элементы — к Большому Взрыву прибегать нет никакой потребности. Но его теории не удалось объяснить огромный процент гелия, существующий, как нам известно, во Вселенной.

По существу, Гамов и Хойл дали нам взаимодополняющую картину нуклеосинтеза. Очень легкие элементы с массой до 5 и 8 действительно возникли в результате Большого Взрыва, как и предполагал Гамов. Сегодня в результате последних физических открытий стало известно, что во время Большого Взрыва действительно возникла большая часть дейтерия, гелия-3, гелия-4 и лития-7, которые присутствуют в природе. Но более тяжелые элементы были, в основном, созданы в ядрах звезд, как утверждал Хойл. Если мы прибавим элементы тяжелее железа (медь, цинк и золото), которые возникли из обжигающего жара сверхновых звезд, то мы получим завершенную картину, объясняющую соотношение всех элементов во Вселенной. (Любая теория, соперничающая с нынешними взглядами космологов, столкнулась бы

с задачей невысказанной сложности: объяснить возникновение более сотни элементов во Вселенной и множества их изотопов.)

Как рождаются звезды

Одним из неожиданных результатов жаркого спора по поводу нуклеосинтеза стало довольно полное описание жизненного цикла звезд. Стандартная звезда, такая, как наше Солнце, начинает жизнь как огромный шар разреженного водорода, называемый протозвездой; постепенно шар сжимается под воздействием силы гравитации. Начиная сжиматься, этот шар ускоряет вращение (что часто влечет за собой образование двойной звездной системы, где две звезды следуют друг за другом по эллиптическим орбитам, или образование планет в плоскости вращения звезды). Ядро звезды очень сильно разогревается, достигая температуры приблизительно в 10 млн градусов и более, при которой происходит нуклеосинтез водорода с образованием гелия.

Когда звезда раскаляется, ее называют звездой главной последовательности. Она может гореть около 10 млрд лет, сначала сгорает водород, а потом гелий. Наше Солнце сейчас находится в срединной точке этого процесса. По окончании периода сгорания водорода начинает гореть гелий, вследствие чего звезда невероятно расширяется — до размеров орбиты Марса — и становится «красным гигантом». После того как гелиевое топливо истощается, внешние слои звездного ядра рассеиваются, обнажая ядро — «белый карлик» размером с Землю. Такими-то белыми карликами и встретят свою смерть звезды небольшого размера — вроде нашего Солнца.

В звездах же, масса которых превосходит массу Солнца в 10-40 раз, процесс нуклеосинтеза протекает намного быстрее. Когда звезда становится красным сверхгигантом, в ее ядре стремительно синтезируются легкие элементы, и поэтому звезда выглядит как некий гибрид: белый карлик внутри красного гиганта. В этом белом карлике могут синтезироваться легкие элементы (с атомным весом ниже железа), составляющие периодическую таблицу элементов. Когда процесс нуклеосинтеза достигает этапа, на котором создается железо как элемент, энергия в процессе нуклеосинтеза больше не вырабатывается, и по прошествии миллиардов лет ядерные меха наконец прекращают

свою работу. В этот момент звезда внезапно коллапсирует, создавая огромные давления, которые фактически вталкивают электроны в ядра. (Создаваемая плотность может в 400 миллиардов раз превосходить плотность воды.) В результате температура подскакивает до триллионов градусов. Энергия гравитации, сконцентрированная в этом крошечном объекте, вызывает взрыв, создавая сверхновую звезду. Высокая температура взрыва снова вызывает нуклеосинтез и синтезируются элементы с атомным весом выше железа по периодической таблице.

Например, красная звезда-сверхгигант Бетельгейзе, легко различимая в созвездии Ориона, неустойчива; она может в любой момент взорваться как сверхновая, испуская огромные количества гамма-лучей и рентгеновских лучей. Когда это случится, сверхновая будет видна даже днем, а ночью, возможно, затмит Луну. (Когда-то считалось, что колоссальная энергия, освободившаяся при взрыве сверхновой, уничтожила динозавров 65 млн лет тому назад. Вообще, сверхновая, находясь она на расстоянии около 10 световых лет от нас, могла бы уничтожить всю жизнь на Земле. К счастью, звезды-кандидаты в сверхновые — Спика и Бетельгейзе — находятся на расстоянии 260 и 430 световых лет соответственно: это слишком далеко от нас, чтобы причинить какие-либо серьезные повреждения Земле, когда они в конце концов взорвутся. Но некоторые ученые считают, что вымирание некоторых морских организмов два миллиона лет тому назад было вызвано именно взрывом сверхновой на расстоянии 120 световых лет от Земли.)

Это означает, что Солнце не является истинной «матерью» Земли. Хотя многие народы Земли почитали Солнце как бога, сотворившего Землю, такой подход верен лишь отчасти. Хотя изначально Земля произошла от Солнца (будучи частью эклиптической плоскости звездных обломков и пыли, циркулировавших вокруг Солнца 4, 5 млрд лет назад), температура нашего Солнца высока лишь настолько, чтобы был возможен процесс нуклеосинтеза водорода с образованием гелия. Это означает, что нашей истинной «матерью»-солнцем была безымянная звезда (или скопление звезд), погибшая миллиарды лет назад при взрыве сверхновой, в результате которого близлежащие туманности оказались насыщены элементами с атомным весом выше железа, из которых состоят наши тела.

Точнее, наши тела состоят из звездной пыли, из звезд, которые погибли миллиарды лет назад.

После взрыва сверхновой остается лишь то, что сегодня называется нейтронной звездой, которая состоит из плотного ядерного вещества, сжатого до размеров Манхэттена — почти 30 км. (Впервые существование нейтронных звезд было предсказано в 1933 году Фрицем Цвикки, но это казалось настолько фантастичным, что на протяжении десятилетий ученые не обращали на его слова внимания.) Поскольку нейтронная звезда испускает излучение нерегулярно, а также вращается с огромной скоростью, она похожа на вращающийся маяк, испускающий вспышки света в процессе вращения. При наблюдении с Земли кажется, что нейтронная звезда пульсирует, отсюда и ее название — пульсар.

Чрезвычайно большие звезды, имеющие массу, возможно, в 40 раз превышающую массу Солнца, взорвавшись в конце концов как сверхновые, могут оставить после себя нейтронную звезду, масса которой больше трех солнечных масс. Гравитация этой нейтронной звезды настолько велика, что она может противодействовать силе отталкивания, возникающей между нейтронами, и звезда совершит свой заключительный коллапс и превратится в самый необычный, скорее всего, объект Вселенной — черную дыру, о которой я поведу речь в пятой главе.

Птичий помет и Большой Взрыв

Смертельным ударом в самое сердце теории стационарной Вселенной стало открытие Арно Пензиаса и Роберта Вильсона в 1965 году. Работая с шестиметровым радиотелескопом в лаборатории Белл в городе Холмдел, они, ловя радиосигналы из космоса, поймали странный радиосум. Сначала они решили, что этот шум — результат какого-то отклонения в работе системы, поскольку получалось, что шум поступает равномерно со всех направлений, а не от конкретной звезды или галактики. Чтобы исключить возможное влияние грязи и мусора, они тщательно отчистили рупор телескопа от того, что Пензиас деликатно назвал «слоем белого диэлектрического вещества» (популярное его название у астрономов — «птичий помет»). В результате сила радиосума только возросла. Они и не подозревали,

что случайно наткнулись на микроволновое реликтовое излучение, существование которого было предсказано Георгием Гамовым и его коллегами еще в 1948 году.

Довольно долго история космологии напоминала старые фильмы о кистоунских полицейских, в которых три группы копов пытаются раскрыть преступление, даже не подозревая о существовании друг друга. С одной стороны, Гамов, Альфер и Херман заложили основы теории микроволнового реликтового излучения в 1948 году; они предсказали, что температура этого излучения составляет 5 градусов выше абсолютного нуля. Идею об измерении микроволнового космического излучения они оставили, поскольку приборы, имевшиеся тогда в их распоряжении, не обладали достаточной чувствительностью даже для того, чтобы его обнаружить. В 1965 году Пензиас и Вильсон все-таки обнаружили излучение абсолютно черного тела, но не поняли этого. В то же время третья группа под руководством Роберта Дикке из Принстонского университета вновь обратилась к теории Гамова и его коллег и теперь активно занималась вопросом улавливания микроволнового реликтового излучения, но существовавшее оборудование было до прискорбия примитивным, чтобы его уловить.

Эта комическая ситуация нашла свое завершение, когда астроном Бернард Берк, общий друг Пензиаса и Дикке, рассказал первому о работе второго. Когда две группы исследователей наконец объединились, стало ясно, что Пензиас и Вильсон уловили сигналы, оставшиеся после того самого Большого Взрыва. За это важное открытие Пензиас и Вильсон в 1978 году были удостоены Нобелевской премии.

Оглядываясь на прошлое, можно вспомнить, как Хойл и Гамов, два самых знаменитых автора противоречащих друг другу теорий, встретились в 1956 году в «кадиллаке»: эта судьбоносная встреча могла изменить весь ход развития космологии. «Я помню, как Георгий возил меня в белом кадиллаке», — вспоминал Хойл. Гамов тогда напомнил Хойлу о своем утверждении, что после Большого Взрыва осталось излучение, которое можно увидеть даже сегодня. Однако, согласно последним расчетам Гамова, температура этого излучения была около 50 градусов. Тогда Хойл поделился с Гамовым информацией, которая стала для последнего шокирующим открытием. Хойлу была извест-

на не нашедшая признания работа, написанная в 1941 году Эндрю Маккеларом, в которой автор утверждал, что температура открытого космоса не может превышать трех градусов по Кельвину. При более высоких температурах происходили бы новые реакции, которые создали бы соединения углерода с водородом (CN) и азотом (CH) в возбужденном состоянии в открытом космосе. Измерив спектр этих химических элементов, можно было определить температуру открытого космоса. По сути, он выяснил, что плотность молекул CN, обнаруженных им в космосе, указывает на температуру в $2,3^{\circ}$ К. Другими словами, микроволновое излучение с температурой в $2,7^{\circ}$ К уже было как бы открыто в 1941 году, о чем Гамов не имел понятия.

Хойл вспоминал: «Случилось ли это потому, что «кадиллак» был слишком удобен, или потому, что Георгий настаивал на температуре выше 3° , а я — на равной нулю, мы упустили свой шанс сделать открытие, которое девятью годами позже сделали Арно Пензиас и Боб Вильсон». Если бы группа Гамова не сделала ошибку в расчетах и пришла к более низкой температуре или если бы Хойл не относился столь враждебно к теории Большого Взрыва, то история космологии, возможно, оказалась бы иной.

Большой Взрыв и психология

Открытие микроволнового фона Пензиасом и Вильсоном решающим образом повлияло на карьеру Гамова и Хойла. Хойла их работа чуть не вогнала в гроб. В конце концов в 1965 году на страницах журнала «Нэйчр» (*Nature*) Хойл официально признал свое поражение, приводя в качестве аргументов отказа от теории стационарной Вселенной микроволновое реликтовое излучение и относительное содержание гелия. Но что его действительно беспокоило, так это тот факт, что теория стационарной Вселенной потеряла свою прогностическую силу: «Всем известно, что существование микроволнового реликтового излучения убило космологию "стационарной Вселенной", но что действительно убило теорию "стационарной Вселенной" — так это психология... Здесь, в микроволновом излучении, заключалось важное явление, которого она не предсказала за многие годы, и это сбilo с меня спесь». (Позднее Хойл вернулся на прежние позиции, безуспешно пытаясь работать с другими версия-

ми теории стационарной Вселенной, но каждый новый вариант был все менее правдоподобным.)

К несчастью, вопрос о первенстве открытия оставил душе Гамова неприятный осадок. Гамов, если читать между строк, был недоволен тем, что его собственная работа, а также работы его сотрудников так мало упоминались, если вообще упоминались. Неизменно вежливый, он помалкивал о своих чувствах, но в личных письмах отмечал несправедливость того, что физики и историки науки полностью проигнорировали их работу.

Хотя работа Пензиаса и Вильсона нанесла сокрушительный удар по теории стационарной Вселенной и обеспечила твердую экспериментальную основу теории Большого Взрыва, в понимании структуры расширяющейся Вселенной существовали огромные пробелы. Например, в модели Вселенной Фридмана для того, чтобы понять, как эволюционирует Вселенная, необходимо знать значение ρ , средней плотности Вселенной. Однако определение ее оказалось довольно проблематичным, когда ученые обнаружили, что Вселенная состоит не только из известных нам атомов и молекул, а еще и из незнакомой новой субстанции, называемой «темным веществом», которая весит в 10 раз больше обычного вещества. И снова блестящие достижения в этой области не были восприняты всерьез астрономическим сообществом.

Омега и темная материя

История темной материи, возможно, одна из самых необыкновенных историй космологии. В далекие 1930-е годы независимый швейцарский астроном Фриц Цвикки из Калифорнийского технологического института заметил, что движение галактик в скоплении галактик Кома не соответствовало теории гравитации Ньютона. Он обнаружил, что скорость движения галактик такова, что, по законам движения Ньютона, они должны были разлететься в стороны, а скопление — распаться. Цвикки решил, что единственным возможным объяснением того, что скопление Кома удерживается, а не разлетается в стороны, могло служить лишь то, что в скоплении — в сотни раз больше материи, чем можно было увидеть в телескоп. Либо законы Ньютона действовали как-то неверно на межгалактических расстоя-

ниях, либо существовало огромное количество невидимой материи в скоплении Кома, которая не давала ему распасться.

Это стало первым свидетельством в истории, что чего-то крайне недоставало в отношении распространения материи по Вселенной. К несчастью, астрономы во всем мире либо не заметили пионерскую работу Цвикки, либо дружно отвергли его выводы по нескольким причинам.

Первая из них заключалась в том, что астрономы не склонны были верить в то, что теория гравитации Ньютона, занимавшая ведущее положение в физике на протяжении нескольких веков, может быть неправильной. Уже существовал прецедент такого кризиса в астрономии. Во время исследования орбиты Урана в XIX ст. было обнаружено, что она раскачивается — очень немного, но отклоняясь от уравнений Исаака Ньютона. Так что либо Ньютон ошибался, либо должна была существовать новая планета, чья гравитация воздействовала на Уран. Именно второе предположение оказалось верным, и при первой же попытке, совершенной в 1846 году при анализе предполагаемого положения планеты согласно законам Ньютона, была обнаружена планета Нептун.

Во-вторых, существовала такая проблема, как личность самого Цвикки и то, как астрономы относились к «аутсайдерам». Цвикки был фантазером, на протяжении жизни над ним часто смеялись или просто не обращали на него внимания. В 1933 году вместе с Вальтером Бааде он придумал термин «сверхновая звезда» и предсказал, что после взрыва останется крошечная нейтронная звезда около 22 км в поперечнике. Эта идея показалась всем настолько абсурдной, что ее 19 января 1943 года даже высмеяли в комиксе на страницах «Лос-Анджелес тайме». Цвикки страшно обозлился на маленькую элитарную группу астрономов, которые, как он думал, отказывали ему в признании, крали его идеи и не давали ему времени для наблюдений на 250-сантиметровом и 500-сантиметровом телескопах. (Незадолго до своей смерти в 1974 году Цвикки на собственные средства опубликовал каталог галактик. Каталог открывался заголовком «Напоминание корифеям американской астрономии и их подхалимам». В очерке была яростная критика узкой, закоре-нелой в своих традиционных взглядах элиты астрономов, которые стремились изо всех сил препятствовать работе таких независимых

астрономов, как он сам. «Сегодняшние подхалимы и самые настоящие воры, особенно в Американском астрономическом обществе, кажется, совершенно свободно присваивают открытия и изобретения, сделанные волками-одиночками и инакомыслящими», — писал он. Цвикки назвал этих людей «сферическими ублюдками», потому что «они ублюдки, с какой стороны на них ни глянь». Он был разъярен, потому что его обошли вниманием и Нобелевскую премию за открытие нейтронной звезды дали кому-то другому.)

В 1962 году астроном Вера Рубин заново открыла любопытную проблему галактического движения. Она изучала вращение Галактики Млечный Путь и столкнулась с той же самой проблемой: астрономическое сообщество не приняло ее выводы. Обычно, чем дальше от Солнца находится планета, тем медленнее она вращается. Чем ближе, тем быстрее она вращается. Именно поэтому Меркурий назван по имени бога скорости — он располагается очень близко к Солнцу, и именно поэтому скорость Плутона в 10 раз меньше скорости Меркурия — Плутон располагается дальше всех планет от Солнца. Однако когда Вера Рубин внимательно изучила голубые звезды нашей Галактики, она обнаружила, что звезды вращаются с неизменной скоростью, вне зависимости от расстояния до центра Галактики (плоского вращающегося диска), тем самым нарушая принципы механики Ньютона. По сути, она обнаружила, что Галактика Млечный Путь вращалась настолько быстро, что, по справедливости, ее звезды должны бы были разлететься в разные стороны. Но Галактика пребывала во вполне устойчивом состоянии на протяжении приблизительно 10 млрд лет; оставалось загадкой, почему ее вращающийся диск плоский. Чтобы не развалиться, она должна бы быть в 10 раз тяжелее, чем считали ученые в то время. Было очевидно, что не учтено 90 % массы всей Галактики!

Работу Веры Рубин проигнорировали, может быть, потому, что автором ее была женщина. С некоторой болью Рубин вспоминала, что, когда она поступала в колледж на специальность «естественные науки» и случайно обмолвилась преподавателю в приемной комиссии, что ей нравится рисовать, тот спросил: «А вы никогда не рассматривали возможность сделать карьеру, делая зарисовки астрономических объектов?» Она писала: «Это стало ключевой фразой у нас в семье: на протяжении многих лет, когда что-то у кого-то из род-

ственников шло не так, мы говорили: 'А вы никогда не рассматривали возможность сделать карьеру, делая зарисовки астрономических объектов?' Когда Вера сказала своему школьному преподавателю физики, что ее приняли в Вассарский колледж, тот ответил: «У тебя все получится, только держись подальше от науки». Позднее она вспоминала: «Необходима невероятно высокая самооценка, чтобы выслушивать подобные вещи и не сломаться».

По окончании учебы Рубин подала заявление о принятии ее на вакантную должность преподавателя в Гарвард, и ее приняли, но она отказалась, потому что вышла замуж и уехала вместе с мужем-химиком в Корнелл. (Она получила ответ из Гарварда, где внизу были от руки приписаны следующие слова: «Черт побери этих женщин! Каждый раз, как я нахожу то, что нужно, они уезжают и выходят замуж» .) Недавно она приняла участие в астрономической конференции в Японии, где была единственной женщиной. «Я, правда, долгое время не могла об этом рассказывать без слез, потому что, конечно, за одно поколение... немного изменилось», — признавалась Вера Рубин.

Тем не менее несомненная значимость ее работы, а также работы других ученых постепенно начали убеждать астрономическое сообщество в существовании проблемы «отсутствующей» массы. К 1978 году Вера Рубин и ее коллеги тщательно изучили вращение 11 галактик; все они вращались слишком быстро, чтобы законы Ньютона позволили им оставаться единым целым. В том же году голландский радиоастроном Альберт Бозма опубликовал самый подробный анализ десятков спиральных галактик: почти все они демонстрировали то же самое аномальное поведение. Казалось, что это наконец убедило астрономическое сообщество в существовании темного вещества.

Простейшим решением этой удручающей проблемы было предположение, что галактики окружены невидимым ореолом, который содержит в себе в 10 раз больше вещества, чем звезды. С тех пор появились более совершенные приборы для определения наличия этой «темной» материи. Одной из наиболее впечатляющих является возможность измерения искривления звездного света при его прохождении сквозь невидимое вещество. Подобно линзе очков, темная материя может преломлять свет (благодаря своей невероятной

массе, а следовательно, и силе гравитации). Недавно при тщательном компьютерном анализе фотографий, сделанных при помощи космического телескопа Хаббла, ученые смогли создать карту распределения темной материи во Вселенной.

И сейчас продолжаются ожесточенные споры о том, из чего состоит темная материя. Некоторые ученые считают, что она может состоять из обычного вещества, которое просто плохо различимо (то есть из коричневых звезд-карликов, нейтронных звезд, черных дыр и так далее, которые практически невидимы). Такие объекты рассматриваются в целом как «барионное вещество», то есть вещество, состоящее из известных барионов (таких, как нейтроны и протоны). Все вместе они называются МАСНО (сокращение, обозначающее «массивные компактные объекты гало»).

Другие считают, что, возможно, темная материя состоит из очень горячего небарионного вещества, такого, как нейтрино (его так и называют — горячим темным веществом). Однако нейтрино движутся настолько быстро, что на их счет нельзя списывать все скопление темной материи в галактиках, наблюдаемое в природе. Третьи опускают руки и считают, что темная материя представляет собой принципиально новый вид вещества, называемого «холодное темное вещество», или WIMPS («слабо взаимодействующие массивные частицы»), и, пожалуй, это лучшая «кандидатура» для объяснения темной материи.

Спутник COBE

При помощи обычного телескопа, рабочей лошади астрономии еще со времен Галилея, видимо, невозможно разрешить загадку темной материи. Астрономия продвинулась очень далеко, используя обычные оптические средства, имеющиеся на Земле. Однако в 1990-е годы появилось новое поколение астрономических приборов, сконструированных с использованием новейших спутниковых технологий, лазеров и компьютеров, которые полностью изменили лицо космологии.

Одним из первых плодов богатого урожая стал спутник COBE (космический аппарат для изучения реликтового излучения), запущенный в ноябре 1989 года. Если работа Пензиаса и Вильсона

подтвердила лишь некоторые данные, вписывающиеся в теорию Большого Взрыва, спутник COBE измерил множество параметров, которые в точности соответствовали прогнозам Гамова и его сотрудников, выдвинутом в 1948 году, об излучении абсолютно черных тел.

В 1998 году на собрании Американского астрономического общества 1500 ученых внезапно вскочили и разразились бурными аплодисментами при виде фотографий, сделанных спутником COBE, которые практически полностью согласовывались с тем фактом, что температура микроволнового реликтового излучения составляет $2,728^{\circ}\text{K}$.

Принстонский астроном Джереми Острайкер заметил: «Когда были обнаружены окаменелости в скалах, это совершенно четко обозначило происхождение видов. Что ж, спутник COBE нашел окаменелости [Вселенной]».

Однако фотографии, сделанные со спутника COBE, были довольно размытыми. Например, ученые хотели проанализировать «горячие точки», или флуктуации космического фонового излучения, флуктуации, которые должны были составлять около одного градуса в поперечнике. Но оборудование спутника COBE было способно уловить флуктуации только семи и более градусов в поперечнике, оно не было достаточно чувствительным, чтобы обнаружить эти маленькие горячие точки. Ученые были вынуждены ждать результатов работы спутника WMAP, запуск которого ожидался в начале века; они надеялись, что новые данные помогут разрешить массу вопросов и загадок.

ГЛАВА 4

Расширение и параллельные вселенные

Ничего не происходит из ничего.

Лукреций

Я допускаю, что наша Вселенная и в самом деле появилась ниоткуда около 10^{10} лет назад... Я выдвигаю скромное предположение о том, что возникновение нашей Вселенной является одним из тех событий, что происходят время от времени.

Эдвард Трайон

Вселенная — это полностью бесплатный ланч.

Алан Гут

В классическом научно-фантастическом романе Пола Андерсона «Тау Ноль» космический корабль под названием «Леонора Кристин» запускают в Космос с заданием достичь близлежащих звезд. На борту корабля находятся 50 человек; во время путешествия к новой звездной системе корабль может развивать околосветовую скорость. Что еще более важно, в корабле действует принцип теории относительности, который гласит, что чем быстрее движется корабль, тем больше замедляется время внутри корабля. А потому путешествие к близлежащим звездам, которое заняло бы десятилетия с точки зрения людей на Земле, для астронавтов длится лишь несколько-

ко лет. Наблюдателю с Земли, следящему за полетом астронавтов, показалось бы, что они заморожены во времени, их жизненные функции полностью остановлены. Но для астронавтов на борту корабля время движется своим чередом. Когда корабль сбросит скорость и астронавты выйдут в новый мир, они обнаружат, что всего лишь за несколько земных лет прошли расстояние в 30 световых лет.

Корабль представляет собой чудо техники; он приводится в действие прямоточными воздушно-реактивными двигателями, которые черпают водород из космоса, а затем сжигают его, получая неограниченное количество энергии. Корабль движется настолько быстро, что экипаж даже может наблюдать доплеровское смещение звездного света; звезды впереди кажутся голубоватыми, а звезды позади — красноватыми.

Затем происходит катастрофа. На расстоянии 10 световых лет от Земли корабль проходит сквозь межзвездное пылевое облако и попадает в область турбулентности, в результате чего временно перестает функционировать система торможения. Перепуганный экипаж оказывается в плену на вышедшем из-под контроля корабле, который все сильнее и сильнее разгоняется, приближаясь к скорости света. Члены экипажа беспомощно наблюдают за тем, как неуправляемый корабль за какие-то минуты пересекает целые звездные системы. За год корабль пронесется сквозь половину Галактики Млечный Путь. Бесконтрольно ускоряясь, корабль мчится мимо галактик; на это уходят месяцы, в то время как на Земле проходят миллионы лет. Вскоре скорость корабля настолько приближается к световой, «тау ноль», что члены экипажа становятся свидетелями космических катастроф, на их глазах старится сама Вселенная.

В конце концов они видят, что изначальное расширение Вселенной прекращается и обращается вспять — Вселенная сжимается. Температура резко возрастает, и члены экипажа понимают, что корабль движется навстречу Большому Сжатию. Они молятся про себя, видя, что температура растет, галактики начинают сливаться в единое целое — космический первоатом. Кажется, что они неминуемо встретят свою смерть в огненном катаклизме.

Их единственная надежда на то, что вещество взорвется и разлетится в пределах ограниченной области, а они на большой скорости проскользнут мимо. Чудом их защита срабатывает, когда они проле-

тают мимо первоатома и оказываются свидетелями творения новой Вселенной. Когда Вселенная вновь расширяется, их восхищенным взорам предстает картина творения новых звезд и галактик. Им удастся отремонтировать корабль, они тщательно рассчитывают курс, направляясь к достаточно взрослой галактике, которая содержит элементы высшего порядка, делающие жизнь в ней возможной. Наконец им удастся обнаружить планету, где жизнь возможна, и основывают там колонию, давая начало новому человечеству.

Эта история была написана в 1967 году, когда среди астрономов бушевали яростные споры о том, какова же конечная судьба Вселенной: погибнет ли она от Большого Сжатия или Большого Охлаждения, будет ли она бесконечно пульсировать или продолжит свое существование в стационарном состоянии бесконечно? С тех пор спор, кажется, нашел свое разрешение, и появилась новая теория — теория инфляции (расширения).

Рождение теории инфляции

«Волнующее открытие», — такую запись сделал Алан Гут в своем дневнике в 1979 году. Он был воодушевлен сознанием того, что, возможно, натолкнулся на одну из величайших теорий космологии. Гут впервые за 50 лет подверг основательному пересмотру теорию Большого Взрыва, сделав конструктивное наблюдение: он смог решить некоторые из глубочайших загадок космологии, предположив, что Вселенная подверглась гиперинфляции (ускоренному расширению) в момент своего рождения, расширению гораздо более быстрому, чем считало большинство физиков. Гут обнаружил, что с учетом этого гиперрасширения он может безо всяких усилий разрешить массу глубоких космологических вопросов, которые не поддавались никакому объяснению. Этой теории предстояло произвести революцию в космологии. (Последние космологические данные, включая результаты, полученные со спутника WMAP, согласуются с прогнозами, которые дает эта теория.) Это не только единственная действенная космологическая теория — она же простейшая и наиболее надежная.

Замечательно, что столь простая теория оказалась в состоянии разрешить так много сложных космологических вопросов. Одной из проблем, которые так элегантно разрешала теория инфляции, была

проблема плоскостности Вселенной. Астрономические данные показали, что кривизна Вселенной очень близка к нулю: по сути, она намного ближе к нулю, чем до этого считали многие астрономы. Это могло бы объясняться тем фактом, что Вселенная, подобно шарикам, который быстро надувают, стала более плоской за период расширения. Мы подобны муравьям, ползающим по поверхности шарика, — мы слишком малы, чтобы заметить очень маленькую кривизну шарика. Инфляция настолько «вытянула» пространство-время, что оно кажется плоским.

Историческим в открытии Гута было то, что он применил физику элементарных частиц, занимающуюся анализом мельчайших частиц в природе, к космологии, изучению Вселенной во всей ее целостности, включая происхождение. Теперь мы понимаем, что глубочайшие загадки Вселенной нельзя решить без физики чрезвычайно малого — мира квантовой теории и физики элементарных частиц.

Поиски объединения

Гут родился в 1947 году в Нью-Брансуике (штат Нью-Джерси). В отличие от Эйнштейна, Гамова и Хойла, в жизни Гута не было судьбоносного момента, толкнувшего его в мир физики. Ни его отец, ни мать не получили высшего образования и не проявляли интереса к науке. Но по собственному признанию Алана, его всегда восхищала связь математики с законами природы.

В Массачусетском технологическом институте в 1960-е годы он серьезно рассматривал возможность заняться физикой элементарных частиц. В особенности его восхищало всеобщее возбуждение, причиной которого стало новое течение в физике, поиски объединения всех основных сил. Святым Граалем физики были объединяющие мотивы, которые могли бы объяснить все тонкости строения Вселенной самым простым и связным образом. Целую вечность физики блуждали в поисках этого Грааля. Со времен древних греков ученые считают, что Вселенная, которую мы видим сегодня, представляет собой обломки чего-то гораздо более простого, и наша цель — раскрыть суть этого простого.

За две тысячи лет исследований природы вещества и энергии физики открыли, что механизм Вселенной приводят в действие всего

четыре основные силы. (Ученые пытались и пытаются найти возможную пятую силу, но до сих пор все результаты исследований в этом направлении были отрицательными или неубедительными.)

Первая сила — гравитационное взаимодействие, которое удерживает Солнечную систему как единое целое и движет планеты по их небесным орбитам в Солнечной системе. Если гравитацию неожиданно «выключить», то звезды в небесах взорвутся, Земля рассыплется и нас всех выбросит в открытый космос со скоростью около полутора тысяч километров в час.

Вторая сила — электромагнитное взаимодействие, которое освещает наши города, заполняет мир телевизорами, сотовыми телефонами, радиоприемниками, лазерными лучами и сетью Интернет. Если внезапно выключить электромагнитное взаимодействие, то цивилизацию тут же отбросит на век-другой в прошлое, в темноту и безмолвие. Это наглядно продемонстрировала авария энергосистемы в 2003 году, парализовавшая весь северо-восток США. Если мы рассмотрим электромагнитную силу в микроскоп, то увидим, что она состоит из крошечных частиц, или квантов, называемых фотонами.

Третья сила — слабое ядерное взаимодействие, отвечающее за радиоактивный распад. Это слишком слабый фактор, чтобы удерживать атом как единое целое, он позволяет ядру разделиться на более мелкие составляющие, или распасться. Радиоактивные приборы в больницах во многом основываются на слабом ядерном взаимодействии. Слабое ядерное взаимодействие также способствует разогреву земного ядра посредством радиоактивных веществ, что становится причиной извержения вулканов. Слабое ядерное взаимодействие, в свою очередь, основывается на взаимодействии электронов и нейтрино (призрачные частицы, практически не имеющие массы и способные проходить сквозь триллионы километров твердого свинца, ни с чем не сталкиваясь). Эти электроны и нейтрино взаимодействуют, обмениваясь частицами, W - и Z -бозонами.

Сильное ядерное взаимодействие скрепляет ядра атомов. Без этой силы ядра бы разделились на части, атомы бы распались, а вся наша реальность «расползлась» бы. Сильное ядерное взаимодействие отвечает за примерно сотню элементов, которые заполняют Вселенную. Вместе с тем сильное и слабое ядерные взаимодействия отвечают за свет, который испускают звезды согласно уравнению

Эйнштейна — $E = mc^2$. Без ядерного взаимодействия Вселенная погрузилась бы во тьму, температура на Земле резко упала бы, а океаны превратились бы в ледники.

Удивительной чертой этих четырех сил является то, что все они принципиально отличаются друг от друга, обладая различными свойствами и имея свои достоинства. Например, гравитация намного слабее трех остальных сил, она в 10^{36} раз слабее электромагнитного взаимодействия. Земля весит 6 триллионов килограммов, и все же огромный вес и гравитация могут быть легко уравновешены с помощью электромагнитной силы. Даже ваша расческа может поднять клочки бумаги с помощью статического электричества, тем самым преодолевая силу гравитации. К тому же гравитация только притягивает свои объекты, электромагнитная же сила может как притягивать, так и отталкивать, в зависимости от заряда частиц.

Объединение на уровне теории Большого Взрыва

Один из фундаментальных вопросов, с которым столкнулась физика, таков: почему Вселенная должна приводиться в действие четырьмя различными взаимодействиями? И почему эти четыре взаимодействия должны быть столь непохожими друг на друга, обладать различными качествами, различной физикой и различным образом взаимодействовать?

Эйнштейн первым поставил перед собой цель объединить эти четыре силы при помощи единой связной теории поля, начав с объединения гравитации с электромагнитным взаимодействием. Он не добился успеха, потому что обогнал свое время: тогда слишком мало было известно о сильном взаимодействии, чтобы создать абсолютно реалистичную объединенную теорию поля. Но пионерская работа Эйнштейна раскрыла глаза целому миру физиков на возможность существования «теории всего».

Цель объединенной теории поля казалась в высшей степени недостижимой в 1950-е годы, особенно в момент, когда в физике элементарных частиц царил полный хаос: ускоритель атомных частиц расщеплял ядро с целью обнаружить «элементарные составляющие» вещества, а на выходе при эксперименте обнаруживались лишь сотни

новых частиц. «Физика элементарных частиц» стала терминологическим противоречием, космической шуткой. Древние греки считали, что при расщеплении субстанции на основные составляющие все упрощается. Но все получилось с точностью до наоборот: физики изо всех сил пытались найти достаточно букв греческого алфавита для обозначения всех новых частиц. Дж. Р. Оппенгеймер пошутил, что Нобелевскую премию по физике должен получить физик, который *не* открыл в этом году новую частицу. Нобелевский лауреат Стивен Вайнберг начал сомневаться, способен ли человеческий разум вообще постичь секрет ядерного взаимодействия.

Эта неразбериха несколько улеглась, когда Марри Гелл-Манн и Джордж Цвейг из Калифорнийского технологического института предложили теорию кварков — составляющих протонов и нейтронов. Согласно теории кварков, три кварка составляют протон или нейтрон, а кварк и антикварк составляют мезон (частицу, удерживающую частицы ядра). Это было лишь частным решением (поскольку сегодня нас затопляют различные виды кварков), но тогда это влило новую струю энергии в пребывающую в спячке область науки.

В 1967 году физики Стивен Вайнберг и Абдус Салам совершили ошеломляющий прорыв, доказав, что возможно объединение слабого ядерного и электромагнитного взаимодействий. Они создали новую теорию, согласно которой электроны и нейтрино (называемые лептонами) взаимодействуют друг с другом путем обмена новыми частицами, названными W- и Z-бозонами, а также фотонами. Рассматривая W- и Z-бозоны и фотоны на общем основании, они создали теорию, объединяющую обе силы. В 1979 году Стивен Вайнберг, Шелдон Глэшоу и Абдус Салам получили Нобелевскую премию за совместную работу в области объединения двух из четырех сил — электромагнитного и слабого ядерного взаимодействий, — а также за активные исследования в области сильного ядерного взаимодействия.

В 1970-е годы физики провели тщательный анализ данных, полученных на ускорителе частиц Стэнфордского центра линейного ускорителя (SLAC), обстреливающим цель мощными зарядами электронов, чтобы исследовать строение протона. Они обнаружили, что сильное ядерное взаимодействие, удерживающее кварки внутри протона, можно объяснить, введя новые частицы (названные глюо-

нами), которые являются квантами сильного ядерного взаимодействия. Природу связующей силы, удерживающей протон от распада, можно было бы объяснить тем, что составляющие его кварки обмениваются между собой глюонами. Это привело к созданию новой теории сильного ядерного взаимодействия, названной квантовой хромодинамикой.

Итак, к середине 1970-х годов стало возможным объединить три взаимодействия из четырех (кроме гравитации) и получить так называемую Стандартную модель — теорию кварков, электронов и нейтрино, которые взаимодействовали путем обмена глюонами, W- и Z-бозонами и фотонами. Эта модель стала результатом десятилетий мучительной работы и исследований в области физики частиц. В настоящее время Стандартная модель способна структурировать все без исключения экспериментальные данные, имеющие отношение к физике частиц.

Хотя Стандартная модель — одна из наиболее успешных физических теорий всех времен, она весьма безобразна. Сложно поверить, что на фундаментальном уровне можно оперировать теорией, которая столь топорно описана. Например, в этой теории существует 19 произвольных параметров, которые вписаны эмпирически (т. е. различные массы и силы взаимодействия не определяются теорией, их нужно выводить экспериментальным путем; в идеале же, то есть в подлинно объединяющей теории, эти константы должны определяться самой теорией, а не зависеть от внешних экспериментов).

Далее, в ней существуют три точные копии элементарных частиц, называемые поколениями. Сложно поверить, что природа на самом фундаментальном уровне будет использовать три точные копии субатомных частиц. Если не считать их массы, то эти частицы точные копии. (Например, такими копиями электрона являются мюон, масса которого в 200 раз больше массы электрона, и тау-частица, с массой в 3500 раз больше.) Наконец, в Стандартной модели нет никакого упоминания о силе гравитации, хотя гравитация, пожалуй, наиболее всепроникающая сила во Вселенной.

Поскольку Стандартная модель, несмотря на ее потрясающий экспериментальный успех, кажется такой надуманной, физики пытались создать еще одну теорию, или теорию Великого Объединения (ТВО), которая рассматривала бы кварки и лептоны на общем

основании. Она также рассматривала глюон, W- и Z-бозоны и фотон на одном уровне. (Однако эта разработка не смогла стать «окончательной теорией», поскольку гравитация в ней подозрительным образом не учитывалась: ее считали слишком сложной для слияния с остальными силами, как мы это увидим.)

	Кварки		Лептоны	
Первое поколение	Φ U-кварк (up)	Φ D-кварк (down)	Φ Электрон	Φ Нейтрино
Второе поколение	Φ С-кварк очарование	Φ S-кварк странность	Φ Мюон	Φ Мюонное нейтрино
Третье поколение	Φ Т-кварк (top)	Φ - В-кварк (bottom)	Φ Тау	Φ Тау-нейтрино
	Φ W-бозон	Φ Z-бозон	\pm	\circ Бозон Хиггса

Это субатомные частицы, содержащиеся в Стандартной модели — наиболее успешной теории элементарных частиц.

Она построена на кварках, из которых состоят протоны и нейтроны, лептонах, таких, как электрон и нейтрино, и многих других частицах.

Обратите внимание, что результатом модели являются три одинаковые копии субатомных частиц. Поскольку Стандартная модель

не может объяснить гравитацию (и кажется такой нелепой), физики-теоретики считают, что эта теория не может быть окончательной.

Программа объединения, в свою очередь, ввела в космологию новую парадигму. Идея была очень простой и изящной: в момент Большого Взрыва все четыре основные силы объединились в единую связанную силу, загадочную «сверхсилу». Четыре силы были равны друг другу по значимости и являлись частью единого связанного целого. Однако, когда Вселенная начала стремительно расширяться и остывать, изначальная «сверхсила» начала «расщепляться» и от нее одна за другой начали «отпадать» различные силы.

Согласно этой теории, остывание Вселенной после Большого Взрыва аналогично замерзанию воды. Когда вода находится в жидком состоянии, она вполне однородна и поверхность ее гладкая. Однако при замерзании внутри ее объема образуются миллионы крошечных ледяных кристалликов. Когда жидкая вода замерзает, ее изначальная однородность нарушена, поскольку лед содержит трещины, пузырьки и кристаллы.

Другими словами, сегодня мы видим, что Вселенная ужасно повреждена. Она совсем неоднородна и несимметрична, она состоит из неровных горных цепей, вулканов, ураганов, каменных астероидов и взрывающихся звезд; при этом отсутствует всякое единство, — более того, мы видим, что четыре основные силы никак не связаны друг с другом. Но причина того, что Вселенная так искорежена, — это то, что она уже старая и холодная.

Хотя Вселенная возникла в состоянии совершенного единства, до сегодняшнего дня она прошла много «фазовых переходов», или изменений состояния, при которых вселенские силы одна за другой освобождались от взаимодействия с остальными по мере остывания Вселенной. Физикам предстоит заглянуть в прошлое, воссоздать этапы изначального формирования Вселенной (в состоянии совершенного единства), которые привели к тому повреждению Вселенной, которое мы видим на сегодняшний день.

Таким образом, чтобы получить ключ к разгадке, необходимо точно понять, как произошли эти «фазовые переходы» с момента создания Вселенной, которые ученые называют «спонтанными нарушениями». Будь то таяние льда, кипение воды, образование дождевых облаков или охлаждение после Большого Взрыва, фазовые переходы могут соединять два совершенно разных состояния вещества. (Чтобы показать, насколько мощными могут быть эти фазовые переходы, художник Боб Миллер загадал загадку: «Как можно подвесить 200 000 кг воды в воздухе без всякой опоры? Ответ: образовать облако.»)

Ложный вакуум

Процесс, когда одна сила отделяется от остальных, можно сравнить с прорывом плотины. Реки текут по склонам, потому что вода течет

в направлении уменьшения энергии, то есть в сторону уровня моря. Наименьшим энергетическим состоянием является вакуум. Однако существует и необычный, ложный вакуум. Например, если мы соорудим плотину на реке, то будет казаться, что она находится в стабильном состоянии, в то время как в действительности она находится под огромным давлением. Если в плотине появится малейшая трещина, давление может разнести плотину, освободить поток энергии из ложного вакуума (перегороженная плотиной река) и вызвать катастрофический разлив ее в направлении истинного вакуума (уровень моря). Могут быть затоплены целые населенные пункты, если вдруг произойдет спонтанное разрушение плотины и внезапный переход от ложного вакуума к истинному.

Подобным образом, по теории Великого Объединения, Вселенная изначально возникла в состоянии ложного вакуума, где три силы были объединены в единое целое. Однако целостность эта была нестабильной, она спонтанно разрушилась, и произошел переход из ложного вакуума, где были объединены три силы, к истинному вакууму, где эти силы распались.

Все это было известно еще до того, как Гут начал анализировать теорию Великого Объединения. Но Гут заметил еще кое-что, что просмотрели другие. В состоянии ложного вакуума Вселенная расширяется экспоненциально, в точности так, как предсказывал де Ситтер в 1917 году. Энергия ложного вакуума является космологической константой, которая заставляет Вселенную расширяться с невероятной скоростью. Гут задался судьбоносным вопросом: может ли это экспоненциальное расширение де Ситтера разрешить некоторые космологические проблемы?

Проблема монополя

Одним из прогнозов теорий Великого Объединения было образование в начале времен множества монополей. Монополь — единственный магнитный полюс, северный или южный. В природе монополей не бывает: полюса встречаются только в паре. Если взять молоток и разбить им магнит пополам, то не получится двух монополей; вместо этого у вас окажется два меньших магнита с парой полюсов, северным и южным соответственно.

Проблемой, однако, стало то, что ученые, веками экспериментируя, не обнаружили убедительных доказательств существования монополя. Алан Гут был озадачен тем фактом, что теории Великого Объединения предсказывали существование большого количества монополей, хотя никто никогда их не видел. «Подобно единорогу, монополь и до сих пор продолжает пленять человеческий разум, несмотря на отсутствие убедительных доказательств его существования», — заметил Гут.

И тут внезапно ему в голову пришла идея. В мгновение ока все кусочки головоломного пазла встали на свои места. Он понял, что если Вселенная зародилась в состоянии «ложного вакуума», то она могла расширяться экспоненциально, как и предполагал де Ситтер несколько десятков лет тому назад. В этом состоянии ложного вакуума Вселенная могла внезапно инфляционно расшириться до невероятной степени. Если ученые до сих пор и не встречали монополя, то дело обстоит так лишь потому, что монополи были разбросаны по всей Вселенной, которая имела гораздо большие размеры, чем можно было предположить.

Для Гута это осознание стало источником радости и удивления. Такое простое решение могло бы в момент объяснить проблему монополя. Но Гут понимал, что последствия этого решения для космологии будут гораздо более существенными, чем он сам усматривал в своей идее.

Проблема плоскостности Вселенной

Алан Гут увидел, что его теория разрешает еще одну проблему, проблему плоскостности Вселенной, которую мы упоминали ранее. Стандартная картина Большого Взрыва не могла объяснить, почему Вселенная такая плоская. В 1970-е годы считалось, что плотность вещества во Вселенной, называемая ρ_0 , равнялась приблизительно ОД. Тот факт, что значение было относительно близко к критической плотности 1,0 через столько миллиардов лет после Большого Взрыва, очень беспокоил ученых. По мере того как Вселенная расширялась, ρ_0 должна была бы со временем измениться. Ее же значение было уютно близко к значению 1,0, которое описывает полностью плоский космос.

Уравнения Эйнштейна для любого разумного значения ρ_0 в начале времен показывают, что в наши дни ρ_0 должна равняться почти нулю. Потребовалось бы чудо, чтобы ρ_0 находилась так близко к значению 1 через столько миллиардов лет, прошедших после Большого Взрыва. Это то, что в космологии называют проблемой точной настройки. Бог, или Творец, должен был «выбрать» значение ρ_0 с фантастической точностью, чтобы в наши дни она равнялась 0,1. Если в наши дни значение ρ_0 находится в диапазоне от 0,1 до 10, то это подразумевает, что через одну секунду после Большого Взрыва ее значение равнялось 1,0000000000000000. Иными словами, в начале времен значение ρ_0 должно было быть «выбрано» равным единице с точностью до одной стотриллионной, что с трудом укладывается в голове. •

Представьте, что вы стараетесь поставить карандаш на острие. Сколько бы вы ни искали баланс, карандаш все равно падает. По сути, необходима потрясающая точность настройки — сбалансировать карандаш таким образом, чтобы он не упал. А теперь попробуйте сбалансировать карандаш так, чтобы он простоял на острие грифеля не несколько секунд, а несколько лет! Вот также невероятно и точная настройка, необходимая для того, чтобы сегодня ρ_0 равнялась 0,1. Малейшая ошибка в настройке стала бы причиной нынешнего значения ρ_0 , намного отличного от единицы. Так почему же плотность столь близка к Первому дню Творения, если, **Тю** справедливости, ее значение должно бы уйти астрономически далеко?

Для Гута ответ был очевиден. Вселенная просто-напросто расширилась до такой степени, что стала казаться плоской. Подобно человеку, считающему, что Земля плоская, потому что он не видит горизонта, астрономы заключили, что значение ρ_0 находится в области 1, потому что инфляция сделала Вселенную плоской.

Проблема горизонта

Инфляция не только объясняла факты, свидетельствующие о том, что Вселенная плоская, — она также решила проблему горизонта. Эта проблема основана на простом понимании того, что ночное небо кажется относительно однородным, в какую бы точку вы ни смотрели. Если вы повернете голову на 180°, то увидите, что Вселенная однородна, хотя только что видели сегменты Вселенной, разделенные де-

сятками миллиардов световых лет. Мощнейшие телескопы не могут обнаружить каких-либо заметных отклонений в этой однородности. Наши космические спутники показали, что космическое фоновое микроволновое излучение также распределено чрезвычайно однородно. В какую бы точку космоса мы ни проникли, температура фонового излучения меняется не более чем на одну тысячную градуса.

Но в этом-то и проблема, поскольку скорость света является конечным скоростным пределом во Вселенной. За время жизни Вселенной свет или информация никоим образом не могли пройти расстояние от одной части ночного неба к другой. Если взять, скажем, микроволновое излучение, видимое в одном направлении, то оно путешествовало более 13 млрд лет с момента Большого Взрыва. Но если мы повернем голову на 180° , то увидим такое же микроволновое излучение, которое тоже пропутешествовало более 13 млрд лет. Поскольку эти излучения имеют одну и ту же температуру, это означает, что они находились в термальном контакте еще в начале времен. Но различные точки в ночном небе, разделенные расстоянием в 26 миллиардов световых лет, с момента Большого Взрыва никоим образом не могли обмениваться информацией.

Ситуация выглядит еще хуже, если взглянуть на небо через 380000 лет после Большого Взрыва, когда впервые образовалось микроволновое фоновое излучение. Если мы взглянем на противоположные точки небесной сферы (не простым глазом, естественно), то увидим, что излучение почти однородно. Но, согласно расчетам в рамках теории Большого Взрыва, между этими противоположными точками лежит расстояние в 90 миллионов световых лет (из-за космического расширения после взрыва). Но свет никак не мог пройти 90 миллионов световых лет за 380 000 лет. Информация должна была бы двигаться со скоростью, намного превышающей скорость света, а это невозможно.

По справедливости, Вселенная должна бы казаться довольно комковатой, при этом одна ее часть находилась бы слишком далеко от другой, чтобы они могли контактировать между собой. Как может Вселенная казаться настолько однородной, когда у света просто-напросто не было достаточно времени, чтобы перенести и распространить информацию из одной части Вселенной в другую? (Принстонский физик Роберт Дик назвал эту проблему «проблемой

горизонта», поскольку горизонт — самая отдаленная точка, которую мы можем видеть, самая отдаленная точка, до которой может распространяться свет.)

Однако Гут понял, что инфляция дает ключ к разрешению и этой проблемы. Он сделал следующий вывод: наша Вселенная, видимо, была крошечным язычком изначального огненного облака. Температура и плотность этого язычка были однородны. Но инфляция внезапно расширила этот язычок однородного вещества в 10^{50} раз, со скоростью, намного превышающей скорость света, а потому видимая сегодня Вселенная кажется столь однородной. Так что ночное небо и микроволновое излучение кажутся столь однородными из-за того, что видимая Вселенная была когда-то крошечным, но однородным язычком изначального облака пламени, который внезапно расширился, образовав Вселенную.

Реакция на инфляцию

Хотя Гут был уверен в том, что инфляционная теория верна, он несколько нервничал, когда начал читать первые публичные лекции. Когда в 1980 году он представил свою теорию, то признался: «Я все еще беспокоился о том, что некоторые заключения в теории могли быть неверны. И побаивался, что покажусь незрелым космологом». Но его теория была столь изящна и мощна, что физики всего мира незамедлительно уяснили всю ее важность. Нобелевский лауреат Марри Гелл-Манн воскликнул: «Вы решили важнейшую проблему космологии!» Другой нобелевский лауреат Шелдон Глэшоу по секрету сообщил Гуту, что Стивен Вайнберг был «взбешен», когда услышал об «инфляции». Гут взволнованно спросил: «У Стива были какие-то возражения по поводу теории?» Глэшоу ответил: «Нет, просто он жалел, что сам до нее не додумался». Ученые задавались вопросом, как они могли упустить такое простое решение. Теорию Гута восторженно приняли физики-теоретики, пораженные ее размахом.

Новая теория расширила и перспективы Гута на получение работы. Когда-то из-за большой конкуренции на рынке труда он лицом к лицу столкнулся с безработицей. «Я находился в критической ситуации в смысле трудоустройства», — признавался он. Внезапно на него посыпались предложения из лучших университетов, но

Массачусетский технологический институт, который он выбрал с самого начала, не прислал ему приглашения. Тогда же Гут прочитал записочку-предсказание, запеченную в печенье, которая гласила: «Если вы не слишком застенчивы, то прямо перед вами находится волнующая возможность». Это предсказание придало ему мужества позвонить в Массачусетский технологический институт и осведомиться о возможности получения работы. Он был ошеломлен, когда через несколько дней ему перезвонили из института и предложили должность профессора. В следующем печенье он обнаружил вот такое предсказание: «Не нужно действовать под влиянием момента». Не обратив внимания на совет, он решил принять предложение МТИ. «В конце концов, что может знать китайское печенье?» — спросил он себя.

Однако возникли серьезные проблемы. Астрономы были не слишком очарованы теорией Гута, поскольку в ней зияла пробойна; она давала неверный прогноз ω_0 . Тот факт, что ω_0 относительно близка к 1, мог объясняться теорией инфляции. Однако инфляционная теория шла намного дальше и предсказывала, что ω_0 (или ω_0 плюс ϵ) должна в точности равняться 1, что соответствовало плоской Вселенной. В следующие годы по мере того, как накапливалось все больше экспериментальных данных о расположении темной материи во Вселенной, значение ω_0 несколько сдвинулось, поднявшись с 0,1 до 0,3. Но это значение все еще было потенциально опасным для теории инфляции. Хотя в течение следующего десятилетия физики посвятили теории инфляции более трех тысяч работ, для астрономов она оставалась странной. Им казалось, что имеющиеся у них данные исключают возможность инфляции Вселенной.

Некоторые астрономы жаловались, что физики, занимающиеся теорией частиц, настолько захвачены красотой теории инфляции, что готовы пренебречь экспериментальными фактами. (Астроном Роберт Кишнер из Гарварда писал: «Эта «инфляционная» теория звучит безумно. Тот факт, что ее серьезно воспринимают люди, которые пользуются заслуженным авторитетом, не превращает ее автоматически в правильную». Роджер Пенроуз из Оксфорда назвал теорию инфляции «модой, которую специалисты, занимающиеся физикой высоких энергий, навязали космологам. Даже муравьеды думают, что их детеныши прекрасны».)

Сам же Гут верил: рано или поздно подтвердится, что Вселенная плоская. Но его и вправду беспокоил тот факт, что в изначальной картине наблюдался маленький, но очень серьезный недостаток, который и до сих пор не до конца объяснен. Теория инфляции идеально подходила для решения глубоких космологических проблем. Проблема заключалась в том, что Гут не знал, как «выключить» инфляцию.

Представьте, что вы поставили на огонь чайник и температура воды в нем подходит к точке кипения. Как раз перед тем, как закипеть, она мгновенно переходит в состояние высокой энергии. Она стремится закипеть, но не может, потому что для образования пузырьков ей требуется какая-то неравномерность, инородное тело. Но когда пузырек образуется, он быстро переходит в состояние низкой энергии чистого вакуума, и чайник наполняется пузырьками. В конце концов пузырьки становятся такими большими, что сливаются, пока чайник не наполняется однородным паром. Когда все пузырьки сливаются, фаза перехода воды в пар завершена.

В изначальной картине Гута каждый пузырек представлял из себя частичку нашей Вселенной, расширяющейся из вакуума. Но когда Гут провел расчеты, он обнаружил, что пузырьки не сливаются должным образом, тем самым оставляя Вселенную невероятно комковатой. Иными словами, по его теории оставался полный чайник пузырьков пара, которые никогда не сольются вместе, чтобы образовать полный чайник однородного пара. Чайник кипящей воды Гута, казалось, никогда не превратится во Вселенную сегодняшнего дня.

В 1981 году Андрей Линде из Института П. Н. Лебедева в России, а также Пол Дж. Штайнхардт и Андреас Альбрехт из Пенсильванского университета нашли способ разрешить эту загадку, поняв, что если одиночный пузырекложного вакуума будет расширяться достаточно долго, то в конце концов он заполнит весь «чайник» и создаст однородную Вселенную. Иными словами, наш мир может быть побочным продуктом одиночного пузырька, который расширился и заполнил Вселенную. Тогда не понадобилось *бы* большое количество пузырьков, которые должны слиться и заполнить чайник однородным паром. Достаточно было бы одиночного пузырька, при условии, что он расширился бы достаточно долго.

Вернемся к аналогии с плотиной и ложным вакуумом. Чем шире плотина, тем больше времени понадобится воде, чтобы ее прорвать. Если стена плотины достаточно толстая, то время, нужное воде, чтобы пройти сквозь плотину, может быть произвольно долгим. Если Вселенная может расширяться в 10^{50} раз, то у одиночного пузырька достаточно времени решить проблемы горизонта, плоскостной Вселенной и монополя. Иными словами, если процесс туннелирования достаточно замедлен, то Вселенная расширяется достаточно долго, чтобы стать плоской и чтобы по ней распространились монополи. Но это все же не решает вопрос: какой механизм может продлить инфляцию такого большого масштаба?

В конце концов, эта трудная проблема стала известна как «проблема мягкого выхода», то есть как расширять Вселенную достаточно долго, чтобы один-единственный пузырек смог образовать целиком всю Вселенную. За несколько лет было предложено по крайней мере 50 различных способов решения «проблемы мягкого выхода». (Это обманчиво простая задача. Я сам пытался найти несколько решений. Было относительно легко создать расширение умеренных масштабов в ранней Вселенной. Но чрезвычайно трудно заставить Вселенную расширяться в 10^{50} раз. Конечно, можно просто вписать цифру 10^{50} , но это будет искусственно и натянуто.) Иными словами, общепринятым было мнение, что процесс инфляции решает проблему монополя, горизонта и плоскостности Вселенной, но никто точно не знал, что вызвало инфляцию и что ее остановило.

Хаотическое расширение и параллельные вселенные

Физика Андрея Линде несколько не беспокоил тот факт, что никто не торопился с решением проблемы мягкого выхода. Линде признавался: «У меня было такое чувство, что Бог просто не мог не воспользоваться такой возможностью упростить свою работу».

В конце концов Линде предложил новый вариант теории инфляции, который, казалось, не содержал некоторых недостатков предыдущих версий. Он представлял Вселенную, в которой в различных временных и пространственных отрезках происходят спонтанные

нарушения. В каждой точке, где происходит нарушение, возникает , Вселенная, которая расширяется. Большую часть времени расширение незначительно. Но поскольку процесс беспорядочен, в конце концов возникает пузырек, расширение которого длится достаточно долго для того, чтобы создать нашу Вселенную. Из этого логически вытекает, что расширение является длительным и вечным, большие взрывы случаются постоянно, одни вселенные отпочковываются от других вселенных. Согласно этому сценарию, вселенные могут «распускаться бутонами» других вселенных, создавая тем самым «Мультивселенную».

Согласно этой теории, спонтанное нарушение может произойти где угодно в нашей Вселенной, став причиной того, что от нашей Вселенной отпочкуется еще одна. Это также означает, что и наша Вселенная могла отпочковаться от другой вселенной. Согласно хаотической инфляционной модели, Мультивселенная вечна, даже если не вечны отдельные вселенные. В некоторых вселенных значение Λ может быть очень большим, и тогда они немедленно прекратят свое существование в результате Большого Сжатия после Большого Взрыва. В других вселенных это значение может быть совсем близким к нулю, в результате чего они будут расширяться вечно. В конце концов в Мультивселенной начинают доминировать те вселенные, которые стремительно расширяются.

Оглядываясь назад, можно сказать, что сама идея существования параллельных вселенных буквально навязана нам. Инфляционная теория представляет собой синтез традиционной космологии с достижениями в области физики элементарных частиц. Будучи квантовой теорией, физика частиц утверждает, что существует ограниченная вероятность происхождения маловероятных событий, таких, как создание параллельных вселенных. Таким образом, как только мы признаем возможность создания одной Вселенной, мы тем самым откроем двери возможности создания бесконечного множества параллельных вселенных. К примеру, вспомните о том, как квантовая теория описывает электрон. Вследствие нестабильности электрон не существует ни в одной отдельно взятой точке, а существует во всех возможных точках вокруг ядра. Это электронное «облако», окружающее ядро, представляет электрон, находящийся во многих положениях одновременно. Это основа всей химии, позволяющая

электронам связывать молекулы между собой. Наши молекулы не растворяются, потому что вокруг них танцуют электроны, удерживая их в целостности. Подобным образом и наша Вселенная была когда-то меньше электрона. Применяя квантовую теорию ко Вселенной, мы вынуждены признать, что Вселенная существует одновременно во многих состояниях. Иными словами, допустив применение квантовых флуктуации ко Вселенной, мы почти вынуждены признать возможность существования параллельных Вселенных. Похоже, выбор у нас невелик.

Вселенная из ничего

Можно, конечно, возражать против понятия Мультивселенной, потому что кажется, что ее существование нарушает известные нам законы, такие, как законы сохранения вещества и энергии. Однако все энергетическое/материальное содержимое Вселенной может в действительности оказаться очень малым. Материальное содержимое Вселенной, включая звезды, планеты и галактики, огромно и имеет величину положительную. Однако энергия, скрытая в гравитации, может быть отрицательной. Если добавить положительную энергию вещества к отрицательной энергии гравитации, то сумма может оказаться близкой к нулю! В каком-то смысле *такие вселенные свободны*. Они могут выпрыгнуть из вакуума практически без всяких усилий. (Если Вселенная является вселенной закрытого типа, то все энергетическое содержимое Вселенной должно быть в точности равно нулю.)

(Чтобы ухватить суть, представьте осла, падающего в глубокую яму, выкопанную в земле. Чтобы вытащить его оттуда, мы должны добавить ему энергии. Когда его вытащат и он снова будет стоять на земле, его энергия будет считаться нулевой. Таким образом, нам необходимо добавить энергии осла, чтобы привести его в состояние нулевой энергии. Получается, что, пока он был в яме, у него была отрицательная энергия. Подобным образом, для того, чтобы вытащить планету из Солнечной системы, необходимо приложить энергию. Как только планета окажется в открытом космосе, она будет обладать нулевой энергией. Поскольку нам необходимо добавить энергии для того, чтобы извлечь планету из Солнечной системы и достичь со-

стояния нулевой энергии, то, находясь внутри Солнечной системы, планета обладает отрицательной гравитационной энергией.)

По сути, для того, чтобы создать Вселенную, похожую на нашу,¹ может потребоваться до смешного малое количество вещества — возможно, всего лишь 1 унция (28,3495 г). Как любит повторять Гут, «Вселенная может быть бесплатным завтраком». Эта идея была впервые предложена физиком Эдвардом Трайном из Хантер-колледжа Нью-Йоркского университета, в работе, опубликованной журналом «Нэйчер» (*Nature*) в 1973 году. Он предположил, что Вселенная — это нечто, «что происходит время от времени» вследствие квантовых флуктуации в вакууме. (Хотя общее количество вещества, необходимого для создания Вселенной, может быть близким к нулю, вещество может быть сжато до невероятной плотности, как мы увидим в главе 12.)

Подобно мифу о Пань-гу, это является примером космологии *creatio ex nihilo*. Хотя теория о Вселенной-из-ничего не может быть доказана традиционными методами, она все же помогает ответить на практические вопросы о существовании Вселенной. К примеру, вращается ли Вселенная вокруг своей оси? Все, что мы видим вокруг, вращается — от волчков, ураганов, планет и галактик до квазаров. Кажется, это универсальная характеристика вещества во Вселенной. Но сама Вселенная не вращается. Когда мы смотрим на галактики в небесах, их общее вращение сводится к нулю. (Это довольно удачно, потому что, как мы увидим в главе 5, если бы Вселенная действительно вращалась, то путешествие во времени стало бы делом обычным и запись истории была бы невозможной.) Причиной, по которой наша Вселенная не вращается, может быть то, что она возникла из ничего. Поскольку вакуум не вращается, мы не ждем, что в нашей Вселенной возникнет какое-нибудь суммарное вращение. По сути, все вселенные-пузырьки в Мультивселенной могут иметь нулевое вращение.

Почему положительный и отрицательный электрические заряды сбалансированы? Обычно, рассуждая о космических силах, управляющих Вселенной, мы больше думаем о гравитации, нежели о силе этого электромагнитного взаимодействия, хотя сила гравитации бесконечно меньше силы электромагнитного взаимодействия. Причиной является совершенный баланс между положительным и

отрицательным зарядами. В результате общий заряд Вселенной, видимо, нулевой, и кажется, что во Вселенной преобладает гравитация.

Хотя мы принимаем это как должное, явление нейтрализации положительных и отрицательных зарядов довольно любопытно и было экспериментально проверено с точностью до 10^{-21} . (Конечно, существует местный дисбаланс зарядов, а потому мы периодически имеем дело с молниями. Но общее количество зарядов, даже для гроз, сводится к нулю.) Если бы разница между положительными и отрицательными зарядами в вашем теле составляла хотя бы 0,00001 %, то вас мгновенно разорвало бы в клочья, а электрическая сила выкинула бы части вашего тела в открытый космос.

Ответом на эти загадки, в течение долгого времени терзавшие ученых, может служить то, что Вселенная произошла из ничего. Поскольку у вакуума общее вращение и заряд равны нулю, то у любой дочерней Вселенной, выпрыгнувшей из ничего, вращение и заряд также должны быть нулевыми.

Существует одно бесспорное исключение из этого правила[^]. Этим исключением является тот факт, что Вселенная состоит по большей части из вещества, а не из антивещества. Поскольку вещество и антивещество противоположны (при этом антивещество имеет в точности противоположный веществу заряд), мы могли бы предположить, что при Большом Взрыве возникло равное количество вещества и антивещества. Однако проблема в том, что при контакте вещество и антивещество уничтожат друг друга во взрыве гамма-лучей. Таким образом, мы вообще не должны были бы существовать. Вселенная была бы беспорядочным скоплением гамма-лучей, а не изобиловала бы обычным веществом. Если бы Большой Взрыв был полностью симметричен (или произошел из ничего), то нам следовало бы ожидать образования одинакового количества вещества и антивещества. Так почему же мы все-таки существуем? Решение, предложенное русским физиком Андреем Сахаровым, состоит в том, что Большой Взрыв вовсе не был абсолютно симметричным. Крошечное количество симметрии между веществом и антивеществом было нарушено в момент создания, а потому вещество стало доминировать над антивеществом и это сделало возможным существование Вселенной, которую мы видим вокруг себя. (Симметрия, нарушенная в момент Большого Взрыва, называется CP-симметрией

(CP-symmetry), это симметрия равенства противоположных зарядов и равенства частиц вещества и антивещества.) Если Вселенная произошла из «ничего», то, возможно, «ничто» не было совсем пустым, но содержало в себе небольшое количество нарушения симметрии, что объясняет небольшое преобладание вещества над антивеществом в наши дни. Происхождение этого нарушения симметрии и до сих пор неизвестно.

Как могли бы выглядеть другие вселенные?

Идея Мультивселенной весьма привлекательна, потому что все, что нам нужно сделать, — это предположить, что спонтанное нарушение происходит беспорядочно. Не нужно делать никаких других предположений. Каждый раз, как какая-либо вселенная выбрасывает бутон другой вселенной, физические постоянные уходят от первоначальных, создавая новые законы физики. Если это действительно так, то в каждой новой вселенной может возникнуть совершенно новая реальность. Но тут возникает потрясающий вопрос: как выглядят эти другие вселенные? Ключом к пониманию физики параллельных вселенных является знание того, как эти вселенные созданы, то есть точное понимание того, как происходит спонтанное нарушение.

Когда происходит спонтанное нарушение и возникает вселенная, это также нарушает симметрию первоначальной теории. Для физика красота — это симметрия и простота. Если теория совершенна, то это означает, что в ней заложена абсолютная симметрия, которая может объяснить множество данных наиболее сжатым и экономичным путем. Точнее, уравнение считается совершенным, если оно остается неизменным, когда мы меняем его члены местами. Залогом обнаружения скрытой в природе симметрии оказывается то, что явления, кажущиеся различными, по сути своей есть проявлениями одного и того же, связаны между собой симметрией. Например, мы можем показать, что электричество и магнетизм в действительности разные аспекты одного и того же явления, поскольку существует симметрия, которая может сделать их взаимозаменяемыми в рамках уравнений Максвелла. Подобным образом Эйнштейн доказал, что теория относительности может превращать пространство во время

и наоборот, поскольку они являются частью целого, материи времени-пространства.

Представьте снежинку, в которой мы видим совершенную шестикратную симметрию, источник бесконечного восхищения. Суть красоты снежинки состоит в том, что она не изменяется при повороте снежинки на 60 градусов. Это также означает, что любое уравнение, которое мы составим для описания снежинки, должно отражать тот факт, что она остается неизменной при повороте на количество градусов, кратное 60. Математически мы говорим, что снежинка обладает симметрией C_6 .

В симметрии закодирована красота природы. Но в действительности сегодня симметрии нарушены. Четыре фундаментальных взаимодействия Вселенной совсем не похожи друг на друга. По сути, Вселенная полна неравномерностей и дефектов; нас окружают обломки и осколки первоначальной фундаментальной симметрии, вдребезги расколотые Большим Взрывом. Таким образом, ключом к пониманию возможных параллельных Вселенных служит понимание «нарушения симметрии» — то есть того, как эти симметрии могли нарушиться после Большого Взрыва. Как сказал Дэвид Гросс: «Секрет природы — симметрия, но значительная часть мировой структуры является следствием нарушения симметрии».

Представьте, что красивое зеркало разбивается на тысячи осколков. Первоначальное зеркало обладало совершенной симметрией. Но когда оно разбилось, первоначальная симметрия оказалась утрачена. Определив, как именно нарушена симметрия, можно понять, как разбилось зеркало.

Нарушение симметрии

Чтобы понять этот факт, задумайтесь о развитии эмбриона. На ранних стадиях, то есть через несколько дней после зачатия, эмбрион — это совершенная сфера, состоящая из клеток. Каждая клетка ничем не отличается от остальных. Сфера выглядит одинаково, с какой бы стороны мы на нее ни взглянули. Физики утверждают, что в этом случае эмбрион обладает симметрией $O(3)$, то есть остается неизменным, по какой бы оси вращения вы его ни поворачивали.

Хотя эмбрион прекрасен и изящен, он довольно бесполезен. Представляя собой совершенную сферу, он не может выполнять какую-либо полезную функцию или взаимодействовать с окружающей средой. Однако со временем эмбрион нарушает эту симметрию: у него развивается крошечная головка и тело, и он становится похожим на кеглю. Хотя изначальная сферическая симметрия нарушена, эмбриону все же присуща остаточная симметрия — он остается неизменным при вращении его вокруг собственной оси. Таким образом, он обладает цилиндрической симметрией. Математически это означает, что первоначальная симметрия $O(3)$ сферы свелась к симметрии $O(2)$ цилиндра.

Однако нарушение симметрии $O(3)$ могло бы происходить иначе. Например, у морской звезды нет ни цилиндрической, ни двусторонней симметрии; вместо этого при нарушении сферической симметрии у нее появляется симметрия C_5 (которая остается неизменной при повороте на 72° градуса), что придает ей форму пятиугольной звезды. То есть, то, каким образом нарушается симметрия $O(3)$, определяет форму организма при рождении.

Ученые считают, что Вселенная подобным образом зародилась в состоянии идеальной симметрии, где все взаимодействия были объединены в целое. Вселенная была совершенной, симметричной, но довольно бесполезной. Та жизнь, которая нам известна, не могла бы существовать в этом идеальном состоянии. Чтобы появилась жизнь, при остывании Вселенной ее симметрия должна была нарушиться.

Симметрия и Стандартная модель

Подобным же образом для того, чтобы понять, как выглядят параллельные Вселенные, мы для начала должны понять симметрию сильного, слабого и электромагнитного взаимодействия. Например, сильное взаимодействие основано на трех кварках, которые ученые метят, символически приписывая им «цвета» (например, красный, белый и синий). Мы хотим, чтобы уравнения оставались неизменными, если поменяем местами эти три цветных кварка. Мы говорим, что уравнения обладают симметрией $SU(3)$, то есть они останутся неизменными, если мы перемешаем эти три кварка. Ученые считают, что теория, обладающая симметрией $SU(3)$, представляет наиболее

точное описание сильных взаимодействий (называемое «квантовой хромодинамикой»). Если бы у нас был гигантский суперкомпьютер, то только по массам кварков и силе их взаимодействия мы, теоретически, могли бы вычислить все свойства протона и нейтрона и все характеристики ядерной физики.

Пусть у нас есть два лептона — электрон и нейтрино. Если мы поменяем их местами в уравнении, то у нас будет симметрия $SU(2)$. Мы можем добавить свет, группа симметрии которого $U(1)$. (Эта группа симметрии меняет местами между собой различные составляющие, или поляризации света.) Таким образом, группой симметрии слабого и электромагнитного взаимодействия является $SU(2) \times U(1)$.

Если мы просто «склеим» эти три теории, то получим (и это неудивительно) симметрию $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, — иными словами, симметрию, которая отдельно «склеивает» три кварка между собой и отдельно два лептона между собой (но не смешивает кварки и лептоны). В результате получили теорию Стандартной модели — возможно, одной из наиболее успешных теорий в истории человечества. Как утверждает Гордон Кейн из Мичиганского университета: «Все, что происходит в нашем мире (кроме воздействия гравитации), происходит из взаимодействия частиц согласно Стандартной модели». Некоторые из ее положений были экспериментально проверены в лабораторных условиях и оправдались с точностью до одной стомиллионной. (Вообще, физики, которые собрали вместе составляющие Стандартной модели, получили 20 Нобелевских премий.)

В конце концов, можно было бы построить теорию, объединяющую сильное, слабое и электромагнитное взаимодействие в единую симметрию. Простейшая из теорий Великого Объединения, которая способна на это, меняет местами все пять частиц (три кварка и два лептона) одновременно. В отличие от симметрии Стандартной модели, симметрия Великого Объединения может перемешивать кварки и лептоны (что означает, что протоны могут распадаться и превращаться в электроны). Иными словами, в теории Великого Объединения используется симметрия $SU(5)$ (которая перетасовывает все пять частиц — три кварка и два лептона — между собой). За многие годы было проанализировано много других групп симметрии, но $SU(5)$, видимо, является минимальной группой, которая вписывается в расчетные данные.

Когда происходит спонтанное нарушение, первоначальная симметрия ТВО может разрушиться несколькими путями. В одном случае симметрия ТВО разрушается до $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, где есть ровно 19 параметров, которые нам необходимы для описания свойств Вселенной. Это описывает свойства известной Вселенной. Однако в действительности есть много различных вариантов разрушения симметрии ТВО. В других вселенных наверняка будет наблюдаться совершенно иная остаточная симметрия. Минимальным различием будут отличные от наших значений 19 параметров. Иными словами, действие различных сил будет различаться в разных вселенных, ведя к огромным изменениям в структуре Вселенной. К примеру, ослабив силу ядерного взаимодействия, можно предотвратить образование звезд, что погрузит Вселенную в вечную тьму и сделает невозможной существование в ней. Если силу ядерного взаимодействия увеличить, то звезды могут израсходовать свое ядерное топливо слишком быстро, чтобы успела зародиться какая-либо жизнь.

Группа симметрии может измениться таким образом, что это станет причиной образования совершенно иной вселенной. В некоторых из таких вселенных протон может оказаться неустойчивым и быстро распасться на позитроны. В таких вселенных невозможна известная нам жизнь, они быстро распадутся в безжизненное облако электронов и нейтрино. В других вселенных распад симметрии ТВО может пойти иным путем — будет больше устойчивых частиц, таких, как протоны. В такой вселенной могло бы существовать огромное разнообразие новых неизвестных химических элементов. Формы жизни в таких вселенных были бы более сложными, чем в нашей, так как там соединения, подобные ДНК, создавались бы из большего количества элементов.

Мы можем также разбить изначальную симметрию ТВО таким образом, что в результате получим несколько симметрии $U(1)$. Это определит существование нескольких форм света, а не одной. Подобная Вселенная действительно была бы удивительной — существа, обитающие в ней, могли бы «видеть», пользуясь не одной, а несколькими силами. В такой Вселенной глаза любого живого существа были бы снабжены большим количеством разнообразных рецепторов для улавливания различных видов излучения, подобных световому.

Неудивительно, что существуют сотни, а возможно, бесчисленное множество возможностей разбить эти симметрии на составляющие. В свою очередь, каждое из возможных решений может соответствовать совершенно иной вселенной.

Проверяемые прогнозы

К несчастью, проверка теории Мультивселенной, предполагающей существование многочисленных вселенных с различным набором физических законов в каждой из них, в настоящее время не является возможной. Для того, чтобы добраться до параллельных вселенных, необходимо двигаться со скоростью, превышающей скорость света. Но одним из преимуществ инфляционной теории является то, что она делает заключения о природе нашей Вселенной, которые *можно* проверить.

Поскольку инфляционная теория — теория квантовая, она основывается на принципе неопределенности Гейзенберга, краеугольном камне квантовой теории. (Принцип неопределенности гласит, что нельзя произвести измерения с бесконечной точностью, например такие, как измерение скорости и местоположения электрона. При этом неважно, насколько чувствительны приборы, — в измерениях все равно будет присутствовать некоторая неопределенность. Если вам точно известна скорость электрона, то не может быть известно его местоположение; если вы точно знаете его местоположение, то вы не можете знать его скорость.) Применительно к изначальному огненному облаку Большого Взрыва это означает, что первоначальный космический взрыв не мог быть бесконечно «ровным». (Если бы он был идеально однородным, то мы бы знали точные траектории субатомных частиц, разлетевшихся в результате Большого Взрыва, что противоречит принципу неопределенности.) Квантовая теория позволяет нам вычислить размер этих волн, или флуктуации, в первоначальном облаке огня. Если мы расширим эти крошечные многочисленные волны, то сможем вычислить минимальное количество волн, которое должны увидеть в фоновом микроволновом излучении через 380 000 лет после Большого Взрыва. (А если мы расширим эту рябь до настоящего времени, то должны увидеть расположение галакти-

ческих скоплений. Наша галактика сама появилась в виде одной из этих крошечных флуктуации.)

Первоначальный поверхностный анализ данных со спутника COBE не обнаружил отклонений или флуктуации в фоновом микроволновом излучении. Это несколько озаботило физиков, поскольку идеально гладкий микроволновый фон противоречил бы не только инфляционной теории, но также и всей квантовой теории, нарушая принцип неопределенности. Это потрясло бы физическую науку до самого основания. Возможно, пришлось бы разрушить весь фундамент квантовой физики XX века.

К великому облегчению ученых, доскональное изучение обработанных на компьютере данных со спутника COBE обнаружило размытую рябь, при этом колебания температуры не превосходили 10^{-5} — минимальный размер отклонения, допускаемый квантовой теорией. Эти бесконечно малые волны ряби вписывались в инфляционную теорию. Гут признался: «Я совершенно очарован космическим фоновым излучением. Сигнал был таким слабым, что его обнаружили лишь в 1965 году, а теперь измеряют флуктуации с точностью до 10^{-5} ».

Хотя накапливаемые экспериментальные данные постепенно подтверждали инфляционную теорию, ученым все еще предстояло решить мучительную проблему значения ω — объяснить тот факт, что ω равнялась 0,3, а не 1,0.

Сверхновые — возвращение лямбды

Хотя оказалось, что теория инфляции согласуется с данными, полученными со спутника COBE, все же до 1990-х годов астрономы роптали на то, что она вопиющим образом нарушает экспериментальные данные, касающиеся значения ω . Впервые ситуация начала изменяться в девяностых в результате обработки данных, полученных из совершенно неожиданной области. Астрономы пытались пересчитать скорость расширения Вселенной в далеком прошлом. Вместо анализа переменных цефеид (которым в 1920-е годы занимался Хаббл) астрономы начали изучение сверхновых в далеких галактиках на расстоянии миллиардов световых лет в прошлом. В частности, они ис-

следовали тип сверхновых 1a. Сверхновые этого типа — идеальные кандидаты в стандартные свечи.

Астрономам известно, что все сверхновые этого типа характеризуются приблизительно одинаковой яркостью. (Яркость сверхновых типа 1a изучена настолько хорошо, что могут быть замечены даже небольшие отклонения: чем ярче сверхновая, тем медленнее убывает ее яркость.) Такие сверхновые появляются, когда белый карлик в двойной звездной системе медленно вытягивает вещество из своего спутника. Кормясь от сестры-звезды, белый карлик постепенно увеличивает массу, и так до тех пор, пока она не достигает 1,4 солнечной массы, максимально возможной для белого карлика. Превысив этот предел, они коллапсируют и взрываются как сверхновые типа 1a. Эта предельная масса и объясняет тот факт, что все сверхновые типа 1a так однородны в своей яркости — это естественное следствие того, что белые карлики увеличивают массу ровно до 1,4 солнечной массы, а затем коллапсируют под воздействием силы гравитации. (Как показал Субраманьян Чандрасекар в 1935 году, в белом карлике сила гравитации, разрушающая звезду, уравнивается силой отталкивания электронов, которая называется давлением вырожденных электронов. Если белый карлик превосходит 1,4 солнечной массы[^], то гравитация преодолевает эту силу и звезда разрушается, а результатом этого разрушения становится сверхновая.) Поскольку взрывы отдаленных сверхновых произошли в молодой Вселенной, то посредством их анализа можно рассчитать скорость расширения Вселенной миллиарды лет назад.

Две независимые группы астрономов — возглавляемые Солом Перлмуттером «Проект космологии сверхновых» (*Supernova Cosmology Project*) и Брайаном П. Шмидтом «Группа поисков сверхновых с большим красным смещением» (*High-Z Supernova Search Team*) — рассчитывали обнаружить, что Вселенная, продолжая расширяться, все же постепенно замедляет скорость расширения. Для нескольких поколений астрономов это было догмой, которой учили во всех курсах космологии, — «изначальное расширение постепенно замедляется».

После того как каждая из групп изучила около дюжины сверхновых, они обнаружили, что Вселенная расширяется не так быстро, как

считалось раньше (то есть красное смещение сверхновых — а следовательно, и их скорость — было меньше априорных ожиданий). При сравнении скорости расширения ранней Вселенной и Вселенной наших дней обе группы астрономов заключили, что в наши дни скорость расширения Вселенной — не меньше, а больше. К своему большому удивлению, обе группы пришли к поразительному выводу: расширение *Вселенной ускоряется*.

В полное смятение их привело то, что ни одно из значений со не вписывалось в полученные ими данные. Единственным способом, позволяющим согласовать данные и теорию, было возвращение *лямбды* (λ), энергии вакуума, впервые введенной Эйнштейном. Более того, астрономы обнаружили, что ω была просто задавлена необычайно большой λ , что вызывало ускорение Вселенной по сценарию де Ситтера. Две группы совершенно независимо друг от друга пришли к этому потрясающему выводу, но не торопились публиковать результаты из-за господствующего предубеждения, что значение λ равнялось нулю. Как сказал Джордж Джейкоби из обсерватории Китт-Пик: « λ всегда была донкихотским понятием, и любого, кто был достаточно не в себе, чтобы сказать, что она не равна нулю, считали спятившим».

Шмидт вспоминает: «Я все еще качал головой, но мы все проверили... Мне не хотелось говорить об этом людям, потому что нас разорвали бы на части». Однако, когда в 1998 году обе группы опубликовали свои результаты, целую гору представленных ими данных было не так-то легко сбросить со счета. λ , «величайшая ошибка» Эйнштейна, которую в современной космологии практически и не вспоминали, возвращалась через 90 лет забвения!

Физики были ошеломлены. Эдвард Виттен из Института передовых исследований в Принстоне заявил, что это было «самое необычайное экспериментальное открытие с того момента, как я начал заниматься физикой». Когда значение $\omega = 0,3$ добавили к значению $\lambda=0,7$, то сумма оказалась (с учетом погрешности в ходе эксперимента) равной 1,0, то есть результат совпал с тем, который предсказывала теория инфляции. Будто бы части головоломки встали на свои места, и космологи увидели недостающий фрагмент в теории инфляции. Он пришел прямиком из вакуума.

Этот результат был самым впечатляющим образом подтвержден спутником WMAP, который показал, что энергия, приписываемая λ , или темная материя, составляет 73 % всего вещества и энергии во Вселенной, что отводит ей доминирующее место в космической головоломке.

Фазы Вселенной

Возможно, основным вкладом спутника WMAP в науку стало то, что он дал ученым уверенность в правильности Стандартной модели космологии. Хотя и до сих пор существуют огромные «белые пятна», перед глазами астрофизиков начинают вырисовываться общие контуры Стандартной теории, рождающейся из общего количества полученных данных. Согласно картинке, которую мы сейчас складываем из отдельных элементов, в эволюции Вселенной по мере ее остывания прослеживались отдельные этапы. Переход от одного этапа к другому означает нарушение симметрии и отсечение одного из фундаментальных природных взаимодействий. Ниже представлены те фазы и вехи, которые известны нам на сегодняшний день:

1. До 10^{-43} секунды — эпоха Планка.

Об эпохе Планка точно почти ничего не известно. При энергии Планка (10^{19} млрд электронвольт) гравитационное взаимодействие было столь же сильным, как и остальные многочисленные силы. Как следствие, четыре взаимодействия Вселенной были, видимо, объединены в единую «сверхсилу». Возможно, Вселенная существовала в совершенном состоянии «небытия», или пустого пространства с большим количеством измерений. Та загадочная симметрия, которая смешивает все четыре взаимодействия, оставляя уравнения неизменными, — скорее всего, «сверхсимметрия» (см. главу 7). По неизвестным причинам эта загадочная симметрия, объединявшая все четыре взаимодействия, была нарушена, и сформировался крошечный пузырек — эмбрион нашей Вселенной, возникший, возможно, в результате значительной, но случайной флуктуации. Размеры этого пузырька не превышали длины Планка, которая составляет 10^{-33} см.

2. 10^{-43} секунды — эпоха ТВО.

Произошло нарушение симметрии, что стало причиной образования стремительно расширяющегося пузырька. По мере того как пузырек расширялся, четыре фундаментальных взаимодействия стремительно отделились друг от друга. Гравитация первой отделилась от трех остальных взаимодействий, вызвав ударную волну во всей Вселенной. Изначальная симметрия сверхсилы была нарушена и превратилась в симметрию меньшего порядка, которая, возможно, содержала в себе симметрию ТВО $SU(5)$. Оставшиеся сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия были все еще объединены симметрией ТВО. На этом этапе Вселенная расширилась в невероятное количество раз (возможно, в 10^{50}), и расширение это было вызвано неизвестными до сих пор причинами; пространство расширялось со скоростью, астрономически большей, чем скорость света. Температура была 10^{32} градусов.

3. 10^{-34} секунды — конец инфляции.

Температура упала до 10^{27} градусов, когда сильное взаимодействие отделилось от двух других сил. (Группа симметрии ТВО распалась на $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$.) Инфляционный период завершился, дав Вселенной возможность идти по пути стандартного расширения Фридмана. Вселенная состояла из горячего плазменного «супа» свободных кварков, глюонов и лептонов. Свободные кварки превратились в нынешние протоны и нейтроны. Наша Вселенная была еще довольно маленькой, размером всего лишь с сегодняшнюю Солнечную систему. Вещество и антивещество аннигилировались, но существовал крошечный перевес вещества над антивеществом (1 миллиардная доля), в результате которого возникла вся материя вокруг нас. (Это энергетический диапазон, который, как мы надеемся, будет дублирован в течение нескольких следующих лет ускорителем частиц — Большим адронным коллайдером (the Large Hadron Collider).)

4. 3 минуты — образование ядер.

Температуры упали достаточно низко для образования ядер, которые теперь не разрывало сильным жаром. Водород син-

тезировался в гелий (создав сегодняшнее соотношение: 75 % водорода к 25 % гелия). Образовались ничтожные количества лития, но синтез более тяжелых элементов прекратился, потому что ядра с 5 частицами были слишком неустойчивы. Вселенная была непрозрачной, свет рассеивался свободными электронами. Этот момент отмечает конец первозданного огненного шара.

5. 380 000 лет — возникновение атомов.

Температура упала до 3000 градусов по Кельвину. Атомы формировались электронами, окружающими ядра, которые не разрывало жаром. Фотоны теперь могли свободно передвигаться, не будучи поглощенными. Это и есть то самое излучение, которое было измерено спутниками COBE и WMAP. Вселенная, когда-то непрозрачная и наполненная плазмой, стала прозрачной. Небо вместо белого стало черным.

6. 1 млрд лет — звезды отвердевают.

Температура упала до 18 градусов. Начали формироваться квазары, галактики и галактические скопления," в большинстве своем представляющие побочный продукт многочисленных крошечных волн в первоначальном облаке пламени. В звездах начали «печься» легкие элементы, такие, как углерод, кислород и азот. Взрывающиеся звезды извергали в небеса элементы с атомным весом выше железа. Это самая отдаленная эпоха, которую мы можем исследовать с помощью космического телескопа Хаббла.

7. 6,5 млрд лет — расширение де Ситтера.

Расширение Фридмана завершается, и Вселенная постепенно ускоряет свое расширение и входит в фазу ускорения, которая называется расширением де Ситтера, вызванным загадочной антигравитационной силой, природа которой не раскрыта и до сегодняшнего дня.

8. 13,7 млрд лет — сегодня.

Настоящее. Температура упала до 2,7 градуса. Мы наблюдаем сегодняшнюю Вселенную, состоящую из галактик, звезд и планет. Расширение Вселенной продолжает стремительно ускоряться.

Будущее

Хотя сегодня инфляционная теория способна объяснить столько загадок Вселенной, это еще не служит доказательством того, что она верна. (Кроме того, недавно были предложены конкурирующие теории, как мы увидим в главе 7.) Данные, касающиеся сверхновых звезд, предстоит еще проверять и проверять, принимая во внимание такие факторы, как пыль и аномалии, возникающие при образовании сверхновых. «Дымящимся пистолетом» (то есть последней, явной уликой), который окончательно подтвердит или опровергнет инфляционный сценарий, являются «гравитационные волны», возникшие в момент Большого Взрыва. Подобно микроволновому фону, эти гравитационные волны должны по-прежнему отражаться во Вселенной и, по сути, могут быть обнаружены при помощи детекторов гравитационных волн, как мы расскажем в главе 9. Теория инфляции содержит некоторые предположения относительно природы этих гравитационных волн, и детекторы должны обнаружить их.

Но один из наиболее интригующих прогнозов теории инфляции не может быть проверен прямым путем. Этот прогноз — существование в Мультивселенной «дочерних вселенных», которые живут по несколько иным физическим законам. Чтобы осознать все, что влечет за собой факт возможного существования Мультивселенной, необходимо прежде всего понять, что теория инфляции полностью укладывается в причудливые уравнения Эйнштейна и квантовой теории. Согласно теории Эйнштейна, существование многочисленных вселенных является возможным, а по квантовой теории у нас даже есть средства для передвижения между ними. И в рамках новой М-теории мы можем обрести новую, окончательную теорию, которая поможет раз и навсегда решить вопрос о параллельных вселенных и путешествии во времени.

ЧАСТЬ II

МУЛЬТИВСЕЛЕННАЯ

ГЛАВА 5

Порталы в другие измерения и путешествие во времени

В недрах каждой коллапсирующей черной дыры могут таиться семена новой расширяющейся Вселенной.

Сэр Мартин Рис

Черные дыры могут стать проходами в какое угодно время. Если бы нам пришлось прыгнуть в черную дыру, то предполагается, что мы бы появились в другой части Вселенной и в другой временной эпохе... Черные дыры могут быть вратами в Страны Чудес. Но есть ли там Алисы и белые кролики?

Карл Саган

Общая теория относительности подобна троянскому коню. Внешне теория великолепна. Сделав несколько простых допущений, можно получить основные характеристики космоса, включая искривление звездного света и сам Большой Взрыв, которые были измерены с поразительной точностью. Даже теорию инфляции можно подогнать к решению, вписав подобранную космологическую константу в уравнения юной Вселенной. Эти решения дают нам убедительнейшую теорию возникновения и смерти Вселенной.

Однако внутри троянского коня мы находим притаившихся демонов и гоблинов, в том числе черные дыры, белые дыры, про-

странственно-временные туннели и даже машины времени, которые находятся за пределами здравого смысла. Эти аномалии считаются настолько странными, что даже сам Эйнштейн отрицал возможность их обнаружения в природе. В течение многих лет он напряженно боролся с этими странными решениями. Сегодня мы знаем, что эти аномалии нельзя просто так сбрасывать со счетов. Они — неотъемлемая часть общей теории относительности. И, по сути, могут даже дать шанс на спасение любому разумному созданию, столкнувшемуся с угрозой Большого Охлаждения.

Но самой странной из этих аномалий, скорее всего, является возможность существования параллельных вселенных и врат, их соединяющих. Если мы вспомним шекспировскую метафору о том, что весь мир — сцена, то тогда можно сказать, что общая теория относительности допускает возможность существования люков на сцене. Но мы видим, что вместо того, чтобы вести в подвальный этаж, люки ведут на параллельные сцены, подобные нашей. Представьте себе сцену жизни, состоящую из многоярусных сцен, одна поверх другой. На каждой сцене актеры читают свои роли и передвигаются среди декораций, считая, что их сцена — единственная, и не задумываясь о возможности существования других реальностей. Однако если однажды они случайно провалятся в люк, то обнаружат себя на совершенно новой сцене с новыми законами, новыми правилами игры и новым сценарием.

Но если может существовать бесконечное множество вселенных, то получается, что жизнь возможна в любой из этих вселенных в соответствии с иными физическими законами? Это тот самый вопрос, который Айзек Азимов поставил в своем классическом научно-фантастическом романе «Сами Боги», где создал параллельную вселенную с ядерным взаимодействием, отличным от нашего. Возникают захватывающие возможности, когда отменяются обычные законы физики и вводятся новые.

История Азимова начинается в 2070 году, когда ученый Фредерик Хэллем обращает внимание на то, что обычный вольфрам-186 странным образом превращается в загадочный плутоний-186, у которого слишком много протонов и который поэтому должен быть неустойчив. Хэллем выдвигает теорию, гласящую, что этот странный плутоний-186 появляется из параллельной Вселенной, где ядерное

взаимодействие намного сильнее и поэтому оно преодолевает отталкивание протонов. Поскольку этот странный плутоний-186 выделяет большие количества энергии в виде электронов, его можно использовать для получения дешевой энергии неслыханных объемов. Это позволяет создать знаменитый электронный насос Хэллема, который решает проблему энергетического кризиса на Земле и делает Хэллема богатым человеком. Но за это нужно заплатить свою цену. Если определенное количество чужого плутония-186 будет привнесено в нашу Вселенную, то возрастет сила ядерного взаимодействия в целом. Это означает, что в результате процесса синтеза будет высвобождаться все больше энергии, Солнце станет светить все ярче и в конце концов взорвется, уничтожив при этом Солнечную систему!

А тем временем обитатели параллельной вселенной строят совсем другие планы. Их вселенная умирает. Ядерное взаимодействие в их вселенной довольно сильно, а это значит, что звездам очень быстро потребуется водород и они скоро погибнут. Инопланетяне организуют обмен: бесполезный плутоний-186 отсылается в нашу Вселенную в обмен на бесценный вольфрам-186, который позволяет создать позитронный насос, спасающий их умирающий мир. Хотя они понимают, что ядерное взаимодействие усилится в нашей Вселенной и из-за этого взорвутся наши звезды, но их это не волнует.

Кажется, что Земля обречена на катастрофу. Человечество пристрастилось к «энергии Хэллема» и отказывается верить, что Солнце вскоре взорвется. Еще один ученый находит гениальное решение этой головоломки. Он убежден в существовании параллельных вселенных. Он успешно модифицирует мощный ускоритель частиц для создания дыры в пространстве, которая соединит нашу Вселенную со многими другими. Он ищет и наконец находит среди них одну параллельную вселенную, которая совершенно пуста, если не считать «космического яйца», содержащего неограниченные количества энергии, но с более слабым ядерным взаимодействием.

При помощи перекачивания энергии из этого космического яйца ученому удастся создать новый энергетический насос и в то же время ослабить ядерное взаимодействие в нашей собственной Вселенной, что предотвращает надвигающийся взрыв Солнца. Однако и такое решение событий имеет свою цену: в параллельной вселенной сила ядерного взаимодействия возрастет, что приведет к взрыву этой па-

раллельной вселенной. Но ученый рассуждает следующим образом: взрыв лишь даст возможность этому яйцу «вылупиться», что вызовет новый Большой Взрыв. По сути, он понимает, что станет акушером, принимающим роды новой расширяющейся вселенной.

Научно-фантастический роман Азимова — один из немногих, где используются действующие законы физики для «раскрутки» истории о жадности, интригах и спасении. Азимов был прав, предполагая, что изменение силы взаимодействий в нашей Вселенной имело бы катастрофические последствия, что звезды в нашей Вселенной стали бы гореть ярче, а затем взорвались бы, если бы ядерное взаимодействие усилилось. Это поднимает неизбежный вопрос: согласуются ли законы параллельных вселенных с нашими законами физики? А если это так, то что необходимо для того, чтобы попасть в одну из них?

Чтобы сообразить, о чем идет речь, прежде всего необходимо понять природу пространственно-временных туннелей, отрицательной энергии и, конечно, природу загадочных объектов, называемых черными дырами.

Черные дыры

В 1783 году британский астроном Джон Мичелл впервые задался вопросом, что же произойдет, если звезда увеличится настолько, что ее не сможет «покинуть» даже свет. Ему было известно, что у каждого объекта есть «скорость убегания», то есть та скорость, которая необходима, чтобы преодолеть гравитационное притяжение. (Например, для Земли «скорость убегания» составляет 40 000 км/ч, это та скорость, которую должна развить ракета, чтобы преодолеть действие гравитации Земли.)

Мичелл заинтересовался тем, что же случится, если звезда станет настолько массивной, что ее «скорость убегания» сравняется со скоростью света. Ее гравитация будет настолько невероятной, что ничто не сможет освободиться от ее силы притяжения, даже свет, а потому сам объект будет казаться наблюдателю из внешнего мира абсолютно черным. Обнаружить такой объект в космосе в каком-то смысле невозможно, поскольку он невидим.

О «темных звездах» Мичелла не вспоминали полтора столетия. Вопрос снова всплыл в 1916 году, когда Карл Шварцшильд, немец-

кий физик, работавший на армию и находившийся тогда на русском фронте, нашел точное решение уравнений Эйнштейна для массивной звезды. Даже в наши дни решение Шварцшильда известно как одно из простейших, изящнейших и точных решений уравнений Эйнштейна. Эйнштейн был изумлен, узнав, что Шварцшильду удалось найти решение сложных тензорных уравнений, прячась от артиллерийских снарядов. Он был еще больше удивлен, обнаружив, что решение Шварцшильда имело свои особые свойства.

На первый взгляд, оно было справедливо для гравитации обычной звезды, и Эйнштейн быстро использовал решение для вычисления гравитации Солнца и проверки своих ранних расчетов, в которых допускал приближения. Он всю жизнь был благодарен Шварцшильду за это. Но в своей второй работе Шварцшильд доказал, что очень массивную звезду окружает воображаемая «магическая сфера», обладающая странными свойствами. Эта «магическая сфера» является критической точкой, откуда уже вернуться нельзя. Любого проникшего сквозь эту «магическую сферу» немедленно засосало бы гравитацией в звезду и никто бы больше никогда его не увидел. «Даже свет был бы полностью поглощен, если бы прошел сквозь эту сферу. Шварцшильд не знал того, что заново открыл «темную звезду» Мичелла с помощью уравнений Эйнштейна.

Затем он вычислил радиус этой «магической сферы» (называемый радиусом Шварцшильда). Для объекта размером с наше Солнце радиус «магической сферы» равнялся примерно трем километрам. (Для Земли радиус Шварцшильда равняется приблизительно 1 см.) Это означало, что, если Солнце сжать до трех километров, оно превратилось бы в «темную звезду» и пожирало бы любой объект, пересекающий критическую «точку невозвращения».

Экспериментальным путем доказать существование «магической сферы» не представлялось возможным: кто возьмется сжимать Солнце? Не существует никаких известных нам механизмов, способных создать такую фантастическую звезду. Но с точки зрения теории это было полной катастрофой. Хотя общая теория относительности Эйнштейна могла принести блестящие результаты, такие, как искривление звездного света вокруг Солнца, но эта теория не имела никакого смысла при приближении к «магической сфере», где гравитация возрастала бесконечно.

Голландский физик Иоганнес Дросте доказал позже, что решение было еще более сумасшедшим. Он утверждал, что, согласно теории относительности, лучи света значительно искривлялись, приближаясь к объекту подобного рода. По сути, на расстоянии в 1,5 радиуса Шварцшильда лучи света начинали путешествовать по орбите вокруг звезды. Дросте показал, что искривления времени, обнаруженные в общей теории относительности, применительно к таким массивным звездам были намного больше, чем те, которые обнаруживала специальная теория относительности. Он также утверждал, что если вы приближаетесь к «магической сфере», то наблюдатель, находящийся далеко от вас, рассчитал бы, что ваши часы идут все медленнее и медленнее, и так до тех пор, пока они не остановились бы вовсе, в момент, когда вы ударитесь о сам объект. По сути, наблюдатель из внешнего мира уверился бы в том, что вы застыли во времени в тот момент, когда достигли «магической сферы». Поскольку само время остановилось бы в этой точке, некоторые физики посчитали, что существование такого странного объекта в природе невозможно. Математик Герман Вейль подлил еще больше масла в огонь — он открыл, что если исследовать мир внутри «магической сферы», то, видимо, с другой стороны ее находится другая вселенная.

Все это звучало настолько фантастично, что даже Эйнштейн не мог в это поверить. На конференции в Париже в 1922 году математик Жак Адамар спросил Эйнштейна, что бы произошло, если бы эта «сингулярность» существовала на самом деле, то есть если бы гравитация становилась бесконечной в пределах радиуса Шварцшильда. Эйнштейн ответил: «Это стало бы настоящей катастрофой для нашей теории; было бы очень сложно сказать *a priori*, что произошло бы с физической точки зрения, потому что формула больше не действовала бы». Позднее Эйнштейн назвал эту проблему «катастрофой Адамара». Но он посчитал, что вся эта полемика по поводу «темных звезд» имеет исключительно умозрительный характер. Во-первых, никто никогда не видел столь причудливого объекта, и вполне возможно, что «темных звезд» не существует, то есть их существование невозможно с физической точки зрения. Более того, если бы кому-то довелось упасть на одну из них, то он бы разбился насмерть. А поскольку никто никогда не смог бы пройти сквозь «магическую сферу» (поскольку время в этот момент оста-

навливалось бы), то никто никогда не смог бы войти и в эту параллельную вселенную.

В 1920-е годы физики были здорово сбиты с толку в этом вопросе. Но в 1932 г. Жорж Леметр, отец теории Большого Взрыва, совершил значительный прорыв. Он доказал, что «магическая сфера» была вовсе не сингулярностью, где гравитация стремилась к бесконечности; это была просто математическая иллюзия, вызванная неудачным выбором математического обоснования. (Если выбрать другой набор координат или переменных для изучения «магической сферы», то сингулярность исчезнет.)

Отталкиваясь от этого, космолог Х. П. Робертсон еще раз изучил первоначальные утверждения Дросте, что время останавливается на поверхности «магической сферы». Он обнаружил, что время останавливается только с точки зрения наблюдателя, следящего за тем, как ракета пересекает «магическую сферу». С точки же зрения самой ракеты понадобилась бы доля секунды, чтобы гравитация засосала ее внутрь «магической сферы». Иными словами, корабль, прошедший к своему несчастью, сквозь магическую сферу, разбился бы практически мгновенно, но стороннему наблюдателю показалось бы, что этот процесс занял тысячи лет.

Это было важным открытием. Это означало, что «магической сферы» достичь можно, а также то, что не нужно было сбрасывать ее со счетов как математическое уродство. Необходимо было серьезно изучить вопрос, что же могло случиться с объемом при прохождении через магическую сферу. Физики рассчитали, на что могло бы быть похоже путешествие сквозь «магическую сферу». (Сегодня «магическую сферу» называют «горизонтом событий». Слово «горизонт» обозначает самую далекую точку, которую мы можем увидеть. В данном же контексте оно относится к самой далекой точке, которой может достичь свет. Радиус этого «горизонта событий» и называется радиусом Шварцшильда.)

Приближаясь в ракете к черной дыре, вы бы увидели свет, захваченный в плен черной дырой миллиарды лет назад, когда сама черная дыра еще только образовалась. Иными словами, перед вашими глазами развернулась бы вся история этой черной дыры. При приближении приливные силы разорвали бы на части атомы, составляющие ваше тело, и в конце концов даже сами ядра атомов напоминали бы

спагетти. Путешествие за горизонт событий стало бы путешествием в один конец, поскольку сила тяготения была бы настолько велика, что вас неизбежно засосало бы к самому центру, где бы вы разбились насмерть. Оказавшись за пределами «горизонта событий», вернуться назад было бы уже невозможно. (Чтобы выбраться из-за горизонта событий, понадобилось бы развить скорость, большую, чем скорость света, что невозможно.)

В 1939 году Эйнштейн написал работу, в которой попытался оспорить существование «темных звезд», утверждая, что они не могли бы образоваться естественным путем. Он начал с предположения, что звезда образуется из кружащегося скопления пыли, газа и звездных обломков, вращающихся по окружности и постепенно притягивающихся друг к другу благодаря силе гравитации. Затем он показал, что такое скопление кружащихся частиц никогда не сколлапсирует до радиуса Шварцшильда, а потому никогда не превратится в черную дыру. В лучшем случае эта вращающаяся масса частиц достигла бы величины в 1,5 радиуса Шварцшильда, а потому образование черной дыры практически невозможно. (Чтобы пересечь предел в 1,5 радиуса Шварцшильда, пришлось бы опять же развить скорость выше скорости света.) «Основным результатом данного исследования является ясное понимание того, почему «сингулярностей Шварцшильда» в физической реальности не существует», — писал Эйнштейн.

У Артура Эддингтона также были свои глубокие соображения насчет черных дыр, он всю жизнь сомневался в их существовании. Однажды он сказал, что должен существовать «закон Природы, чтобы не дать звезде вести себя столь странно».

По иронии судьбы, в том же году Дж. Роберт Оппенгеймер (который позднее создал атомную бомбу) и его студент Хартленд Снайдер доказали, что черная дыра и в самом деле *могла* образоваться, но иным путем. Вместо того чтобы предположить, что черная дыра появилась из вращающегося скопления частиц, сжимающегося под воздействием сил гравитации, они в качестве точки отсчета взяли старую массивную звезду, которая сожгла все свое ядерное топливо и взрывается вовнутрь под действием силы гравитации. К примеру, умирающая звезда массой в 40 солнечных масс могла бы израсходовать ядерное топливо и сжаться под действием силы гравитации до

радиуса Шварцшильда в 130 км; в этом случае она бы неизбежно сколлапсировала в черную дыру. Оппенгеймер и Снайдер предположили, что существование черных дыр не просто возможно, они могли бы быть естественной конечной точкой эволюции миллиардов умирающих в галактике звезд-гигантов. (Возможно, именно идея взрыва вовнутрь, предложенная в 1939 году Оппенгеймером, всего через несколько лет вдохновила его на создание механизма внутреннего взрыва, использующегося в атомной бомбе.)

Мост Эйнштейна-Розена

Хотя Эйнштейн считал, что черные дыры — явление слишком невероятное и в природе существовать не могут, позднее, такова ирония судьбы, он показал, что они еще более причудливы, чем кто-либо мог предположить. Эйнштейн объяснил возможность существования пространственно-временных «порталов» в недрах черных дыр. Физики называют эти порталы червоточинами, поскольку, подобно червю, вгрызающемуся в землю, они создают более короткий альтернативный путь между двумя точками. Эти порталы также называют иногда порталами или «вратами» в другие измерения. Как их ни назови, когда-нибудь они могут стать средством путешествий между различными измерениями, но это случай крайний.

Первым, кто популяризовал идею порталов, стал Чарльз Доджсон, который писал под псевдонимом Льюис Кэрролл. В «Алисе в Зазеркалье» он представил портал в виде зеркала, которое соединяло пригород Оксфорда и Страну Чудес. Поскольку Доджсон был математиком и преподавал в Оксфорде, ему было известно об этих многосвязных пространствах. По определению, многосвязное пространство таково, что лассо в нем нельзя стянуть до размеров точки. Обычно любую петлю можно безо всякого труда стянуть в точку. Но если мы рассмотрим, например, пончик, вокруг которого намотано лассо, то увидим, что лассо будет стягивать этот пончик. Когда мы начнем медленно затягивать петлю, то увидим, что ее нельзя сжать до размеров точки; в лучшем случае, ее можно стянуть до окружности сжатого пончика, то есть до окружности «дырки».

Математики наслаждались тем фактом, что им удалось обнаружить объект, который был совершенно бесполезен при описании

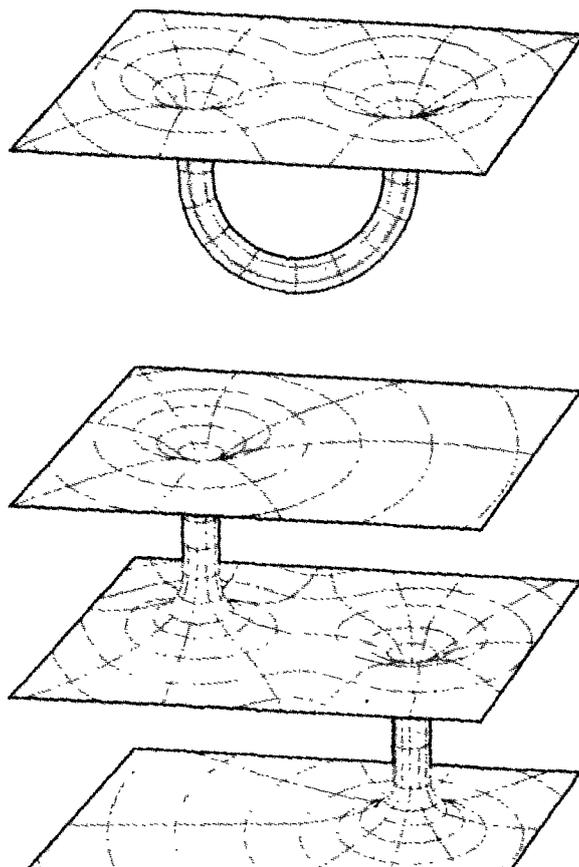
пространства. Но в 1935 году Эйнштейн и его студент Натан Розен представили физическому миру теорию порталов. Они попытались использовать решение проблемы черной дыры как модель для элементарных частиц. Самому Эйнштейну никогда не нравилась восходящая ко временам Ньютона теория, что гравитация частицы стремится к бесконечности при приближении к ней. Эйнштейн считал, что эта сингулярность должна быть искоренена, потому что в ней нет никакого смысла.

У Эйнштейна и Розена появилась оригинальная идея представить электрон (который обычно считался крошечной точкой, не имеющей структуры) как черную дыру. Таким образом, можно было использовать общую теорию относительности для объяснения загадок квантового мира в объединенной теории поля. Они начали с решения для стандартной черной дыры, которая напоминает большую вазу с длинным горлышком. Затем они отрезали «горлышко» и соединили его с еще одним частным решением уравнений для черной дыры, то есть с вазой, которая была перевернута вверх дном. По мнению Эйнштейна, эта причудливая, но уравновешенная конфигурация была бы свободна от сингулярности в происхождении черной дыры и могла бы действовать как электрон.

К несчастью, идея Эйнштейна о представлении электрона в качестве черной дыры провалилась. Но сегодня космологи предполагают, что мост Эйнштейна-Розена может служить «вратами» между двумя вселенными. Мы можем свободно передвигаться по Вселенной до тех пор, пока случайно не упадем в черную дыру, где нас немедленно протащит сквозь портал и мы появимся на другой стороне (пройдя сквозь «белую» дыру).

Для Эйнштейна любое решение его уравнений, если оно начиналось с физически вероятной точки отсчета, должно было соотноситься с физически вероятным объектом. Но он не беспокоился о том, кто свалится в черную дыру и попадет в параллельную вселенную. Приливные силы бесконечно возросли бы в центре, и гравитационное поле немедленно разорвало бы на части атомы любого объекта, который имел несчастье свалиться в черную дыру. (Мост Эйнштейна-Розена действительно открывается за доли секунды, но он закрывается настолько быстро, что ни один объект не сможет пройти его с такой скоростью, чтобы достичь другой стороны.) По

мнению Эйнштейна, хотя существование порталов и возможно, живое существо никогда не сможет пройти сквозь какой-либо из них и рассказать о своих переживаниях во время этого путешествия.



Мост Эйнштейна-Розена. В центре черной дыры находится «горлышко», которое соединяется с пространством-временем другой вселенной или другой точкой в нашей Вселенной. Хотя путешествие сквозь стационарную черную дыру имело бы фатальные последствия, вращающиеся черные дыры обладают кольцеобразной сингулярностью, которая позволила бы пройти сквозь кольцо и мост Эйнштейна-Розена, хотя это находится еще на стадии предположений.

Вращающиеся черные дыры

Однако в 1963 году взгляд на вещи стал меняться, когда математик из Новой Зеландии Рой Керр нашел точное решение уравнений Эйнштейна, описывающее, возможно, наиболее реалистично умирающую звезду, вращающуюся черную дыру. Из-за сохранения кинетического импульса, когда звезда коллапсирует под действием силы гравитации, она начинает вращаться еще быстрее. (Это та же причина, по которой вращающиеся галактики выглядят подобно флюгерам, и именно поэтому фигуристы вращаются быстрее, когда прижимают руки к телу.) Вращающаяся звезда могла бы взорваться, образовав кольцо нейтронов, которое осталось бы устойчивым из-за большой центробежной силы, толкающей их «наружу» и уравновешивающей действие силы гравитации. Такая черная дыра обладала бы удивительным свойством: если бы вы упали в керровскую черную дыру, то вы бы *не* разбились насмерть. Наоборот, вас бы протянуло сквозь мост Эйнштейна-Розена в параллельную вселенную. «Проходишь сквозь это волшебное кольцо и — престо! — ты в совершенно иной вселенной, где радиус и масса отрицательны!» — обращаясь к коллеге, воскликнул Керр, обнаруживший это решение.

Иными словами, оправа зеркала Алисы была похожа на вращающееся кольцо Керра. Но любое путешествие сквозь Керрово кольцо было бы путешествием без возврата. Если бы вы пересекли «горизонт событий», окружающий кольцо Керра, гравитация была бы не настолько сильна, чтобы раздавить вас, но ее будет вполне достаточно, чтобы помешать вам вернуться из-за «горизонта событий». (В черной дыре Керра, по сути, есть два горизонта событий. Некоторые считают, что для обратного путешествия может понадобиться второе кольцо Керра, соединяющее параллельную вселенную с нашей.) В каком-то смысле черную дыру Керра можно сравнить с лифтом в небоскребе. Лифт представляет мост Эйнштейна-Розена, который соединяет различные этажи, только каждый этаж — это отдельная Вселенная. По сути, в этом небоскребе бесконечное количество этажей, и каждый из них отличается от других. Но лифт никогда не сможет уехать вниз. В нем есть только кнопка «вверх». Уехав с вашего этажа-вселенной, вернуться назад вы уже не сможете, поскольку пересечете «горизонт событий».

Мнения физиков по поводу того, насколько устойчиво кольцо Керра, разделились. Согласно некоторым расчетам, если попытаться пройти сквозь кольцо, то само присутствие человека дестабилизирует черную дыру и проход закроется. Например, если бы луч света упал в черную дыру Керра, он бы присоединил к себе невероятное количество энергии, падая к центру, и приобрел голубое смещение — то есть его частота и энергия возросли бы. При приближении к «горизонту событий» он уже будет обладать столь большой энергией, что убьет любого, кто попытается пройти сквозь мост Эйнштейна-Розена. Кроме того, луч создает свое собственное гравитационное поле, которое вступило бы во взаимодействие с первоначальной черной дырой, что, возможно, стало бы причиной закрытия прохода.

Иными словами, в то время, как одни физики считают, что черная дыра Керра — самая реалистичная из всех черных дыр и действительно может контактировать с параллельными вселенными, остается невыясненным, насколько безопасно будет прохождение через этот мост, а также то, насколько устойчив будет проход.

Наблюдение за черными дырами

Из-за странных свойств черных дыр их существование еще в 1990-е годы считалось научной фантастикой. «Если бы 10 лет назад вам довелось обнаружить объект, который вы посчитали бы черной дырой в центре галактики, то половина ученого мира решила бы, что вы немножко сбрендили», — заметил астроном Дуглас Ричстоун из Мичиганского университета в 1998 году. С тех пор астрономы обнаружили в открытом космосе несколько сот черных дыр при помощи космического телескопа Хаббла, Космической рентгеновской обсерватории «Чандра» (измеряющей рентгеновское излучение мощных звездных и галактических источников), а также радиотелескопом в Нью-Мехико — «Очень большой решеткой» (Very Large Array — VLA), состоящей из серии мощных антенн. Многие астрономы считают, что, по сути, в центре большинства космических галактик (которые имеют утолщение, или *балдж*, в центре своих дисков) находятся черные дыры.

Как и предвиделось, все обнаруженные в космосе черные дыры стремительно вращаются; некоторые вращаются со скоростью око-

ло 1,6 млн км/ч, как было вычислено при помощи космического телескопа Хаббла. В самом центре можно наблюдать плоское округлое ядро, размеры которого зачастую составляют около светового года в поперечнике. *Внутри этого ядра находится горизонт событий и сама черная дыра.*

Поскольку черные дыры невидимы, для их обнаружения астрономы вынуждены пользоваться методами непрямого наблюдения. На фотографиях они пытаются найти «аккреционный диск» вращающегося газа, окружающего черную дыру. Сегодня астрономы собрали коллекцию прекрасных фотографий аккреционных дисков. (Такие диски обнаружены почти везде у наиболее стремительно вращающихся объектов во Вселенной. Даже у нашего Солнца наверняка был такой диск, когда оно возникло 4,5 млрд лет назад, но он сконденсировался, образовав планеты. Причиной образования таких дисков является то, что они представляют состояние наименьшей энергии для таких стремительно вращающихся объектов.) Применяя законы движения Ньютона, астрономы могут вычислять массу центрального объекта, зная скорость звезд, вращающихся вокруг него. Если масса центрального объекта настолько велика, что скорость «убегания» для этого объекта равняется скорости света, то даже сам свет не может «убежать», предоставляя тем самым косвенное доказательство существования черной дыры.

«Горизонт событий» находится в самом центре аккреционного диска (к сожалению, он слишком мал, чтобы заметить его при помощи современных приборов. Астроном Фульвио Мелиа утверждает, что заснять на пленку «горизонт событий» для науки о черных дырах — все равно что найти Святой Грааль). Не весь газ,двигающийся по направлению к черной дыре, проходит «горизонт событий». Часть его проходит мимо «горизонта событий» и с огромной скоростью выбрасывается в космос, образуя две длинные газовые струи, извергающиеся из южного и северного полюсов черной дыры. Это делает черную дыру похожей на вертящийся волчок. (Причина, по которой струи газа извергаются именно таким образом, возможно, состоит в том, что линии магнитного поля коллапсирующей звезды, по мере того как поле становится все более напряженным, концентрируются над северным и южным полюсами. По мере того как звезда продолжает сжиматься, эти магнитные линии конденсируются в

два пучка, исходящие из северного и южного полюсов. Когда ионизированные частицы падают в коллапсирующую звезду, они следуют по силовым линиям и извергаются как струи через магнитные поля южного и северного полюсов.)

Пока обнаружено два типа черных дыр. Первый тип — черные дыры звездных масштабов. При образовании таких дыр гравитация разрушает умирающую звезду и та взрывается вовнутрь. Черные дыры второго типа обнаружить намного легче. У них галактические масштабы, они таятся в самом центре огромных галактик и квазаров, и их масса составляет от миллионов до миллиардов солнечных масс.

Недавно было окончательно установлено существование черной дыры в центре нашей Галактики Млечный Путь. К несчастью, пылевые облака закрывают от нас центр галактики; если бы не они, то каждую ночь с Земли мы бы наблюдали огромный огненный шар в созвездии Стрельца. Если бы не было этой пыли, то центр нашей Галактики Млечный Путь наверняка затмил бы Луну и был бы самым ярким объектом ночного неба. В самом центре этого галактического ядра находится черная дыра массой примерно в 2,5 млн солнечных масс. Что касается ее радиуса, то он составляет около 0,1 радиуса орбиты Меркурия. По галактическим меркам это не самая массивная черная дыра; в квазарах могут быть черные дыры в несколько миллиардов солнечных масс. Черная дыра на нашем «заднем дворе» в настоящее время довольно статична.

Следующая по близости к нам галактическая черная дыра находится в центре галактики Андромеды, самой близкой к Земле галактики. Эта черная дыра составляет 30 миллионов солнечных масс, а ее радиус Шварцшильда — около 96 млн км. (В центре галактики Андромеды находятся, по меньшей мере, два массивных объекта, видимо представляющие собой остатки прежней галактики, поглощенной галактикой Андромеды миллиарды лет назад. Если Галактика Млечный Путь в конце концов через миллиарды лет столкнется с галактикой Андромеды, что представляется весьма вероятным, то, возможно, наша Галактика закончит свой «жизненный» путь в «желудке» галактики Андромеды.)

Одной из самых восхитительных фотографий галактической черной дыры является фотография галактики NGC 4261, сделанная при помощи космического телескопа Хаббла. На прежних фотогра-

фиях этой галактики, полученных при помощи радиотелескопа, ясно видно, как две струи грациозно извергаются из северного и южного полюсов галактики, но никто не знал, что приводит этот механизм в действие. Телескоп Хаббла сфотографировал самый центр этой галактики, продемонстрировав нам прекрасно различимый диск размером около 400 световых лет в поперечнике. В самом его центре находится крошечная точка, содержащая в себе аккреционный диск размером около светового года в диаметре. Черная дыра в его центре, которую нельзя наблюдать при помощи телескопа Хаббла, весит приблизительно 1,2 млрд солнечных масс.

Галактические черные дыры, подобные этой, так энергетически мощны, что могут поглощать целые звезды. В 2004 г. НАСА и Европейское Космическое Агентство заявили, что стали свидетелями того, как огромная черная дыра в далекой галактике одним махом «проглотила» звезду. Космическая рентгеновская обсерватория «Чандра» и европейский спутник «ХММ-Ньютон» наблюдали одно и то же событие: вспышку рентгеновских лучей, испускаемую галактикой RXJ1242-11, это говорило о том, что черная дыра в центре галактики поглотила звезду. Масса этой черной дыры оценивается в 100 миллионов солнечных масс. Расчеты показали, что, когда звезда подходит опасно близко к «горизонту событий», невероятная сила гравитации деформирует и растягивает звезду настолько, что та разрывается на части, испуская обнаруживающую ее вспышку рентгеновских лучей. «Эту звезду растянуло больше, чем допускал предел ее прочности. Несчастливая звезда просто забрела не в те окрестности», — заметила астроном Стефани Комосса из института Макса Планка в Гархинге (Германия).

Факт существования черных дыр помог решить массу давних загадок. Например, галактика M87 всегда была для астрономов диковиной, поскольку выглядела как массивный шар из звезд, из которого выглядывал странный «хвост». Поскольку этот шар испускал сильное излучение, в какой-то момент астрономы посчитали, что это представляет собой струю антивещества. Но сегодня астрономы обнаружили, что существование хвоста обусловлено огромной черной дырой, массой, возможно, 3 миллиарда солнечных масс. А этот странный хвост сегодня считается гигантской струей плазмы, не устремленной внутрь галактики, а вылетающей из нее.

Одно из наиболее впечатляющих открытий в области черных дыр произошло в тот момент, когда Космическая рентгеновская обсерватория «Чандра» сквозь небольшой прорыв в пылевых облаках смогла увидеть открытый космос и наблюдать там скопление черных дыр на границе видимой Вселенной. Было зафиксировано 600 черных дыр. Исходя из этого наблюдения, астрономы предполагают, что на небе существует, по меньшей мере, 300 миллионов черных дыр.

Гамма-барстеры

Возраст упомянутых выше черных дыр составляет, возможно, миллиарды лет. Но сегодня астрономам предоставляется редкая возможность наблюдать собственными глазами, как образуются черные дыры. Некоторыми из них, похоже, являются загадочные источники всплесков гамма-излучения, испускающие больше всего энергии во всей Вселенной. По количеству выбрасываемой энергии они уступают только интенсивности Большого Взрыва.

У этих источников гамма-всплесков очень интересная история, уходящая во времена холодной войны. В конце 1960-х годов Соединенные Штаты весьма обеспокоил тот факт, что Советский Союз или какая-либо другая держава в обход существующих соглашений могут тайно взорвать ядерную бомбу на пустынном участке Земли или даже на Луне. Поэтому Соединенные Штаты запустили спутник «Вела», специально предназначенный для отслеживания «ядерных вспышек», или несанкционированных взрывов ядерных бомб. Поскольку ядерный взрыв разворачивается в несколько этапов, микросекунда за микросекундой, каждая ядерная вспышка дает характерную двойную вспышку света, которую можно заметить со спутника. (Спутник «Вела» действительно уловил две такие ядерные вспышки в 1970-е годы недалеко от побережья острова Принца Эдуарда в Южной Африке в присутствии израильских военных кораблей. В ЦРУ до сих пор ведутся споры по поводу зафиксированных сигналов.)

Однако Пентагон поразило то, что спутник «Вела» принимал сигналы гигантских ядерных взрывов в космосе. Может быть, Советский Союз тайно взрывал водородные бомбы в открытом космосе, ис-

пользуя неизвестные передовые технологии? Озабоченность тем, что Советский Союз, возможно, существенно обогнал Соединенные Штаты в вопросах разработки ядерного оружия, заставила США привлечь к анализу природы этих тревожных сигналов лучших ученых мира.

После распада Советского Союза больше не нужно было классифицировать эту информацию, и Пентагон «выбросил» целые горы данных в астрономический ученый мир. Впервые за десятилетия было открыто совершенно новое астрономическое явление невероятной силы и масштаба. Астрономы быстро уяснили, что мощность этих гамма-всплесков (их назвали гамма-барстерами) была просто фантастической: за несколько секунд испускалось такое же количество энергии, как наше Солнце испустило за всю свою жизнь (около 10 млрд лет). Но эти вспышки были весьма скоротечны: с тех пор, как их уловил спутник «Вела», они настолько потускнели, что, когда в их сторону направили наземные телескопы, разглядеть что-либо было уже невозможно. (Большинство вспышек длится от 1 до 10 секунд, самая короткая длилась 0,01 секунды, но некоторые продолжались и несколько минут.)

Сегодня космические телескопы, компьютеры и команды быстрого реагирования изменили наши возможности в обнаружении гамма-барстеров. Всплески гамма-лучей улавливаются по 3 раза на дню, и каждый из них приводит в действие сложную систему. Как только спутник регистрирует выброс энергии и всплеск гамма-лучей, астрономы при помощи компьютеров быстро определяют точные координаты всплеска и направляют на него телескопы и сенсоры.

Данные, полученные при помощи этих новейших приборов, принесли поистине ошеломляющие результаты. В сердце гамма-барстеров обязательно находится некий объект, не очень большой, зачастую всего лишь в несколько десятков километров в поперечнике. Другими словами, невероятная космическая энергия гамма-барстеров сконцентрирована на территории размером, скажем, с Нью-Йорк. Долгие годы считалось, что причиной таких вспышек, вероятнее всего, служили столкновения нейтронных звезд в двойной звездной системе. Согласно этой теории с течением времени орбита нейтронных звезд искажалась и они двигались по смертельной спирали, пока в конце концов не сталкивались, в результате чего проис-

ходил выброс гигантского количества энергии. Такие события чрезвычайно редки, но поскольку Вселенная очень велика, а эти вспышки освещают всю Вселенную, то они должны быть видны несколько раз в день.

Но в 2003 году собранные учеными новые факты позволили предположить, что вспышки гамма-лучей представляют собой результат взрыва «гиперновой», что создает массивную черную дыру. Быстро фокусируя телескопы и спутники в направлении вспышек гамма-лучей, ученые обнаружили, что они похожи на массивные «сверхновые». Поскольку взрывающаяся звезда создает магнитное поле невероятной силы и выбрасывает излучение через свои северный и южный полюса, может показаться, что «сверхновая» более активна, чем на самом деле: мы можем наблюдать эти вспышки только в том случае, когда они направлены прямо к Земле, а это создает ложное впечатление мощности, большей чем в реальности.

Если гамма-барстеры — это действительно черные дыры в процессе образования, то следующее поколение космических телескопов должно позволить нам изучать этот процесс в подробностях и, возможно, ответить на некоторые из глобальных вопросов о времени и пространстве. В частности, если черные дыры могут закручивать пространство в кренделя, то могут ли они искривлять также и время?

Машина времени Ван Стокума

Теория Эйнштейна объединяет пространство и время в одно неразрывное целое. В результате любой портал, соединяющий две точки пространства, может также соединять два момента времени. Иными словами, теория Эйнштейна допускает возможность путешествия во времени.

Сам концепт времени развивался на протяжении веков. Для Ньютона время было похоже на стрелу; будучи выпущенной, она уже не меняла своей траектории полета и четко и равномерно двигалась к цели. Затем Эйнштейн предложил концепт искривленного пространства, а время стало больше похоже на реку, которая вилась по Вселенной, то ускоряя, то замедляя свой бег. Но Эйнштейна беспокоила опасность того, что река времени может замкнуться сама на себе. Возможно, в реке времени существовали водовороты и рукава.

В 1937 году эту опасность заметили физики, когда В. Дж. Ван Стокум нашел решение уравнений Эйнштейна, которые делали возможным путешествие во времени. Он начал с бесконечно длинного вращающегося цилиндра. Хотя физически невозможно построить объект с бесконечными размерами, он рассчитал, что если бы такой цилиндр вращался со скоростью, близкой к скорости света, он бы увлекал материю пространства-времени с собой, подобно тому как паток увлекается лопастями миксера. (Этот «эффект скручивания» (frame-dragging) также известен как «захват системы отсчета» и был экспериментально обнаружен на подробных фотографиях вращающихся черных дыр.)

Любого храбреца, отважившегося пройти мимо цилиндра, засосало бы внутрь с фантастической скоростью. При этом стороннему наблюдателю казалось бы, что тот человек превысил скорость света. Хотя сам Ван Стокум тогда так и не понял, что, облетев вокруг цилиндра, по сути, можно вернуться назад во времени, в момент, предшествующий моменту отлета. Если вы отбыли в полдень, то к тому времени, как вы вернетесь в точку отсчета, может быть, скажем, 6 часов вчерашнего дня. Чем быстрее вращение цилиндра, тем дальше вы можете унести назад во времени (при этом единственным ограничением будет то, что вы не смогли бы попасть в момент времени до создания самого цилиндра).

Поскольку сам цилиндр похож на майское дерево (украшенный цветами столб, вокруг которого танцуют в майские праздники в Англии), то каждый раз, когда вы в танце проносились мимо него, вы все дальше и дальше уходили во времени в прошлое. Конечно же, такое решение может быть с легкостью отброшено, поскольку цилиндр все-таки не может быть бесконечно длинным. Кроме того, если бы такой цилиндр все же можно было построить, то центробежная сила, действующая на него, была бы невероятно велика, что стало бы причиной разрушения материала, из которого сделан цилиндр.

Вселенная Гёделя

В 1949 году великий математик и логик Курт Гёдель обнаружил еще более сложное решение уравнений Эйнштейна. Он предположил, что Вселенная вращается вся целиком. Подобно случаю с вращаю-

щимся цилиндром Ван Стокума, все увлекается пространством-временем, тягучим, словно патока.

Во вселенной Гёделя человек, в принципе, может путешествовать между двумя любыми точками пространства или времени. Вы можете стать участником любого события, происшедшего в любой период времени, вне зависимости от того, насколько далеко он отстоит от настоящего. Из-за действия гравитации вселенная Гёделя имеет тенденцию к коллапсу. Поэтому центробежная сила вращения должна сбалансировать гравитационную силу. Иными словами, Вселенная должна вращаться с определенной скоростью. Чем больше Вселенная, тем больше ее тенденция к коллапсу и тем быстрее она должна вращаться для его предотвращения.

К примеру, Вселенная нашего размера по Гёделю должна была бы совершать один полный оборот за 70 миллиардов лет, а минимальный радиус для путешествия во времени составлял бы 16 миллиардов световых лет. Однако путешествуя во времени в прошлое, вы должны двигаться со скоростью чуть ниже скорости света.

Гёделю было прекрасно известно о парадоксах, которые могли возникнуть из такого решения, — возможность встретить самого себя в прошлом и изменить ход истории. «Совершая «кругосветное» путешествие на ракете по достаточно длинному маршруту, в этих мирах возможно путешествовать в любой момент прошлого, настоящего и будущего, а потом снова возвращаться обратно, также, как в других мирах возможно *путешествовать* в отдаленные области пространства, — писал он. — Такое положение дел, кажется, несет в себе элемент абсурда. Ибо оно позволяет человеку путешествовать в не очень отдаленное прошлое тех мест, где он сам жил когда-то. Там он обнаружил бы человека, который был бы им самим в более ранний период его же жизни. И тогда он смог бы сделать что-нибудь с этим человеком, чего, по его воспоминаниям, с ним самим не происходило».

Эйнштейн был глубоко обеспокоен решением, найденным его другом и коллегой по Институту передовых исследований в Принстоне. Его ответ был достаточно прозрачен:!

Работа Курта Гёделя, на мой взгляд, представляет собой важный вклад в общую теорию относительности, особенно в анализ

концепта времени. Проблема, рассмотренная в работе, беспокоила меня еще во время создания общей теории относительности, и я так и не достиг успеха в ее разрешении... Различие «раньше-позже» стирается при рассмотрении точек Вселенной, отстоящих далеко друг от друга в космологическом смысле, а при учете направления причинных связей возникают те парадоксы, о которых говорит господин Гёдель... Будет интересно разобраться, можно ли отбросить их по причине недостаточного физического обоснования.

Ответ Эйнштейна интересен по двум причинам. Во-первых, он признал, что возможность путешествий во времени беспокоила его с того самого момента, когда он впервые сформулировал общую теорию относительности. Поскольку считается, что время и пространство похожи на кусок резины, который может сгибаться и искривляться, Эйнштейна обеспокоило то, что пространство-время может искривиться настолько, что путешествие во времени станет возможно. Во-вторых, он исключил решение Гёделя по причине недостаточного «физического обоснования», — то есть Вселенная не вращается, она расширяется.

Когда Эйнштейн умер, стало известно, что его уравнения допускали существование странных явлений (путешествий во времени, порталов). Но никто о них серьезно не задумывался — ведь ученые считали, что эти явления не могут быть реализованы. Всеобщее мнение гласило: для этих решений не существует основы в реальном мире. Вы бы погибли, если бы попытались попасть в параллельную вселенную через черную дыру; Вселенная не вращается; цилиндр бесконечной длины изготовить нельзя, — все это придавало вопросу о путешествиях во времени чисто теоретический характер.

Машина времени Торна

О путешествиях во времени забыли на целых 35 лет до 1985 года, когда астроном Карл Саган написал роман «Контакт» и захотел описать, как его героиня смогла бы попасть на Бегу. Ему требовалось путешествие в оба конца, то есть чтобы героиня сначала попала на Бегу, а потом снова вернулась на Землю, — а с помощью порталов

черных дыр это было невозможно. Саган обратился за помощью к физика Кипу Торну. Торн потряс мир физики новыми решениями уравнений Эйнштейна, которые допускали путешествие во времени в обход многих проблем. В 1988 году вместе с коллегами, Майклом Моррисом и Ульви Юртсивером, Торн объявил, что машину времени сконструировать возможно при условии, что каким-то образом будут получены странные формы вещества и энергии, такие, как «экзотическое отрицательное вещество» и «отрицательная энергия». Сначала физики скептически отнеслись к этому новому решению, поскольку никто никогда не видел этого «экзотического вещества», а отрицательная энергия существует только в малых количествах. Но все же это решение являло собой прорыв в нашем понимании путешествия во времени.

Большим преимуществом отрицательного вещества и отрицательной энергии является то, что они могут сделать портал двусторонним и вы сможете совершить путешествие в оба конца, не беспокоясь о «горизонтах событий». По сути, группа Торна обнаружила, что путешествие с помощью машины времени было бы вполне мягким по сравнению со стрессом, который человек испытывает, путешествуя коммерческими авиарейсами.

Однако проблема в том, что «экзотическое вещество» (оно же «отрицательное») обладает весьма удивительными качествами. В отличие от антивещества (которое, как известно, существует и, вероятнее всего, под воздействием гравитационного поля падает на Землю), отрицательное вещество «падает вверх», так что оно будет парить, всплывать вверх под воздействием земной гравитации, поскольку обладает антигравитацией. Оно отталкивается, а не притягивается обычным веществом и другим отрицательным веществом. Это также означает, что его довольно трудно обнаружить в природе, если оно вообще существует. С тех пор как Земля образовалась 4,5 млрд лет назад, любое отрицательное вещество уплыло бы далеко в космос. Так что, возможно, отрицательное вещество плавает в космосе вдали от всех планет. (Отрицательное вещество, возможно, никогда не столкнется с пролетающей мимо звездой или планетой, поскольку оно отталкивается обычным веществом.)

Если отрицательное вещество никто никогда не видел (и вполне возможно, что его вообще не существует), существование от-

рицательной энергии физически возможно, но встречается она чрезвычайно редко. В 1933 году Хенрик Казимир доказал, что две незаряженные параллельные металлические пластины могут создавать отрицательную энергию. Обычно ожидается, что две пластинки остаются стационарными, поскольку не имеют заряда. Однако Казимир показал, что между этими двумя незаряженными параллельными пластинками существует очень слабая сила притяжения. В 1948 году эта незначительная сила действительно была измерена, что доказало реальную возможность существования отрицательной энергии. Эффект Казимира использует довольно необычное свойство вакуума. Согласно квантовой теории, пустое пространство заполнено «виртуальными частицами», и это возможно благодаря принципу неопределенности Гейзенберга, который допускает, что исконные классические законы могут быть нарушены, если эти нарушения кратковременны. Например, благодаря принципу неопределенности существует некоторая вероятность того, что электрон и позитрон могут возникнуть из ничего, а затем аннигилировать друг друга. Поскольку параллельные пластины находятся очень близко друг к другу, эти виртуальные частицы не могут свободно попасть в пространство между пластинами. Таким образом, поскольку вокруг пластин находится гораздо больше частиц, чем между ними, это создает силу, направленную извне, которая слегка подталкивает пластины друг к другу. Этот эффект был точно измерен в 1996 году Стивеном Ламоро из Национальной лаборатории Лос-Аламос. Измеренная им сила притяжения оказалась крошечной (равной весу 1 /30000 такого насекомого, как муравей). Чем меньше расстояние между пластинами, тем больше сила притяжения.

Итак, в этом заключается возможный принцип работы машины времени, выдуманной Торном. Высокоразвитая цивилизация могла бы начать с двух параллельных пластин, находящихся на крайне малом расстоянии друг от друга. Затем эти параллельные пластины были бы преобразованы в сферу, состоящую из внешней и внутренней оболочек. Затем они взяли бы две такие сферы и каким-либо способом протянули бы портал-червоточину между ними, таким образом эти сферы оказались бы соединены пространственным туннелем. Теперь каждая из сфер содержала бы вход в портал.

Обычно течение времени синхронно в обеих сферах. Но если мы поместим одну из сфер в ракету и запустим ее, сообщив ей скорость, близкую к световой, то для этой ракеты время замедлит свой ход, и две сферы больше не будут синхронизированы во времени. Часы в ракете идут намного медленнее, чем на Земле. Если затем прыгнуть в сферу на Земле, то через портал, соединяющий сферы, можно попасть в другую ракету, которая находится в прошлом. (Однако, опять-таки, эта машина времени не может перенести вас во время, предшествующее созданию самой машины.)

Проблемы отрицательной энергии

Несмотря на то что, объявив о найденном решении уравнений Эйнштейна, Торн произвел настоящую сенсацию, реализация его идей затруднялась некоторыми серьезными препятствиями, трудноустраняемыми даже в условиях высокоразвитой цивилизации. Для начала необходимо было получить большие количества отрицательной энергии, а она встречается довольно редко. Действие портала такого типа зависит от наличия большого количества отрицательной энергии, которая не дает portalу закрыться. Если получать отрицательную энергию, как это описал Казимир, действие ее довольно слабое и размер портала будет намного меньше атома, что делает нереальным путешествие через этот портал. Существуют и другие источники отрицательной энергии, кроме описанного эффекта Казимира, но все их довольно сложно контролировать. Например, физики Пол Дейвис и Стивен Фуллинг показали, что создание отрицательной энергии возможно с помощью быстро перемещаемого зеркала, при этом отрицательная энергия аккумулируется перед зеркалом по мере его передвижения. К сожалению, для получения отрицательной энергии зеркало придется перемещать со скоростью, близкой к скорости света. Кроме того, как и в случае с эффектом Казимира, количество полученной отрицательной энергии чрезвычайно мало.

Еще один способ получения отрицательной энергии связан с использованием высокомошных лазерных лучей. Среди энергетических состояний лазера наличествуют «сжатые состояния», в которых сосуществуют положительная и отрицательная энергии.

Однако это взаимодействие тоже довольно трудно контролировать. Стандартный импульс отрицательной энергии может длиться 10^{-15} секунды, после чего за ним следует импульс положительной энергии. Отделить состояния положительной энергии от состояний отрицательной энергии возможно, хотя и чрезвычайно трудно. Более подробно я буду говорить об этом в главе 11.

И наконец, оказывается, отрицательная энергия содержится и в черной дыре — у ее «горизонта событий». Как доказали Джейкоб Бекенштейн и Стивен Хокинг⁽⁵⁾, черная дыра не является идеально черной, поскольку она пусть медленно, но испускает энергию. Это происходит потому, что принцип неопределенности делает возможным туннелирование излучения сквозь невероятную гравитацию черной дыры. Но поскольку такая черная дыра теряет энергию, со временем «горизонт событий» сужается. Обычно, если положительное вещество (например, звезду) бросить в черную дыру, то «горизонт событий» расширяется. Но если мы сбросим в черную дыру отрицательное вещество, то «горизонт событий» сузится. Таким образом, испускание энергии черной дырой создает отрицательную энергию возле «горизонта событий». (Некоторые ученые выдвигали идею поместить устье портала-червоточины рядом с «горизонтом событий», чтобы он собирал отрицательную энергию. Однако собирать отрицательную энергию подобным образом было бы крайне сложно и опасно, поскольку вам все время пришлось бы находиться чрезвычайно близко к «горизонту событий».)

Хокинг доказал, что отрицательная энергия в целом необходима для стабилизации всех решений для порталов. Ход его рассуждений довольно прост. Обычно положительная энергия может создать вход в портал-червоточину, который концентрирует вещество и энергию. Таким образом, лучи света фокусируются в устье портала. Однако, если эти же лучи света появятся с другой стороны, то где-то в центре портала-червоточины лучи света должны расфокусироваться. Единственным возможным объяснением такого варианта событий является наличие отрицательной энергии. Далее, отрицательная энергия отталкивает, что необходимо для предотвращения сжатия портала под воздействием силы гравитации. Поэтому ключом к созданию машины времени или портала может быть достаточное количество отрицательной энергии — чтобы устье-вход портала было

открыто и находилось в устойчивом состоянии. (Многие ученые-физики уже обнаружили, что при наличии сильных гравитационных полей поля отрицательной энергии — явление обычное.) Так что, возможно, когда-нибудь гравитационную отрицательную энергию смогут использовать для управления машиной времени.

Еще одним препятствием, не позволяющим создать такую машину времени, является следующее: где найти портал-червоточину? Торн опирался на тот факт, что порталы-червоточины создаются естественным путем в том, что называют «пенной» пространства-времени. Это возвращает нас к вопросу, который поставил более 2000 лет назад греческий философ Зенон: каково наименьшее расстояние, которое можно пройти?

Зенон когда-то математически доказал, что реку пересечь невозможно. Сначала он заметил, что расстояние между берегами реки можно разделить на бесконечное количество точек. Но поскольку для того, чтобы пройти бесконечное множество точек, понадобится бесконечное количество времени, то реку пересечь невозможно. Или, если на то пошло, ничто вообще не может двигаться. (Для разрешения этой головоломки понадобятся еще два тысячелетия и соответствующее развитие вычислительной науки. Можно доказать, что бесконечное множество точек можно пройти за конечное количество времени, что, в конце концов, делает движение математически возможным.)

Джон Уилер из Принстона проанализировал уравнения Эйнштейна с целью найти наименьшее расстояние. Уилер обнаружил, что на невероятно малых расстояниях, порядка длины Планка (10^{-35} м), теория Эйнштейна предсказывала, что искривление пространства будет достаточно велико. Иными словами, при длине Планка проявляется то обстоятельство, что пространство совсем не гладкое, а сильно искривленное, то есть его характеризуют неоднородность и «пенистость». Пространство становится комковатым и буквально бурлит; при этом крошечные пузырьки выпрыгивают из вакуума и снова исчезают в нем. Даже пустое пространство, если его рассматривать в таком масштабе, постоянно заполнено мельчайшими пузырьками пространства-времени, которые, по сути, представляют собой крошечные порталы-червоточины и вселенные-малютки. Обычно « виртуальные частицы состоят из электронных и позитрон-

ных пар, которые появляются, чтобы тут же аннигилировать друг друга. Но при длине Планка крошечные пузырьки, представляющие собой целые вселенные и порталы, могут возникать только для того, чтобы тут же раствориться в вакууме. Наша собственная Вселенная могла зародиться в виде одного из таких крошечных пузырьков, покачивающихся в «пене» пространства-времени, который потом раздулся по неизвестным нам причинам.

Поскольку порталы-червоточины в естественном состоянии можно обнаружить в «пене», Торн предположил, что высокоразвитая цивилизация сможет извлечь эти порталы из «пены», а затем расширить их и стабилизировать с помощью отрицательной энергии. Хотя это достаточно сложный процесс, но он лежит в пределах возможностей, определяемых законами физики.

Машина времени Торна кажется теоретически возможной, хотя, с точки зрения технологии, сконструировать ее чрезвычайно сложно; но существует еще один нерешенный вопрос: противоречат ли путешествия во времени фундаментальному закону физики?

Вселенная у вас в спальне

В 1992 году Стивен Хокинг попытался разрешить вопрос о путешествиях во времени раз и навсегда. Инстинктивно он был против путешествий во времени; ведь если бы путешествия сквозь время были таким же обычным явлением, как и воскресные пикники, то тогда мы должны были бы видеть туристов из далекого будущего, которые глазели бы на нас и фотографировали.

Но физики часто приводят цитату из эпического романа Т. Х. Уайта «Король былого и грядущего», где муравьиное общество заявляет: «Все, что не запрещено, обязательно к исполнению». Иными словами, если нет основополагающего физического принципа, запрещающего путешествия во времени, то они непременно являются физически возможными. (Причиной тому есть принцип неопределенности. Если только что-либо не запрещено, то квантовые взаимодействия и флуктуации в конце концов сделают это возможным при условии достаточно долгого ожидания.) В ответ Стивен Хокинг предложил «гипотезу защиты хронологии», которая запрещает путешествия во времени и тем самым «сохраняет историю для истори-

ков». Согласно этой гипотезе, путешествия во времени невозможны, поскольку противоречат частным физическим принципам.

Поскольку с решениями для порталов-червоточин работать чрезвычайно трудно, Хокинг начал свое доказательство с анализа упрощенной Вселенной, открытой Чарльзом Мизнером из Мэрилендского университета: в ней наличествовали все составляющие, необходимые для путешествий во времени. Пространство Мизнера — это идеализированное пространство, в котором, например, ваша спальня становится целой Вселенной. Пусть каждая точка на левой стене спальни идентична соответствующей точке на правой стене. Это означает, что если вы пойдете по направлению к левой стене и не остановитесь вовремя, то вы не разобьете себе нос в кровь, а пройдете сквозь стену и возникнете вновь из правой стены. Это означает, что в каком-то смысле левая и правая стены соединены цилиндрически.

Кроме того, точки на передней стене дома идентичны точкам на задней стене, а точки на потолке идентичны точкам пола. Таким образом, идя в любом направлении, вы пройдете сквозь одну из стен спальни и снова вернетесь в нее. Вы не можете выйти из нее. Иными словами, ваша спальня поистине является целой Вселенной!

Далее, взглядевшись в левую или правую стену, вы увидите, что она, по сути, прозрачна и на другой стороне этой стены находится точная копия вашей спальни. В этой другой спальне стоит ваш точный клон, хотя вы и можете увидеть только его спину, но никогда — лицо. Если вы посмотрите вверх или вниз, то также увидите точные копии самого себя. По сути, существует бесконечная последовательность точных копий вас самих, стоящих спереди, сзади, внизу и над вами.

Вступить в контакт с самим собой довольно трудно. Каждый раз, когда вы поворачиваете голову, чтобы взглянуть на лица клонов, вы обнаруживаете, что они тоже отворачиваются, и поэтому вы никак не можете увидеть их лица. Но если спальня достаточно маленькая, то вы можете просунуть руку сквозь стену и схватить за плечо клона, стоящего перед стеной. Вас может повергнуть в шок то, что клон создаст вас также протянул руку и схватил вас за плечо. Точно так же вы можете вытянуть руки направо и налево, схватив клонов, стоящих слева и справа, и тогда образуется бесконечная последовательность вас самих, держащихся за руки. В сущности, вы протянулись через всю



В пространстве Мизнера Вселенная заключена в вашей спальне. Противоположные стены идентичны друг другу, а потому, пройдя сквозь одну стену, вы тут же появитесь из противоположной. Точно так же и потолок идентичен полу. Пространство Мизнера часто изучают по той причине, что его топология идентична топологии портала-червоточины, но с ним намного легче иметь дело в математическом отношении. Если стены двигаются, то во Вселенной Мизнера путешествия во времени, возможно, допустимы.

Вселенную, чтобы схватить за плечо самого себя. (Не рекомендуется наносить вред своим клонам. Если вы возьмете пистолет и направите его на клона впереди вас, то вам, возможно, стоит пересмотреть свою позицию и не нажимать на курок, потому что клон сзади также целится в вас!)

Представьте, что в пространстве Мизнера стены вокруг вас сжимаются. Ситуация становится интересной. Допустим, что спальня сжимается и правая стена медленно движется по направлению к вам со скоростью 3 км/ч. Если теперь вы пройдете сквозь левую стену, то снова появитесь из правой движущейся стены, но уже приобретете дополнительную скорость, равную 3 км/ч, сообщенную вам стеной, так что теперь вы будете двигаться со скоростью 6 километров в час. По сути, каждый раз, как вы совершаете полный проход, вам сообщается дополнительная скорость, равная 3 км/ч. После повторения путешествий вокруг Вселенной вы двигаетесь со скоростью 9, потом 12,15 км/ч — до тех пор, пока не достигнете невероятной скорости, близкой к световой.

В определенной критической точке вы двигаетесь в этой Вселенной Мизнера настолько быстро, что начинаете путешествие во времени назад. По сути, вы можете посетить любую предыдущую точку пространства-времени. Хокинг тщательно изучил пространство Мизнера. Он обнаружил, что с математической точки зрения правая и левая стены почти идентичны двум устьям-входам портала-червоточины. Иными словами, ваша спальня и есть портал, где правая и левая стены одинаковы и являются идентичными устьями-входами портала.

Затем он отметил тот факт, что пространство Мизнера неустойчиво с точки зрения как классической, так и квантовой механики. К примеру, если вы направите луч фонарика на левую стену, то луч будет набирать энергию каждый раз, появляясь из правой стены. Этот луч приобретет голубое смещение — то есть будет содержать все больше энергии, до тех пор, пока она не станет бесконечной, а это уже невозможно. Или же луч фонаря приобретет такое количество энергии, что создаст свое собственное невероятно сильное гравитационное поле, которое сожмет спальню/портал. Таким образом, портал сожмется, если вы попытаетесь пройти сквозь него. Также можно доказать, что нечто, называемое тензором энергии-импульса, который измеряет энергетическое и вещественное содержимое пространства, станет бесконечным, поскольку излучение может пройти сквозь эти две стены бесконечное количество раз.

Хокинг таким образом нанес завершающий смертельный удар по идее путешествий во времени — многочисленные эффекты излу-

ния накладывались до тех пор, пока не начинали стремиться к бесконечности, создавая отклонения, губя путешественника во времени и закрывая портал.

В своих работах Хокинг поднял вопрос об отклонениях, что вызвало оживленную дискуссию в физической литературе. Ученые разделились — «за» и «против» принципа защиты хронологии. По сути, несколько физиков бросились искать бреши в доказательстве Хокинга, выбирая подходящие значения для порталов, изменяя их параметры — длину и прочее. Они обнаружили, что в некоторых решениях для порталов тензор энергии-импульса действительно отклонялся, но в остальных решениях он был четко определен. Русский физик Сергей Красников рассмотрел вопрос отклонений в связи с различными типами порталов и сделал вывод, что «нет ни крупицы доказательств такого предположения, что машина времени должна быть нестабильна».

Научная мысль так далеко отступила от выводов Хокинга, что физик из Принстона Ли-Синь Ли даже выдвинул гипотезу *анти*-хронологической защиты: «Не существует такого закона физики, который бы препятствовал появлению замыкающихся временных петель».

В 1998 году Хокинг был вынужден в некотором роде пойти на уступку. Он написал: «Тот факт, что тензор энергии-импульса не выказывает отклонений [в определенных случаях], доказывает, что обратная реакция не навязывает нам существования принципа защиты хронологии». Это совсем не означает, что путешествие во времени возможно, это лишь доказывает, что наши познания в этой области еще далеко не полны. Физик Мэтью Виссер считает, что провал гипотезы Хокинга «вовсе не должен питать надежды энтузиастов путешествий во времени, а скорее указывает на то, что разрешение вопросов защиты хронологии требует доскональной разработки теории квантовой гравитации».

Сегодня Хокинг уже не говорит, что путешествия во времени абсолютно невозможны. Он утверждает лишь, что они очень уж маловероятны и трудно осуществимы. Перевес совершенно очевидно не в пользу путешествий во времени. Но тем не менее нельзя полностью отбрасывать возможность их осуществления. Если бы можно было каким-либо образом использовать большие количества положитель-

ной и отрицательной энергии, то путешествия во времени и вправду стали бы возможны. (И, возможно, наше время только потому не наводнили толпы туристов из будущего, что самым отдаленным временем, в которое они могут отправиться, является момент создания самой машины времени, а машины времени пока что еще не сконструированы.)

Машина времени Готта

В 1991 году Дж. Ричард Готт III из Принстона предложил еще одно решение эйнштейновских уравнений, которое допускало путешествия во времени. Его подход был интересен потому, что Готт выбрал совершенно новое, можно сказать, свеженькое направление, полностью отбросив вращающиеся объекты, порталы-червоточины и отрицательную энергию.

Готт родился в Луисвилле (штат Кентукки) в 1947 году. В его речи до сих пор слышен мягкий южный акцент, который кажется несколько экзотичным в разреженном, беспорядочном мире теоретической физики. Он начал изучать физику еще в детстве, вступив в клуб астрономов-любителей, где наслаждался видом звездного неба.

В школе Готт выиграл престижный конкурс Вестингауза «Поиски научных талантов», в котором поныне участвует как председатель жюри. Закончив Гарвард со степенью доктора математики, он отправился в Принстон, где работает и по сей день.

Занимаясь исследованиями в области космологии, Готт заинтересовался «космическими струнами», «остатком» Большого Взрыва, существование которых предсказывается во многих теориях. Космические струны могут быть тоньше диаметра атомного ядра, но их масса может быть сравнима со звездной и они протягиваются в пространстве на миллионы световых лет. Готт первым обнаружил решение уравнений Эйнштейна, допускающее существование космических струн. Но затем он заметил в этих космических струнах нечто необычное. Если взять две космические струны и отправить их навстречу друг другу, то прямо перед тем, как они столкнутся, их можно использовать в качестве машины времени. Во-вторых, он обнаружил, что если облететь вокруг сталкивающихся космических струн, то пространство сжимается, что придает ему необычные свой-

ства. Мы знаем, что, если, например, обойти вокруг стола и вернуться на место старта, мы совершим оборот (вокруг стола) в 360° . Но если ракета облетит две космические струны при их прохождении друг сквозь друга, то она, по сути, совершит неполный оборот, меньше 360° , потому что пространство сжимается. (Это топология конуса. Если мы облетим вокруг конуса, то обнаружим, что совершили неполный оборот.) Таким образом, стремительно облетев вокруг обеих струн, вы фактически могли бы превысить скорость света (с точки зрения находящегося в отдалении наблюдателя), поскольку общее расстояние будет меньшим, чем ожидалось. Однако это не противоречит специальной теории относительности, поскольку в вашей собственной системе отсчета скорость ракеты никогда не превысит скорости света.

Но это также означает, что если вы облетите две сталкивающиеся космические струны, то сможете совершить путешествие в прошлое. Готт вспоминает: «Когда я обнаружил это решение, я чрезвычайно взволновался. В решении использовалось только положительное вещество, которое двигалось со скоростью, не превышающей скорость света. Для сравнения: решения, привлекающие порталы, требуют присутствия более экзотического отрицательно-энергетически-плотного вещества (то есть чего-то, что весит меньше, чем ничего)».

Но количество энергии, необходимое для создания машины времени, просто невероятно. «Чтобы сделать возможными путешествия в прошлое, космические струны массой в 10 триллионов на сантиметр должны двигаться в противоположных направлениях со скоростями, составляющими, по меньшей мере, 99,99999996 % скорости света. Мы наблюдали во Вселенной протоны высокой энергии, двигающиеся так же быстро, а потому такие скорости возможны», — замечает он.

Некоторые критики указывают на то, что космические струны — явление очень редкое, если они вообще существуют, а столкновение космических струн — еще более редко. Поэтому Готт предложил следующее: высокоразвитая цивилизация может обнаружить космическую струну в открытом космосе. Используя гигантские космические корабли и точнейшие приборы огромных размеров, люди будущего могли бы преобразовать эту струну в слегка неправильный прямоугольник-петлю (похожий на наклонный стул). По его теории,

эта петля-прямоугольник может коллапсировать под воздействием своей собственной гравитации, так что два прямых отрезка космической струны могут пролететь друг мимо друга со скоростью, близкой к скорости света, создав тем самым машину времени. И тем не менее Готт признает: «Коллапсирующая петля из космической струны, достаточно большая для того, чтобы вы смогли облететь вокруг нее и отправиться хотя бы на год назад в прошлое, должна была бы иметь массу-энергию более половины всей галактики».

Временные парадоксы

Традиционно еще одной причиной, по которой ученые отбрасывали идею путешествия во времени, были временные парадоксы. Например, если вы вернетесь назад во времени и убьете своих родителей до момента вашего рождения, то рождение ваше станет невозможным. Так что, для начала, вы никогда не сможете вернуться назад во времени и убить своих родителей. Это важно, поскольку наука основывается на логически последовательных идеях; такого временного парадокса было бы достаточно, чтобы отбросить идею о путешествии во времени.

Эти временные парадоксы разделяются на несколько категорий: **Дедушкин парадокс.** Согласно этому парадоксу, вы изменяете прошлое таким образом, что существование настоящего становится невозможным. Например, отправившись в отдаленное прошлое, чтобы взглянуть на динозавров, вы можете случайно наступить на маленькое мохнатое существо, которое, возможно, было первым предком рода человеческого. Уничтожив своего предка, вы делаете собственное существование логически невозможным.

Информационный парадокс. Согласно этому парадоксу, информация приходит из будущего, а это означает, что у нее нет начала. Например, представим, что какой-то ученый создал машину времени и отправляется в прошлое, чтобы поведать секрет путешествия во времени самому себе в юные годы. У этого секрета не будет начала, поскольку та машина времени, которую создаст молодой ученый, не будет изобретена им

самим; секрет ее конструкции будет передан ему его старшим воплощением.

Парадокс Билкера. Предположим, человек знает, каким будет его будущее, и совершает какой-то поступок, что делает существование такого будущего невозможным. Например, вы создаете машину времени, которая может унести вас в будущее, и обнаруживаете, что вам суждено жениться на женщине по имени Джейн. Однако в пику судьбе вы решаете жениться на женщине по имени Хелен, таким образом делая невозможным существование такого будущего.

Сексуальный парадокс⁶¹. Согласно этому парадоксу, вы являетесь своим собственным отцом, что невозможно биологически. Герой истории, написанной британским философом Джонатаном Гаррисоном, не только является собственным отцом, но и съедает самое себя. В классическом произведении Роберта Хайнлайна «Все вы зомби» герой одновременно и собственный отец, и мать, и дочь, и сын — то есть в нем воплощено все фамильное древо. (За подробностями обратитесь к примечаниям. Раскрыть тайну сексуального парадокса в действительности довольно сложно, поскольку это требует знаний как в области теории путешествий во времени, так и в механике ДНК.)

В «Конце вечности» Айзек Азимов рисует в своем воображении «временную полицию», которая отвечает за предотвращение подобных парадоксов. В фильме «Терминатор» сюжет основан на информационном парадоксе — ученые изучают микрочип, взятый у робота из далекого будущего, затем они создают целую расу роботов, которые наделены сознанием, и те завоевывают весь мир. Иными словами, сама конструкция этих роботов не была создана каким-либо изобретателем; она просто взята из обломков одного из роботов далекого будущего. В фильме «Назад в будущее» Майкл Дж. Фокс пытается избежать «дедушкиного парадокса», когда возвращается назад во времени и встречается со своей матерью-подростком, которая тут же влюбляется в него. Но если она отвергнет ухаживания отца Фокса, то само существование Майкла будет поставлено под угрозу.

Сценаристы охотно нарушают законы физики, создавая голливудские блокбастеры. Но в кругу физиков к таким парадоксам относятся очень серьезно. Любое решение подобных парадоксов должно быть совместимо с теорией относительности и квантовой теорией. Например, для совмещения с теорией относительности река времени должна быть бесконечной. Вы не можете запрудить реку времени. В общей теории относительности время представлено как гладкая протяженная поверхность, которую нельзя разорвать и на которой не может образоваться рябь. Топология ее может измениться, но просто так остановиться река не может. Это означает, что если вы убьете своих родителей до момента собственного рождения, то вы не исчезнете. Такой вариант развития событий противоречил бы законам физики.

В настоящее время физики делятся на две группы, поддерживая два возможных решения этих временных парадоксов. Русский космолог Игорь Новиков считает, что мы вынуждены действовать таким образом, словно парадоксы неизбежны. Его подход называется «школой непротиворечивости». Если река времени мягко поворачивает вспять и снова замыкается на самой себе, создавая водоворот, то, согласно предположениям Новикова, если мы решим вернуться назад во времени, что было бы чревато созданием временного парадокса, то некая «невидимая рука» должна вмешаться и предотвратить прыжок в прошлое. Но в подходе Новикова существуют проблемы со свободной волей. Если мы вернемся назад во времени и встретим своих собственных родителей, то можно подумать, что в своих действиях мы руководствуемся собственной волей; Новиков считает, что еще не открытый закон физики запрещает любое действие, которое изменило бы будущее (например, такое действие, как убийство собственных родителей или предотвращение факта собственного рождения). Он отмечает: «Мы не можем отправить путешественника во времени в сады Эдема, чтобы попросить Еву не рвать яблоко с дерева».

Что же это за загадочная сила, не позволяющая нам изменить прошлое и создать временной парадокс? «Такое давление на нашу волю необычно и загадочно, но все же оно имеет свои параллели, — пишет он. — Например, я могу изъявить волю прогуляться по потолку без

всякого специального снаряжения. Закон гравитации не позволит мне этого сделать; я упаду на пол, если попытаюсь это сделать, а потому моя свобода воли ограничена».

Но временные парадоксы могут происходить и тогда, когда неодушевленное вещество (вовсе не обладающее свободной волей) забрасывается в прошлое. Предположим, что перед битвой Александра Великого с царем персов Дарием III в 330 году до н. э. вы отправляете в прошлое пулеметы с инструкцией на древнеперсидском по их использованию. Мы бы потенциально изменили всю последующую европейскую историю (и, возможно, обнаружили бы, что вместо одного из европейских языков разговариваем на каком-то диалекте персидского).

По сути, даже мельчайшее вмешательство в прошлое может стать причиной самых неожиданных парадоксов в настоящем. Например, в теории хаоса используется метафора «эффект бабочки». В критические моменты формирования климата Земли достаточно малейшего трепета крыльев бабочки, чтобы пустить по воде рябь, способную нарушить баланс сил и вызвать грозу страшной силы. Даже мельчайшие неодушевленные объекты, будучи отправлены в прошлое, неизбежно изменят прошлое самым непредсказуемым образом, что станет причиной временного парадокса.

Вторым способом разрешения временного парадокса является вариант, при котором река времени мягко разветвляется на две реки, или рукава, образуя две различные Вселенные. Иными словами, если бы вы отправились в прошлое и застрелили своих родителей до момента собственного рождения, вы бы убили людей, которые генетически не отличаются от ваших родителей в альтернативной вселенной, в той, где вы никогда не родитесь. Но ваши родители в вашей родной Вселенной останутся живы.

Вторая гипотеза называется «теорией многих миров»: суть ее в том, что все возможные многочисленные миры могут существовать одновременно. Это исключает бесконечное количество расхождений, обнаруженное Хокингом[^], поскольку излучение не будет раз за разом проходить сквозь портал, как в пространстве Мизнера. Если оно и проникнет сквозь портал, то только один раз. Каждый раз, проходя сквозь портал, оно будет входить в новую вселенную.

И этот парадокс восходит, возможно, к глобальному вопросу квантовой теории: как может быть кот и живым, и мертвым в одно и то же время?

Для ответа на этот вопрос физикам пришлось принять во внимание два шокирующих решения: либо Существует Космический Разум, следящий за всеми нами, либо существует бесконечное количество квантовых вселенных.

ГЛАВА 6

Параллельные квантовые вселенные

Думаю, не ошибусь, если скажу, что никто не понимает квантовую механику.

Ричард Фейнман

Любой, кто не поражен квантовой теорией, просто ее не понимает.

Нильс Бор

Двигатель, основанный на принципе Бесконечной Невероятности, - это прекрасный новый способ пересечения огромных межзвездных расстояний за доли секунды без нудного болтания по гиперпространству.

Дуглас Адаме

Всверхпопулярном эксцентричном научно-фантастическом романе Дугласа Адамса «Автостопом по галактике» герой находит оригинальный способ путешествия к звездам. Вместо использования червоточин, гипердорог или порталов в другие измерения для путешествия в иные галактики, он решает овладеть принципом неопределенности, чтобы молниеносно преодолевать широты межгалактического пространства. Если бы мы могли каким-то образом подчинить себе вероятность определенных невероятных событий, то стало бы возможным все что угодно, в том числе путешествия со скоростью, превосходящей световую, и даже путешествия во времени. Достичь

далеких звезд за секунды маловероятно, но при условии, что вы можете управлять квантовыми вероятностями по своему усмотрению, даже невозможное может стать делом привычным.

Квантовая теория основана на том, что существует вероятность, что все возможные события могут произойти вне зависимости от того, насколько они фантастичны или глупы. Это, в свою очередь, лежит в основе инфляционной теории — в момент Большого Взрыва произошел квантовый переход в новое состояние, находясь в котором Вселенная внезапно невероятно расширилась. Видимо, вся наша Вселенная могла зародиться в результате маловероятного квантового скачка. Хотя Адаме писал в шутку, мы, физики, понимаем, что если бы можно было каким-то образом управлять этими вероятностями, то стали бы доступны трюки, неотличимые от волшебства. Но в настоящее время изменение вероятностей происхождения событий находится далеко за пределами возможностей нашей технологии.

Иногда я даю аспирантам нашего университета задания попроще, например вычислить вероятность того, что они внезапно дематериализуются и снова возникнут с другой стороны кирпичной стены. Согласно квантовой теории, существует малая, но исчисляемая вероятность того, что такое может произойти. Или, коли на то пошло, вероятность того, что мы дематериализуемся у себя в гостиной и попадем на Марс. Согласно квантовой теории, в принципе можно внезапно рематериализоваться на красной планете. Конечно же, эта вероятность настолько мала, что нам пришлось бы ждать дольше жизни Вселенной. В результате в нашей повседневной жизни мы отбрасываем вероятность таких событий. Но на субатомном уровне такие вероятности жизненно необходимы для функционирования электроники, компьютеров и лазеров.

По сути, электроны регулярно дематериализуются и рематериализуются на другой стороне стенки в запчастях ваших компьютеров и компакт-дисков. В принципе, вся современная цивилизация потерпела бы крушение, если бы электроны не могли находиться в двух местах одновременно. (Молекулы, из которых состоят наши тела, тоже распались бы, не будь этого причудливого принципа. Представьте себе столкновение двух солнечных систем в космосе, происходящее согласно законам гравитации Ньютона. Столкнувшиеся солнечные системы распались бы и превратились в кучу хаотически разбро-

санных планет и астероидов. Подобным образом, если бы атомы действовали в соответствии с законами Ньютона, они бы распадались всякий раз, врезаясь в другой атом. Два атома объединяются в молекулу именно на основе способности электронов одновременно находиться в таком огромном количестве мест, что они образуют «электронное облако», которое удерживает атомы вместе. Таким образом, молекулы устойчивы, а Вселенная не разваливается потому, что электроны могут находиться во многих местах одновременно.)

Но если электроны могут существовать в параллельных состояниях, паря на грани существования и небытия, то почему не может то же самое происходить и со Вселенной? В конце концов, в какой-то момент Вселенная была меньше, чем электрон. Признав возможность применения квантового принципа ко Вселенной, мы вынуждены принять во внимание существование параллельных вселенных.

Именно эта возможность рассматривается в волнующем научно-фантастическом романе Филиппа Дика «Человек в высоком замке». В книге существует другая вселенная, отделенная от нашей единственным кардинальным событием. В той вселенной в 1933 году история изменяется, когда пуля наемного убийцы убивает президента Рузвельта в первый год после его избрания. Его обязанности берет на себя вице-президент Гарнер, который проводит политику изоляционизма, в военном отношении ослабляющую Соединенные Штаты. Не подготовившись к атаке на Перл-Харбор и так и не оправившись после потери всего флота, Соединенные Штаты в 1947 году вынуждены подчиниться немцам и японцам. В конце концов США разделили на три части: германский рейх контролировал восточное побережье, японцы — западное побережье, между которыми находилась тревожная граница — штаты Скалистых Гор. В этой параллельной вселенной загадочный человек пишет книгу под названием «Саранча садится тучей», основанную на цитате из Библии, запрещенной нацистами. В книге говорится о другой вселенной, где Рузвельта не убивают, а Британия и Соединенные Штаты побеждают нацистов. Миссия героини заключается в том, чтобы выяснить, есть ли правда другая вселенная, где царят свобода и демократия, а не тирания и расизм.

Сумеречная зона

Мир «Человека в высоком замке» и наш разделены крошечным несчастным случаем, одной-единственной пулей, вылетевшей из ружья убийцы-наемника. Однако возможно также, что параллельный мир может отделять от нашего ничтожное возможное событие: одно-единственное квантовое событие, воздействие космического луча.

В одном из эпизодов сериала «Сумеречная зона» человек просыпается и обнаруживает, что жена не узнает его. Она с криком выгоняет его, угрожая тем, что вызовет полицию. Бродя по городу, человек выясняет, что и закадычные друзья также не узнают его, будто бы он никогда и не существовал. В конце концов он заходит в гости к своим родителям; это посещение потрясает его до глубины души. Родители заявляют, что они видят его впервые и вообще у них никогда не было сына. Оставшись без семьи, друзей и дома, герой бесцельно бродит по городу и в конце концов, как бездомный, засыпает на скамье в парке. Проснувшись на следующий день, он обнаруживает, что снова лежит в удобной постели рядом со своей женой. Однако, когда жена поворачивается к нему лицом, он с ужасом видит, что это вовсе не его жена, а совершенно незнакомая женщина, которой он никогда прежде не видел.

Возможны ли такие абсурдные ситуации? Может быть. Если бы главный герой «Сумеречной зоны» задал несколько откровенных вопросов своей матери, то, возможно, узнал бы, что она перенесла выкидыш, а потому у нее действительно никогда не было сына. Иногда один-единственный космический луч, одна-единственная частица из открытого космоса может проникнуть глубоко в ДНК эмбриона и стать причиной мутации, которая в конце концов вызовет выкидыш. В таком случае одно-единственное квантовое событие может разделить два мира — тот, где вы живете и являетесь нормальным полезным гражданином, и еще один, абсолютно идентичный первому, где вы так и не были рождены.

Перемещение между этими мирами *находится в соответствии с* законами физики. Но оно чрезвычайно маловероятно; вероятность того, что это случится, астрономически мала. Однако, как вы видите, квантовая теория дает нам картину намного более странной вселенной, чем та, которую подарил нам Эйнштейн. В теории относитель-

ности сцена жизни, на которой мы играем свои роли, может быть сделана из резины, и актеры передвигаются между декорациями по кривой. Как и в мире Ньютона, актеры в мире Эйнштейна повторяют строчки своих написанных заранее ролей. Но в «квантовой» пьесе актеры внезапно выбрасывают свои сценарии и начинают играть по своей собственной воле. Марионетки обрывают свои нитки. Устанавливается царство свободной воли. Актеры могут исчезать и снова появляться на сцене. Что еще более странно, они могут обнаруживать, что появляются в двух местах одновременно. Произнося свои реплики, актер никогда не может быть уверен, что партнер внезапно не исчезнет и не появится в другом месте.

Исполинский ум: Джон Уилер

За исключением разве что Эйнштейна и Бора, никто не вел более горячей борьбы с нелепостями и успешными моментами квантовой теории, чем Джон Уилер. Является ли физическая реальность всего лишь иллюзией? Существуют ли параллельные квантовые вселенные? В прошлом, не вдаваясь в подробности этих упрямых квантовых парадоксов, Уилер применял эти вероятности для конструирования атомной и водородной бомб, а также был пионером в изучении черных дыр. Джон Уилер был последним из гигантов, или, как когда-то назвал их его студент Ричард Фейнман, «исполинских умов», который и до сих пор борется с безумными следствиями квантовой теории.

Именно Уилер предложил термин «черная дыра» в 1967 году в Нью-Йорке на конференции в Институте космических исследований им. Годдарда, NASA, после открытия первых пульсаров.

Уилер родился в 1911 году в Джексонвилле (штат Флорида). Его отец был библиотекарем, но инженерия была в крови у членов семьи. Три его дяди были горными инженерами и в своей работе часто использовали взрывчатые вещества. Сама идея использования динамита глубоко захватила Джона, он обожал наблюдать за взрывами. (Однажды он неосторожно экспериментировал с куском динамита и тот случайно взорвался прямо у него в руке, оторвав один палец и фалангу другого. По случайному совпадению, когда Эйнштейн учился в школе, с ним произошел подобный случай: из-за его неосторожности

взрыв произошел прямо у него в руке, и потребовалось наложить несколько швов.)

В детстве Уилер был развит не по годам, он овладел основами математики и глотал все книги, какие ему только удавалось найти, по новой теории, о которой не переставая говорили его друзья, — квантовой механике. Прямо на его глазах новая теория переживала свое становление в Европе, ее разработкой занимались Нильс Бор, Вернер Гейзенберг и Эрвин Шрёдингер, внезапно раскрывший секреты атома. Всего лишь несколько лет назад последователи философа Эрнста Маха поднимали на смех саму идею существования атомов, утверждая, что никогда еще атомы не удавалось наблюдать в лабораторных условиях и что вообще они наверняка были всего лишь выдумкой. Чего нельзя увидеть, то и существовать наверняка не может, утверждали они. Великий немецкий физик Людвиг Больцман, заложивший основы термодинамики, покончил жизнь самоубийством в 1906 году отчасти из-за постоянных насмешек, с которыми ему приходилось иметь дело, проводя в жизнь концепцию атомов.

Затем всего за пару лет, с 1925 по 1927 годы, было раскрыто множество секретов атомов. Современная история не знала случаев, чтобы прорывы такого масштаба были совершены за столь краткий промежуток времени (за исключением работы Эйнштейна в 1905 году). Уилер хотел принять участие в этом перевороте. Но он понимал, что Соединенные Штаты оставались за бортом достижений в области физики: в пределах страны не было ни единого физика мирового масштаба. Подобно Дж. Роберту Оппенгеймеру до него, Уилер уехал из Соединенных Штатов и отправился в Копенгаген, чтобы учиться у самого Маэстро — Нильса Бора.

Эксперименты по изучению электронов показали, что электроны действуют и как частицы, и как волны. Секрет этой странной двойственности был в конце концов раскрыт квантовыми физиками: совершая свой танец вокруг атома, электрон виделся частицей, но эту частицу сопровождала загадочная волна. В 1925 году австрийский физик Эрвин Шрёдингер предложил уравнение (знаменитое уравнение Шрёдингера), которое в точности описывало движение волны, сопровождающей электрон. Эта волна, обозначаемая греческой буквой ψ , с ошеломительной точностью прогнозировала поведение атомов, что стало первой искрой, от которой вспыхнул

пожар революции в физике. Внезапно, основываясь на самом элементарном знании, стало возможно взглянуть в атом и вычислить, сколько электронов танцуют на своих орбитах, совершая переходы и соединяя атомы в молекулы.

Квантовый физик Поль Дирак хвастливо пообещал, что физики скоро сведут всю химию к простой инженерии. Он заявил: «Основополагающие физические законы, составляющие математическую базу большей части физики и всей химической науки, уже известны. Единственная трудность состоит в том, что применение этих законов приводит к получению слишком сложных и не поддающихся решению уравнений». Как ни была внушительна эта ψ -функция, до сих пор оставалось загадкой, что же именно она представляла.

В конце концов в 1928 году Макс Борн выдвинул идею о том, что эта волновая функция представляла вероятность обнаружения электрона в любой заданной точке. Иными словами, вы никогда не могли быть точно уверены, где находится электрон; максимум того, что вы могли сделать, — это вычислить его волновую функцию, которая давала вероятность его нахождения именно «там». Итак, если атомная физика могла быть сведена к волнам вероятности нахождения электрона «там» или «тут» и если электрон, по-видимому, мог находиться в двух местах одновременно, то как же нам в конце концов определить, где он действительно находится?

Бор и Гейзенберг в конце концов сформулировали полный набор рецептов в кулинарной книге физики, которые сработали в атомных экспериментах с потрясающей точностью. Волновая функция дает информацию только о вероятности того, что электрон находится «тут» или «там». Если для какой-то точки волновая функция велика, то это означает высокую вероятность того, что электрон находится именно там. (Если она мала, то маловероятно, что электрон находится там.) Например, если бы мы могли «видеть» волновую функцию человека, то она выглядела бы очень похожей на этого человека. Однако волновая функция также плавно распространяется и на космос, а это значит, что существует малая вероятность того, что человек окажется на Луне. (По сути, волновая функция человека распространяется по всей Вселенной.)

Это также означает, что волновая функция дерева может сообщить вам информацию о вероятности того, стоит ли оно или падает,

но она не может определенно ответить вам на вопрос, в каком же состоянии оно действительно находится. Но здравый смысл говорит нам, что объекты находятся в каком-то определенном состоянии. Когда вы смотрите на дерево, оно определенно находится перед вами — либо стоит, либо падает, но не делает и того, и другого одновременно.

Чтобы разрешить несовпадения между волнами вероятности и представлением о существовании, диктуемым нашим здравым смыслом, Бор и Гейзенберг предположили, что после измерения, совершенного далеким наблюдателем, волновая функция волшебным образом «коллапсирует» и электрон впадает в определенное состояние — то есть, посмотрев на дерево, мы видим, что оно действительно стоит. Иными словами, процесс наблюдения определяет конечное состояние электрона. Наблюдение жизненно необходимо для существования. После того как мы взглянем на электрон, его волновая функция коллапсирует; таким образом, он теперь находится в определенном состоянии и больше нет нужды в волновых функциях.

Итак, постулаты копенгагенской школы Бора можно суммировать приблизительно в следующем виде:

1. Вся энергия встречается в виде отдельных пучков энергии, называемых квантами. (Например, квантом света является фотон. Кванты слабого взаимодействия называются W- и Z-бозонами, квантом сильного взаимодействия является глюон, а квант гравитации называется гравитоном, который нам еще предстоит увидеть в лабораториях.)
2. Вещество представлено точечными частицами, но вероятность обнаружения этой частицы определяется волной. Сама волна, в свою очередь, подчиняется определенному волновому уравнению (такому, как волновое уравнение Шрёдингера).
3. Перед наблюдением объект существует во всех возможных состояниях одновременно. Чтобы определить, в каком состоянии находится объект, нам необходимо провести наблюдение, в результате которого волновая функция «коллапсирует» и объект входит в определенное состояние. Сам акт наблюдения уничтожает волновую функцию, и объект приобретает реаль-

ную определенность. Волновая функция служит своей цели: она дает нам точную вероятность обнаружения данного объекта в конкретном состоянии.

Детерминизм или неопределенность?

Квантовая теория является самой успешной физической теорией всех времен. Совершенной формулировкой квантовой теории является Стандартная модель, в которой представлены плоды десятилетий экспериментов с ускорителями частиц. Некоторые части этой теории были проверены с точностью до миллиардных долей. Если включить сюда массу нейтрино, то Стандартная модель соответствует всем экспериментам с субатомными частицами без исключения.

Но независимо от того, насколько успешна квантовая теория, экспериментально она основана на постулатах, вызвавших целую бурю философских и теологических споров на протяжении последних 80 лет. В частности, второй постулат вызвал гнев церкви, поскольку в нем содержится вопрос о том, кто решает наши судьбы. На протяжении веков философов, теологов и ученых волновало будущее, а также вопрос, возможно ли каким-либо образом узнать об ожидающих нас судьбах. В шекспировском «Макбете» Банко, отчаявшись приподнять завесу, скрывающую будущее, произносит памятные строки:

Когда ваш взор, в посев времен проникнув,
Грядущих всходов зерна различит.
Скажите мне!
(Акт 1, Сцена 3*)

Шекспир написал эти слова в 1606 году. 80 лет спустя еще один англичанин, Исаак Ньютон, имел дерзость заявить, что ему известен ответ на этот древний вопрос. И Ньютон, и Эйнштейн верили в концепцию, называемую детерминизмом, которая утверждает, что все грядущие события могут быть определены в принципе. С точки зрения Ньютона, Вселенная представляла собой гигантские часы,

* Перев. С. М. Соловьева.

которые Бог завел в начале времен. С тех пор они тикают, подчиняясь трем законам механики самым предсказуемым образом. Французский математик Пьер Симон де Лаплас, который был ученым советником Наполеона, писал, что, используя законы Ньютона, можно предсказать будущее с той же точностью, с которой мы рассматриваем наше прошлое. Он написал, что если бы существо могло знать положение и скорость всех частиц во Вселенной, то «для такого интеллекта ничто не было бы неопределенным и будущее, как и наше прошлое, предстало бы перед нашими глазами». Когда Лаплас подарил Наполеону экземпляр своего шедевра, «Небесной механики», император заметил: «Вы написали эту огромную работу о небесах и ни разу не упомянули Бога». Лаплас отвечал: «Сир, у меня не было нужды в этой гипотезе».

Для Ньютона и Эйнштейна понятие свободной воли, того, что мы хозяева собственной судьбы, было лишь иллюзией. Это банальное понятие реальности, где конкретные объекты, до которых мы можем дотронуться, реальны и существуют в определенных состояниях, Эйнштейн назвал «объективной реальностью». Он в высшей степени ясно изложил свою позицию в нижеследующем отрывке:

Я детерминист, вынужденный действовать таким образом, будто свободная воля существует, поскольку если я хочу жить в цивилизованном обществе, то мне необходимо действовать соответственно. Я знаю, что с философской точки зрения на убийце не лежит ответственность за его преступления, но я бы не стал распивать с ним чай. Мою карьеру определили различные силы, над которыми я не властен, в первую очередь те загадочные железы, в которых природа готовит самую сущность жизни. Генри Форд может назвать это своим Внутренним Голосом, Сократ определил это как своего демона: каждый человек по-своему объясняет тот факт, что человеческая воля не свободна... Все определено... силами, над которыми мы не властны... в равной степени для насекомого и для звезды. Человеческие существа, овощи или космическая пыль — все мы танцуем под загадочное время, модулируемое где-то невидимым исполнителем.

Теологи также боролись с этим вопросом. Большинство мировых религий верит в какую-то форму предопределенности, идею о том,

что Бог не только всемогущ и вездесущ, но также всезнающ (ему известно все, даже будущее). В некоторых религиях это означает, что Богу известно, отправимся мы в ад или в рай, еще до нашего рождения. По сути, где-то на небесах существует «книга судеб», где перечислены все наши имена, даты рождения, наши провалы и триумфы, радости и поражения, даже даты смерти и будем ли мы жить в раю или будем осуждены на вечные муки.

(Этот тонкий теологический вопрос предопределенности частично способствовал расколу католической церкви в 1517 году, когда Мартин Лютер приколол 95 тезисов на дверях церкви в Виттенберге. В этом документе он критиковал практику продажи церковью индульгенций — в сущности, взятки, которые мостили дорогу в рай богатым. Казалось, Лютер говорил, что, возможно, Богу известно наше будущее наперед и наши судьбы предопределены, но Бога нельзя убедить поменять свое решение, сделав щедрое пожертвование на нужды церкви.)

Но для физиков, принимающих концепцию неопределенности, наиболее противоречивым постулатом является третий, причина головной боли целых поколений физиков и философов. «Наблюдение» — это неопределенный слабовыраженный концепт. Более того, он полагается на тот факт, что в действительности существуют два типа физики: одна для причудливого субатомного мира, где электроны, видимо, могут находиться в двух местах одновременно, и вторая — для макроскопического мира, в котором мы живем и который, видимо, подчиняется законам Ньютона, основанным на здравом смысле.

По Бору, существует невидимая «стена», отделяющая мир атомов от обыденного знакомого макроскопического мира. В то время как в мире атомов действуют причудливые правила квантовой теории, мы живем с другой стороны стены, в мире четко определенных планет и звезд, где волны уже коллапсировали.

Уилеру, которому преподавали квантовую механику сами ее создатели, нравилось суммировать взгляды представителей этих двух школ. Он приводит пример трех судей на бейсбольном матче, которые обсуждают тончайшие правила игры. Вынося решение, трое судей говорят:

Первый: Я называю их так, как вижу.

Второй: Я называю их тем, чем они *являются*.

Третий: Они — *ничто* до тех пор, пока я не назову их.

Для Уилера второй судья — это Эйнштейн, который верил в существование абсолютной реальности за пределами человеческого опыта. Эйнштейн называет это «объективной реальностью», то есть идеей, согласно которой объекты могут существовать в различных состояниях без вмешательства человека. Третий судья — это Бор, который считал, что реальность существует только после того, как имело место наблюдение.

Деревья в лесу

Физики иногда относятся к философам с некоторым пренебрежением, цитируя римлянина Цицерона, который когда-то сказал: «Не существует ничего абсурдного настолько, чтобы философы этого не произнесли». Математик Станислав Улам, который с пессимизмом относился к тому, что глупейшим концептам присваивались возвышенные имена, однажды сказал: «Безумие — это способность проводить четкие грани между различными видами вздора». Сам Эйнштейн однажды сказал по поводу философии: «Разве не похоже, что вся философия будто написана на меду? При созерцании она смотрится чудесно, но взглянув снова, вы видите, что все исчезло. Остается только густая масса».

Физики также любят рассказывать апокрифическую историю о некоем ректоре университета, который пришел в ярость, увидев финансовую смету для физического, математического и философского факультетов. Он сказал: «Почему это физикам все время нужно столько дорогостоящего оборудования? Вот смотрите, для математического факультета нужны деньги только на бумагу, карандаши и корзины для бумаг, а что касается факультета философии, так там дело обстоит еще лучше. Им даже не нужны корзины для бумаг».

Однако может случиться так, что смеяться последними будут все же философы. Квантовая теория не завершена и покоится на шатком философском основании. Эти квантовые расхождения требуют

пересмотра работ таких философов, как епископ Беркли, который в XVIII веке заявил, что объекты существуют только потому, что есть люди, которые на них смотрят; такое философское течение называется солипсизмом или идеализмом. Если в лесу падает дерево, но нет никого, кто бы это увидел, то в действительности оно не падает, заявляют приверженцы такого подхода.

Теперь мы имеем дело с квантовой реинтерпретацией деревьев, падающих в лесу. До того как совершается акт наблюдения, вы не знаете, упало дерево или нет. В сущности, дерево существует во всех возможных состояниях одновременно: оно может быть сожжено, свалено, распилено на дрова и опилки и так далее. Когда происходит наблюдение, дерево внезапно попадает в определенное состояние, и мы видим, что оно, к примеру, упало.

Сравнивая философские трудности теории относительности и квантовой теории, Фейнман однажды заметил: «Было время, когда в газетах писали, что всего лишь двенадцать человек понимают теорию относительности. Я не верю, что такое время было... С другой стороны, думаю, не ошибусь, если скажу, что никто не понимает квантовую механику». Он пишет, что квантовая механика «описывает природу как нелепицу с точки зрения здравого смысла. И это полностью согласуется с экспериментальной базой. Так что, я надеюсь, вы можете принимать природу такой, какая она есть, — нелепой». Это вызвало чувство неловкости у многих физиков-практиков, которые чувствуют себя так, будто строят целые миры на зыбучих песках. Стивен Вайнберг пишет: «Я признаю, что есть некоторый дискомфорт в том, что всю жизнь я работаю с теоретической основой, которая никому до конца не понятна».

В традиционной науке наблюдатель пытается оставаться, глядя на мир, настолько беспристрастным, насколько это возможно. (Как сказал один остряк, «Вы всегда можете вычислить ученого в стрип-клубе, поскольку он один смотрит не на подиум, а на публику».) Но сейчас мы впервые видим, что невозможно разделить наблюдателя и предмет его наблюдения. Как однажды заметил Макс Планк, «Наука не может окончательно разрешить загадку Природы. Причина заключена в том, что в конечном счете мы сами часть той загадки, которую пытаемся разрешить».

Проблема кота

Эрвин Шрёдингер, который, собственно, и ввел волновое уравнение, считал, что все это зашло слишком далеко. Он признался Бору, что] сожалеет о том, что вообще ввел понятие волны, раз за ним в физику проник концепт вероятности.

Чтобы уничтожить идею вероятностей, он предложил следующий эксперимент. Представьте, что в ящике сидит кот. Внутри также находится бутылка с ядовитым газом, соединенная с молотом, который, в свою очередь, соединен со счетчиком Гейгера, помещенным рядом с куском урана. Никто не станет оспаривать тот факт, что радиоактивный распад атома урана — чисто квантовое событие, которое не может быть предсказано наперед. Пусть существует 50-процентная вероятность того, что распад начнется в следующую секунду. Но если начнется распад атома урана, то запустится счетчик Гейгера, который освободит молот, который разобьет бутылку, что станет причиной смерти кота. До того как вы откроете коробку, нельзя сказать, жив кот или мертв. В сущности, для того, чтобы описать кота, физики добавляют волновую функцию к мертвому коту и живому коту — то есть мы помещаем кота в жуткое состояние, где он на 50 % жив и на 50 % мертв одновременно.

Теперь откроем коробку. Как только мы взглянем внутрь, совершится акт наблюдения, произойдет коллапс волновой функции и мы увидим, что кот, к примеру, жив. Шрёдингеру все это казалось глупостью. Как может быть кот жив и мертв одновременно только потому, что мы на него не смотрим? Он начинает внезапно существовать, как только мы взглянем на него? Эйнштейну тоже не нравилась такая интерпретация. Когда к нему домой приходили гости, он говорил: посмотрите на луну. Неужели она внезапно начинает существовать, когда на нее взглянет мышь? Эйнштейн считал, что ответ на этот вопрос может быть только отрицательный. Но в каком-то смысле ответ мог быть и утвердительным.

История эта достигла апогея в историческом столкновении Эйнштейна и Бора на Сольвеевском конгрессе в 1930 году. Позднее Уилер заметит, что это был величайший известный ему спор в истории мысли. Он скажет, что за тридцать лет он никогда не слышал спора двух более великих людей по более глубокому вопросу,

который имел бы более серьезные последствия для понимания Вселенной.

Эйнштейн, неизменно отважный, дерзкий и в высшей степени красноречивый, предложил ряд «мысленных экспериментов», направленных на разрушение квантовой теории. Бор, беспрерывно бормотавший, после каждой атаки понемногу сдавал свои позиции. Физик Поль Эренфест заметил: «Замечательно, что я был свидетелем диалогов между Бором и Эйнштейном, будто шахматист, сталкивающийся все с новыми и новыми ситуациями. Как некий вечный двигатель, намеренный прорвать завесу неопределенности, Бор все время выискивал в облаке философии средства опровергнуть примеры один за другим. Эйнштейн был каждое утро свеж, будто чертик, выскакивающий из коробочки. О, это было прекрасно. Но я практически безоговорочно за Бора и против Эйнштейна. Сегодня он ведет себя по отношению к Бору точно так же, как чемпионы абсолютной одновременности вели себя по отношению к нему самому».

Наконец Эйнштейн предложил эксперимент, который, по его мнению, должен был нанести завершающий удар по квантовой теории. Представьте, что в коробочке содержатся фотоны в виде газа. Если в коробке есть затвор-диафрагма, то оттуда может вылететь один фотон. Раз можно точно измерить скорость затвора, а также энергию фотона, то таким образом можно определить состояние фотона с бесконечной точностью, что противоречит принципу неопределенности.

Эренфест писал: «Для Бора это оказалось тяжким ударом. На тот момент он не видел решения. Он был очень расстроен весь вечер, ходил от одного к другому, пытаясь убедить всех, что это не может быть правдой, потому что если Эйнштейн прав, то это означало бы конец физики как таковой. Но он никак не мог придумать опровержение. Я никогда не забуду зрелище, которое являли собой два оппонента, покидая университетский клуб. Эйнштейн, величественная фигура, спокойно шагал с легкой иронической улыбкой, а Бор семенял рядом с ним, чрезвычайно расстроенный».

Когда несколько позже Эренфест встретил Бора, тот был неразговорчив; он только снова и снова повторял одно слово: «Эйнштейн... Эйнштейн... Эйнштейн».

На следующий день, после напряженной бессонной ночи, Бор смог найти крошечный изъян в аргументах Эйнштейна. После испускания фотона коробка становилась чуть легче, поскольку вещество и энергия были эквивалентны. Это означало, что коробка чуть полнилась малась под действием силы гравитации, поскольку, согласно теории гравитации самого Эйнштейна, энергия также обладала весом. Если вычислить неопределенность в весе и неопределенность в скорости затвора, то обнаруживалось, что коробка в точности повиновалась принципу неопределенности. По сути, Бор воспользовался теорией гравитации Эйнштейна, чтобы аргументы Эйнштейна же опровергнуть! Бор победил, Эйнштейн потерпел поражение.

Говорят, что, когда позднее Эйнштейн пожаловался, что «Бог не играет в *урстн* с миром», Бор ему ответил: «Не нам указывать Богу, что Ему делать». В конечном счете Эйнштейн признал, что Бор успешно опроверг его аргументы. Эйнштейн написал: «Я убежден, что в этой теории, несомненно, содержится зерно истины». (Однако Эйнштейн с пренебрежением относился к физикам, которые были не в состоянии оценить тонкие парадоксы, присущие квантовой теории. Однажды он написал: «Конечно, сегодня каждый плут считает, что знает ответ, но он обманывает сам себя».)

После этого спора, а также других споров с квантовыми физиками Эйнштейн в конце концов сдался, но он избрал другой подход. Он признал, что квантовая теория верна, но лишь в определенной области, только в качестве приближенности к истине. Он хотел, чтобы квантовая теория оказалась поглощена более общей и сильной теорией — теорией поля, подобно тому как теория относительности обобщала (но не уничтожала) теорию Ньютона.

(Однако этот спор между Эйнштейном и Шрёдингером с одной стороны и Бором и Гейзенбергом с другой нельзя так просто сбрасывать со счетов, поскольку все эти «мысленные эксперименты» теперь осуществимы в лабораториях. Хотя ученые не могут добиться того, чтобы кот был одновременно жив и мертв, они могут управлять отдельными атомами при помощи нанотехнологий. Недавно эти самые сложные эксперименты были проведены с наночастицей C₆₀, известной как бакибол (*Buckyball*), содержащей 60 атомов углерода, а потому воздвигнутая Бором «стена», разделяющая большие объекты и квантовые, стремительно разрушается. Физики-эксперимен-

таторы сейчас размышляют над тем, что потребовалось бы для того, чтобы показать, что вирус, состоящий из тысяч атомов, может находиться в двух местах одновременно.)

Бомба

Самым неудачным образом все рассуждения по поводу этих занимательных парадоксов были прерваны выдвижением Гитлера в канцлеры в 1933 году и лихорадочной гонкой по созданию первой атомной бомбы. В течение многих лет было известно (из знаменитого уравнения Эйнштейна $E = mc^2$), что атом является закрытым хранилищем огромных количеств энергии. Но большинство физиков несерьезно относились к мысли об использовании этой энергии. Даже Эрнст Резерфорд, человек, открывший ядро атома, сказал: «Энергия, освобождаемая при разбивании ядра атома, очень незначительна. Любой, кто рассчитывает найти источник энергии в трансформации атомов, несет вздор».

В 1939 году Бор предпринял судьбоносную поездку в Соединенные Штаты, приземлившись в Нью-Йорке для встречи со своим учеником Джоном Уилером. Бор вез зловещие новости: Отто Хан и Лиз Майтнер доказали, что атом урана можно разбить надвое; в этом процессе, называемом расщеплением атома, освобождалась энергия. Бор и Уилер начали разрабатывать квантовую динамику ядерного деления. Поскольку все в квантовой теории основано на вероятности и случайности, они вычислили вероятность того, что нейтрон расщепит ядро урана, освободив тем самым два или более нейтронов, которые, в свою очередь, расщепят еще большее количество ядер атомов урана, в результате чего освободится еще больше нейтронов, и так далее, что запустит цепную реакцию, способную разрушить целый город. (В квантовой механике никогда не знаешь, расщепит ли отдельный конкретный нейтрон атом урана, но можно с невероятной точностью вычислить вероятность того, что миллиарды атомов урана расщепятся в бомбе. В этом и состоит сила квантовой механики.)

Их квантовые расчеты показали, что существование атомной бомбы вполне возможно. Два месяца спустя Бор, Юджин Вигнер, Лео Сцилард и Уилер встретились в старом кабинете Эйнштейна в Принстоне, чтобы обсудить перспективы создания атомной бомбы.

Бор считал, что для создания бомбы понадобятся ресурсы всей нации. (Несколько лет спустя Сцилард убедит Эйнштейна написать судьбоносное письмо Президенту Франклину Рузвельту, где настоятельно рекомендовалось сконструировать атомную бомбу)

В том же году нацисты, узнав о том, что огромное количество энергии, испускаемое атомом урана, может дать им непобедимое оружие, велели ученику Бора Гейзенбергу создать атомную бомбу для Гитлера. Неожиданно все разговоры о квантовых вероятностях распада стали в высшей степени серьезными: на карту была поставлена судьба всего человечества. На смену спорам о вероятности обнаружения живых котлов пришли споры о вероятности расщепления урана.

В 1941 году, когда нацисты держали под контролем большую часть Европы, Гейзенберг тайно навестил своего старого преподавателя Бора в Копенгагене. До сих пор завеса тайны покрывает то, в каком ключе проходила их беседа; об этом написаны отмеченные наградами пьесы, а историки до сих пор спорят о содержании встречи. Предлагал ли Гейзенберг саботировать создание германской атомной бомбы? Или, наоборот, он пытался завербовать Бора для работы по созданию атомной бомбы для нацистов? В 2002 году, шесть десятилетий спустя, завеса тайны над намерениями Гейзенберга была частично приподнята, когда родные Бора опубликовали письмо Бора, написанное Гейзенбергу уже в 50-е годы, но так и не отправленное. В письме Бор вспоминал, что на той встрече Гейзенберг назвал победу нацистов неизбежной. Поскольку остановить непробиваемую машину нацизма нельзя, то было бы только логично, если бы Бор работал на нацистов.

Бор был потрясен и шокирован до глубины души. Дрожа от негодования, он отказался отдать свою работу над квантовой теорией в руки нацистов. Поскольку Дания находилась под контролем нацистов, Бор спланировал тайный побег на самолете, во время которого он чуть не задохнулся из-за нехватки кислорода.

А тем временем в Колумбийском университете Энрико Ферми доказал, что ядерная цепная реакция осуществима. Придя к этому выводу, он окинул взглядом Нью-Йорк и осознал, что одна-единственная бомба может полностью уничтожить знаменитый город. Когда Уилер увидел, как высоко поднялись ставки, он добровольно

оставил Принстон и присоединился к Ферми в лаборатории под университетским стадионом Стэгг-Филд в Чикаго, где они вместе создали первый ядерный реактор, тем самым ознаменовав официальное начало ядерной эпохи.

На протяжении последовавших десяти лет Уилеру выпало стать свидетелем самых важных событий в ходе атомной войны. Во время войны он помогал контролировать строительство исполинского ядерного центра в Хэнфорде (штат Вашингтон), где вырабатывался сырой плутоний, необходимый для создания бомб, которые затем уничтожили Нагасаки. Еще через несколько лет он работал над созданием водородной бомбы и в 1952 году стал свидетелем первого ее взрыва, а также разрушений, вызванных сбросом кусочка Солнца на небольшой островок в Тихом океане. Однако, более десяти лет пробыв на первых страницах истории, в конце концов Уилер все же вернулся к своей первой любви — загадкам квантовой теории.

Суммирование по траекториям

Одним из многих учеников Уилера в послевоенные годы был Ричард Фейнман, который нашел, возможно, простейший и в то же время самый глубокий способ суммировать сложности квантовой теории. (Одним из следствий стало присуждение Фейнману Нобелевской премии в 1965 году.) Представим, что вы хотите пройти через комнату. По Ньютону, вы просто-напросто выберете кратчайший путь от точки А к точке Б, называемый классическим. Но по Фейнману, прежде всего вы должны учесть все возможные пути, соединяющие точки А и Б. Это означает, что вы должны принять во внимание пути, которые приведут вас на Марс, Юпитер, к ближайшей звезде, даже те пути, которые ведут назад во времени, к моменту Большого Взрыва. Не имеет значения, насколько сумасшедшими и причудливыми будут эти пути, — вы все равно должны их учитывать. Затем Фейнман приписал каждому пути определенную величину, а также привел свод точных правил, руководствуясь которыми можно было бы эту величину определить. Самым чудесным образом, сложив эти величины всех возможных путей, вы находите вероятность перехода из точки А в точку Б, которая дается обычной квантовой механикой. Это было поистине замечательно.

Фейнман обнаружил, что сумма этих величин, приписываемых причудливым и противоречащим законам Ньютона путям, обычно уравнивалась и давала небольшое число. Такова была природа квантовых флуктуации — они представляли пути, сумма которых была очень мала. Но Фейнман также обнаружил, что избранный на основе здравого смысла ньютоновский путь не уравнивался, а обладал максимальной итоговой величиной — это был путь с наибольшей вероятностью. Таким образом, наше представление о физической вселенной, основанное на здравом смысле, является просто-напросто наиболее вероятным состоянием из бесконечного количества возможных. Но мы сосуществуем со всеми возможными состояниями, некоторые из них перенесли бы нас в эпоху динозавров, к ближайшей сверхновой или на окраину Вселенной. (Эти причудливые пути создают мельчайшие отклонения от ньютоновского пути, избранного на основе здравого смысла, но, к счастью, обладают очень малой вероятностью.)

Иными словами, как бы странно это ни выглядело, каждый раз, как вы идете через комнату, ваше тело заблаговременно «обнюхивает» все возможные пути, даже те, что ведут к далеким квазарам и Большому Взрыву, а затем все их складывает. Используя мощный математический аппарат, называемый функциональным интегрированием, Фейнман показал, что ньютоновский путь — всего лишь наиболее вероятный, но не единственный. Совершив блестящий математический подвиг, Фейнман смог доказать, что эта картина, какой бы ошеломляющей она ни казалась, полностью эквивалентна обычной квантовой механике.

Сила фейнмановского «суммирования по траекториям» состоит в том, что сегодня, когда мы формулируем теории ТВО, теорию инфляции и даже струнную теорию, мы пользуемся подходом Фейнмана, основанным на интегралах по траекториям. Этот метод преподается сейчас во всех университетах мира и на сегодняшний день является самым эффективным и удобным способом формулировки квантовой теории.

(Я сам каждый день в своих исследованиях пользуюсь подходом Фейнмана, основанным на обобщении интегралов по траекториям. Каждое уравнение, которое я пишу, выводится на основе суммирования по траекториям. Когда в бытность студентом я впервые узнал

о подходе Фейнмана, он изменил все мое ментальное представление о вселенной. Умом я понимал абстрактную математику квантовой теории и общей теории относительности, но изменила мое мировоззрение именно та идея, что, просто проходя по комнате, я каким-то образом исследую пути, которые могут привести меня на Марс или к далеким звездам. Внезапно у меня появилась странная новая мысленная картина — самого себя, живущего в этом квантовом мире. Я начал понимать, что квантовая теория намного более заумна, чем самые сложные следствия теории относительности.)

Когда Фейнман разработал эту причудливую формулировку, Уилер, который тогда был в Принстонском университете, бросился в Институт передовых исследований к Эйнштейну, чтобы попытаться убедить его в элегантности и мощи этой новой картинки. Уилер взволнованно объяснил Эйнштейну новую теорию Фейнмана об обобщении интегралов по траекториям. Он не осознавал полностью, насколько дико эти слова прозвучали для Эйнштейна. Впоследствии Эйнштейн качал головой и повторял, что он все же не верит в то, что Бог играет в кости с миром. Эйнштейн признался Уилеру, что мог и ошибаться, но настаивал на том, что он вполне заработал себе право ошибаться.

Друг Вигнера

Большинство физиков пожимают плечами и разводят руками, сталкиваясь с заумными парадоксами квантовой механики. Для большинства практикующих ученых квантовая механика — это набор кулинарных правил, результатом применения которых являются правильные вероятности, определяемые со сверхъестественной точностью. Джон Полкингхорн, физик, ставший священником, сказал: «Средний квантовый механик философичен не в большей мере, чем обычный механик».

Однако некоторые из глубочайших физиков-мыслителей боролись с этими вопросами. Например, существует несколько способов разрешения шрёдингеровской проблемы кота. Первый был предложен Нобелевским лауреатом Юджином Вигнером и другими — *сознание определяет существование*. Вигнер написал, что «невозможно было полностью последовательно сформулировать законы квантовой ме-

ханики без учета сознания [наблюдателя]... само изучение внешнего мира вело к заключению, что содержание сознания является высшей реальностью». Или, как когда-то написал поэт Джон Ките, «Ничто не реально до тех пор, пока не испытано».

Но если я совершаю наблюдение, то что должно определить, в каком состоянии нахожусь я? Это означает, что кто-то еще должен наблюдать за мной, заставляя мою волновую функцию коллапсировать. Иногда этого «кого-то» называют «другом Вигнера». Но это также означает, что кто-то должен наблюдать и за другом Вигнера, и за другом друга Вигнера, и так далее. Существует ли космический Разум, определяющий, наблюдая за всей Вселенной, полную последовательность «друзей»?

Андрей Линде, один из создателей инфляционной теории, — представитель тех физиков, которые упорно верят в центральную роль сознания:

Я как человеческое существо не вижу ни единого довода, на основании которого я мог бы заявить, что Вселенная находится здесь в отсутствие наблюдателей. Мы вместе — мы и Вселенная. Когда говорят, что Вселенная существует без всяких наблюдателей, я не вижу в этом никакого смысла. Я не могу представить связную теорию всего, в которой игнорируется сознание. Записывающее устройство не может играть роль наблюдателя, поскольку кто прочтет то, что записано на этом устройстве? Чтобы мы увидели, что что-либо происходит, и сказали друг другу, что что-либо происходит, нужна Вселенная, нужно записывающее устройство, нужны мы... В отсутствие наблюдателей Вселенная мертва...

Согласно философии Линде, окаменелости динозавров не существуют до тех пор, пока на них не взглянешь. Но если на них взглянуть, то они «впрыгивают» в существование, как будто они существовали миллионы лет назад. (Физики, придерживающиеся этой точки зрения, достаточно внимательны, чтобы указывать на то, что эта картина экспериментально соответствует тому миру, в котором окаменелостям динозавров и вправду миллионы лет.)

(Некоторые люди, не одобряющие введение фактора сознания в физику, заявляют, что камера может совершать наблюдение электрона, а потому волновые функции могут коллапсировать и без участия

сознательных существ. Но тогда кто скажет, что камера существует? Нужна еще одна камера, чтобы «наблюдать» за первой камерой и заставить коллапсировать ее волновую функцию. Затем необходима вторая камера, чтобы наблюдать за первой, третья, чтобы наблюдать за второй, и так до бесконечности. Такое введение камер не отвечает на вопрос о том, каким образом коллапсирует волновая функция.)

Декогеренция

Способом практического разрешения этих тернистых философских вопросов, завоевывающим все большую популярность среди физиков, является декогеренция. Впервые это понятие было сформулировано немецким физиком Дитером Не в 1970 году. Он заметил, что в реальном мире нельзя отделить кота (все того же) от окружающей среды. Кот находится в постоянном контакте с воздухом, коробкой и даже космическими лучами, которые пронизывают эксперимент. Вне зависимости от того, насколько малы эти взаимодействия, они оказывают радикальное влияние на волновую функцию: если волновая функция нарушена хотя бы в незначительной степени, то она распадается на две волновые функции мертвого кота и живого кота, которые более не взаимодействуют. Це показал, что столкновения с одной-единственной молекулой воздуха достаточно, чтобы волновая функция коллапсировала, вызвав немедленное разделение волновых функций живого кота и мертвого, которые больше не взаимодействуют друг с другом. Иными словами, еще до того, как вы откроете коробку, кот уже вступил в контакт с молекулами воздуха и отсюда уже жив или мертв.

Це принадлежит ключевое наблюдение, он заметил то, что было упущено: чтобы кот был одновременно и мертв, и жив, его волновая функция должна вибрировать с практически полной синхронизацией, это состояние называется когеренцией. Но экспериментально это практически невозможно. Создать когерентные объекты, вибрирующие в унисон, в лабораторных условиях чрезвычайно сложно. (В действительности сложно получить больше горсточку когерентно вибрирующих атомов из-за взаимодействия с внешним миром.) В реальном мире объекты взаимодействуют с окружающей средой, и малейшее взаимодействие с внешним миром может нарушить две об-

разевавшиеся волновые функции и они начнут «декогерировать», то: есть рассинхронизируются и разделятся. Це показал, что, как только две волновые функции перестают вибрировать в фазе друг с другом, они более не взаимодействуют между собой.

Многие миры

Поначалу понятие декогеренции кажется весьма удовлетворительным: теперь волновая функция коллапсирует не через сознание, а через беспорядочное взаимодействие с внешним миром. Но это все же не решает фундаментального вопроса, беспокоившего еще Эйнштейна: как природа «выбирает», в какое состояние коллапсировать? Когда молекула воздуха ударяет кота, кто или что определяет финальное состояние кота? По этому вопросу теория декогеренции просто утверждает, что две волновые функции разделяются и более не взаимодействуют между собой, но она не отвечает на первоначальный вопрос: мертв кот или жив? Иными словами, декогеренция делает присутствие сознания ненужным в квантовой механике, но она не решает вопрос, беспокоивший Эйнштейна: каким образом природа «выбирает» финальное состояние кота? В ответ на этот вопрос теория декогеренции просто хранит молчание.

Однако существует естественное расширение декогеренции, которое разрешает данный вопрос; сегодня оно приобретает все более широкое признание среди физиков. Этот подход был предложен еще одним учеником Уилера, Хью Эвереттом III, который оговорил возможность того, что кот может быть одновременно и жив, и мертв в двух различных вселенных. Когда в 1957 году Эверетт закончил свою диссертацию, ее едва заметили. Однако с течением времени интерес к теории «многих миров» начал расти. Сегодня эта теория вызвала прилив обновленного интереса к парадоксам квантовой теории.

Согласно этой совершенно новой интерпретации, кот одновременно и жив, и мертв по той причине, что Вселенная распалась на две. В одной вселенной кот мертв; в другой он жив. В сущности, в каждый момент времени вселенная расщепляется надвое, становясь звеном в бесконечной череде расщепляющихся вселенных. Согласно этому сценарию, все вселенные возможны, каждая из них так же

реальна, как и любая другая. Люди, живущие в каждой вселенной, могут яростно утверждать, что именно *их* вселенная реальна, а все остальные лишь воображаемые или ненастоящие. Эти параллельные вселенные — не эфемерно существующие призрачные миры; в каждой вселенной мы видим столь же реальные и объективные твердые предметы и столь же реальные и объективные конкретные события, как и в любой другой.

Преимуществом этой интерпретации является тот факт, что мы можем опустить условие номер три — коллапс волновой функции. Волновые функции никогда не коллапсируют, они продолжают развиваться, вечно распадаясь на новые и новые волновые функции в бесконечном древе распада, каждая ветвь которого представляет целую вселенную. Большим преимуществом теории многих миров является то, что она проще, чем Копенгагенская интерпретация: здесь не нужен коллапс волновой функции. Но цена, которую мы платим за это, та, что теперь у нас есть вселенные, все время распадающиеся на миллионы ветвей. (Некоторым сложно понять, каким образом вести учет всех этих множющихся вселенных. Однако волновое уравнение Шрёдингера решает это автоматически. Отслеживая развитие волнового уравнения, мы сразу находим все многочисленные ветви волны.)

Если эта интерпретация верна, то в этот самый момент ваше тело сосуществует с волновыми функциями динозавров, сцепившихся в смертельной схватке. Вместе с вами в комнате сосуществует волновая функция того мира, в котором немцы выиграли Вторую мировую войну, в котором бродят инопланетные пришельцы, в котором вы никогда так и не родились. Среди вселенных, существующих в вашей гостиной, находятся и миры «Человека в высоком замке» и «Сумеречной зоны». Загвоздка в том, что мы не можем с ними больше взаимодействовать, поскольку они от нас декогерировали.

Как сказал Алан Гут, «существует вселенная, где Элвис все еще жив». Физик Франц Вильчек написал: «Нас преследует сознание того, что бесконечное количество чуть-чуть отличающихся от нас копий нас самих живет своими параллельными жизнями, а также того, что в каждый момент еще больше двойников начинают свое существование, занимая место в одном из наших возможных вариантов будущего». Он замечает, что история греческой цивилизации, а отсю-

да и всего западного мира, могла быть иной, если бы Елена Троянская была не такой пленительной красавицей, а имела уродливую бородавку на носу. «Что же, бородавки могут возникнуть как результат мутаций в отдельных клетках, часто вызванных пребыванием под лучами солнца, несущими ультрафиолет». Он продолжает: «Вывод: существует много, много миров, в которых у Елены Троянской *была* бородавка на кончике носа».

Мне вспоминается отрывок из классического научно-фантастического произведения Олафа Стэплдона «Создатель звезд»: «Каждый раз, когда существо встречалось с несколькими возможными путями действия, оно избирало их все, таким образом создавая много... самостоятельных историй космоса. Ибо в каждом процессе эволюционного развития в космическом пространстве существовало много созданий, и каждое из них постоянно сталкивалось с выбором из многих возможных путей, и комбинации всех этих путей были бесчисленны, представляя собой бесконечность отдельных вселенных, отслаивающихся в каждый момент каждого отрезка времени».

Голова идет кругом, когда мы понимаем, что, согласно этой интерпретации квантовой механики, все возможные миры сосуществуют вместе с нами. Хотя для того, чтобы достичь иных миров, может понадобиться портал-червоточина, эти квантовые реальности существуют в той самой комнате, где мы живем. Они сосуществуют с нами, куда бы мы ни пошли. Ключевой вопрос вот в чем: если это правда, то почему мы не видим эти иные вселенные, наполняющие нашу гостиную? А вот здесь вступает в дело декогеренция: наша волновая функция декогерировала с этими иными мирами (то есть эти волны больше не находятся в фазе друг с другом). У нас больше нет контакта с ними. Это означает, что даже малейшее взаимодействие с окружающей средой исключит взаимодействие различных волновых функций друг с другом. (В главе 11 я привожу возможное исключение из этого правила, с помощью которого разумным существам может удастся путешествие между квантовыми реальностями.)

Не кажется ли это слишком странным, чтобы быть возможным? Нобелевский лауреат Стивен Вайнберг проводит параллель между этой теорией многих вселенных с радио. Вокруг вас сотни различных

радиоволн, передаваемых далекими станциями. В любой заданный момент ваш офис, машина или гостиная заполняется этими радиоволнами. Однако если вы включите приемник, то сможете слушать радиоволны только на одной частоте в данный момент; остальные частоты декогерировали и больше не находятся в фазе друг с другом. Каждая станция обладает различной энергией, различной частотой. В результате ваш приемник в данный момент времени может принимать вещание только на одной частоте.

Подобным образом в нашей вселенной и мы «настроены» на частоту, которая соответствует физической реальности. Но есть бесконечное количество параллельных реальностей, сосуществующих в одной комнате вместе с нами, хотя мы не можем «настроиться на них». Эти миры очень похожи друг на друга, но в каждом из них атомы обладают различной энергией. А поскольку каждый мир состоит из триллионов и триллионов атомов, это означает, что различие в энергии может быть довольно велико. Поскольку частота этих волн пропорциональна их энергии (по закону Планка), то это означает, что волны каждого мира вибрируют с различной частотой и больше не могут взаимодействовать. Фактически волны этих различных миров не взаимодействуют друг с другом и не влияют друг на друга.

Что удивительно, принимая эту странную точку зрения, ученые могут прийти к тем же результатам, что и с помощью Копенгагенского подхода, без всякой нужды в коллапсе волновой функции. Иными словами, эксперименты, проведенные как в соответствии с Копенгагенской интерпретацией, так и в соответствии с интерпретацией теории многих миров, принесут в точности совпадающие результаты. Коллапс волновой функции Бора в математическом отношении эквивалентен действию окружающей среды. Иными словами, кот Шрёдингера может быть мертв или жив одновременно, если мы каким-либо образом изолируем кота от возможного воздействия каждого атома или космического луча. Конечно, на практике это неосуществимо. Как только кот вступит в контакт с космическим лучом, волновая функция живого кота и волновая функция мертвого кота декогерированы и будет казаться, что волновая функция коллапсировала.

Вещество из информации

В обстановке возродившегося интереса к проблеме измерения в квантовой теории Уилер стал большим авторитетом в области квантовой физики. Он стал появляться на многочисленных конференциях, организованных в его честь. Сторонники движения Нью Эйдж (Новая Эра), которых вдохновляла идея фактора сознания в физике, даже провозгласили Уилера своим гуру. (Однако он не всегда был рад таким ассоциациям. Однажды он сильно расстроился, обнаружив, что находится в списке приглашенных вместе с тремя парапсихологами. Он не замедлил высказать свое мнение по этому поводу, и в его речи прозвучала фраза «Нет дыма без дыма».)

После 70 лет массовых размышлений над парадоксами квантовой теории Уилер первым признал, что он не знает ответов на все вопросы. Он продолжает подвергать сомнению собственные предположения. Когда его спросили о проблеме измерения в квантовой механике, он ответил: «Меня просто сводит с ума этот вопрос. Я признаю, что иногда я на сто процентов серьезно воспринимаю идею о том, что мир — это плод воображения, но в другие моменты мне кажется, что мир существует вне всякой зависимости от нас. Однако я от всей души готов подписаться под словами Лейбница: "Этот мир может быть иллюзией, а существование — не более чем сном, но этот сон или иллюзия для меня достаточно реальны при условии, что мы не будем введены ими в заблуждение, правильно используя разум"».

Сегодня теория многих миров, или теория декогеренции, завоевывает все большую популярность среди физиков. Но Уилер обеспокоен тем, что для нее требуется «слишком много лишнего багажа». Он играет с еще одним объяснением проблемы кота Шрёдингера. Он называет свою теорию «Вещество из информации» («It from Bit»). Это нетрадиционная теория, которая основывается на предположении о том, что информация находится у истоков всего бытия. Когда мы смотрим на Луну, галактику или атом, их сущностью, согласно Уилеру, является заключенная в них информация. Но эта информация начала свое существование, когда вселенная обратила свой взор на саму себя. Уилер рисует круговую диаграмму, иллюстрирующую теорию вселенной. Существование вселенной началось в тот мо-

мент, когда она стала объектом наблюдения. Это означает, что «оно» (вещество вселенной) возникло в тот момент, когда информация («бит») вселенной была замечена. Он называет эту теорию моделью «вселенной-участницы». Идея заключается в том, что вселенная приспосабливается к нам таким же образом, как и мы приспосабливаемся к ней; в том, что само наше присутствие обуславливает возможность существования вселенной. (Пока не достигнут консенсус по поводу проблемы измерения в квантовой механике, в отношении теории «Вещество из информации» большинство физиков занимает позицию «поживем — увидим».)

Квантовые компьютеры и телепортация

Такие философские дискуссии могут показаться безнадежной софистикой, без малейшей возможности практического применения в нашем мире. Только вместо того, чтобы спорить о том, сколько ангелов может танцевать на кончике иглы, квантовые физики, кажется, обсуждают то, в скольких местах одновременно может находиться электрон.

Однако это не праздные измышления ученых в башне из слоновой кости. Когда-нибудь эти идеи могут найти самое что ни на есть практическое применение — стать двигателем мировой экономики. Когда-нибудь богатство всех наций может оказаться зависимым от тонкостей проблемы кота Шрёдингера. К тому времени, возможно, наши компьютеры уже будут производить расчеты в параллельных вселенных. Сегодня почти вся компьютерная инфраструктура базируется на кремниевых транзисторах. Закон Мура, который гласит, что компьютерная мощность удваивается каждые полтора года, на данный момент верен потому, что мы можем всаживать в кремниевые чипы все меньшие и меньшие транзисторы при помощи ультрафиолетовых лучей. Хотя закон Мура продолжает потрясать технологический пейзаж, его действие не может длиться вечно. В самом современном чипе Пентиум используется слой в 20 атомов. В течение 15-20 лет ученые смогут задействовать слои, возможно, в 5 атомов. На таких неимоверно малых расстояниях нам придется уйти от Ньютона и руководствоваться принципами квантовой механики, где вступает в силу принцип неопределенности Гейзенберга.

В результате мы больше не будем знать, где находится электрон. Это означает, что будут происходить короткие замыкания в тот момент, когда электроны будут выскакивать из непроводников и полупроводников, вместо того чтобы оставаться внутри них.

Когда-нибудь возможности электроники, основанной на кремнии, исчерпаются. И это возвестит приход квантовой эры. Силиконовая долина может прийти в упадок. Когда-нибудь нам, возможно, придется считать на самих атомах, что приведет к полному изменению архитектуры компьютера. Сегодня компьютеры основаны на двоичной системе исчисления — любое число представляется нулями и единицами. У атомов же спин может быть направлен вверх, вниз или в стороны одновременно. На смену компьютерным битам (нулям и единицам) могут прийти «кубиты» (любое число между единицей и нулем), что сделает вычисления с помощью квантовых компьютеров намного более продуктивными, чем при помощи обычных компьютеров.

Для примера, квантовый компьютер мог бы потрясти самое основание международной безопасности. Сегодня большие банки, транснациональные корпорации и промышленные страны кодируют свои секретные данные при помощи сложных компьютерных алгоритмов. Многие секретные коды построены на разложении на множители огромных чисел. Современному компьютеру понадобились бы века для того, чтобы разложить на множители, скажем, стозначное число. Но для квантового компьютера такие вычисления не представляют никакой сложности, а потому при помощи квантового компьютера можно с легкостью взломать любые секретные коды в мире.

Чтобы представить себе, каким образом функционирует квантовый компьютер, давайте скажем, что мы выстроим в ряд несколько атомов, спины которых однонаправлены в магнитном поле. Затем мы просвечиваем их лазером таким образом, что многие из спинов перевернутся в момент, когда лазерный луч отразится от атомов. Измерив отраженный свет лазера, мы записываем сложную математическую операцию — рассеивание света атомами. Если мы рассчитаем этот процесс, используя квантовую теорию, вслед за Фейнманом мы должны сложить все возможные положения атомов, вращающихся во всех возможных направлениях. Даже простой квантовый подсчет, для которого потребовались бы доли секунды, на обычном компьютере

выполнить практически невозможно, вне зависимости от того, сколько времени для этого будет отведено.

В принципе, как подчеркнул Дэвид Дойч из Оксфорда, это означает, что, когда мы начнем пользоваться квантовыми компьютерами, нам придется складывать все возможные параллельные вселенные. Хотя мы не можем вступить в прямой контакт с этими другими вселенными, атомный компьютер мог бы их вычислить при помощи положений спинов в параллельных вселенных. (Хотя мы не когерентны с другими вселенными в нашей гостинной, атомы квантового компьютера по своей конструкции когерентно вибрируют в унисон.)

Хотя потенциал квантовых компьютеров поистине ошеломляет, на практике масштабы возникающих проблем столь же велики. В настоящий момент мировой рекорд по числу атомов, использующихся в квантовом компьютере, равен семи. В лучшем случае на этом квантовом компьютере мы можем умножить три на пять и получить пятнадцать, что вряд ли произведет большое впечатление. Чтобы квантовый компьютер стал сравним по мощности со стандартным современным ноутбуком, необходимы сотни, а возможно, и миллионы атомов, вибрирующих когерентно. Поскольку столкновение даже с одной-единственной молекулой воздуха может стать причиной того, что атомы компьютера декогерируют, необходимы чрезвычайно стерильные условия для изоляции атомов от воздействия окружающей среды. (Чтобы сконструировать квантовый компьютер, по скорости превосходящий современные компьютеры, понадобятся тысячи, а то и миллионы атомов, а потому от реальных квантовых компьютеров нас отделяют, по меньшей мере, десятилетия.)

Квантовая телепортация

В конечном итоге может быть найдено практическое применение, на первый взгляд, бессмысленному обсуждению физиками параллельных квантовых вселенных: квантовая телепортация. «Транспортер», использовавшийся для перевозки людей и оборудования в «Стар Треке» и других научно-фантастических программах, кажется чудесным средством, позволяющим преодолеть огромные расстояния. Но как ни маняще звучит эта идея телепортации, физиков она приводит в замешательство, поскольку, кажется, противоречит принципу не-

определенности. Проводя измерение атома, вы нарушаете его состояние, а потому точная копия создана быть не может.

Но ученые обнаружили брешь в этом аргументе в 1993 году с помощью так называемой квантовой сцепленности. Она основана на старом эксперименте, предложенном в 1935 году Эйнштейном и его коллегами Борисом Подольским и Натаном Розеном (так называемый парадокс Эйнштейна — Подольского — Розена, или ЭПР-парадокс) для того, чтобы продемонстрировать, насколько в действительности безумна квантовая теория. Допустим, произошел взрыв и два электрона разлетаются в противоположных направлениях с околосветовой скоростью. Поскольку электрон может крутиться как волчок, допустим, что их спины связаны — то есть если ось спина одного электрона направлена вверх, то ось спина второго направлена вниз (таким образом, что общий спин равен нулю). Однако до того, как мы совершаем измерение, мы еще не знаем, в каком направлении вертится каждый электрон.

Теперь подождем несколько лет. К этому времени два электрона будут находиться на расстоянии многих световых лет друг от друга. Если теперь мы измерим спин одного электрона и обнаружим, что его ось направлена вверх, мы тут же поймем, что ось спина второго направлена вниз (и наоборот). В сущности, тот факт, что один электрон вращается вверх, *заставляет* второй электрон вращаться вниз. Это означает, что теперь мы узнаем нечто об электроне, находящемся на расстоянии многих световых лет, мгновенно. (Полное впечатление, что информация путешествовала со скоростью, превышающей скорость света, а это явное нарушение специальной теории относительности Эйнштейна.) При помощи тщательно построенного доказательства Эйнштейну удалось показать, что, совершая последовательные измерения одной пары электронов, можно нарушить принцип неопределенности. Что более важно, он показал, что квантовая механика еще более причудлива, чем кто-либо мог до этого себе представить.

Вплоть до того самого момента физики считали, что Вселенная была локальной, что возмущения в одной части Вселенной распространялись от источника лишь локально. Эйнштейн показал, что квантовая механика по своей сути нелокальна — возмущения из одного источника могут мгновенно влиять на далекие уголки

Вселенной. Эйнштейн назвал это «призрачным действием на расстоянии», которое посчитал абсурдным. Таким образом, Эйнштейн уверял, что квантовая теория неверна.

(Критики квантовой механики считали, что парадокс Эйнштейна — Подольского — Розена разрешим при таком допущении: если бы наши инструменты были достаточно чувствительны, то они действительно смогли бы определить, в каком направлении вращаются электроны. Значит, кажущаяся неопределенность в спине и положении электрона — просто фикция, результат того, что наши инструменты слишком грубы. Они ввели концепцию скрытых переменных, — то есть должна существовать скрытая субквантовая теория, в которой неопределенности не существует вообще, и в основе этой теории лежат новые, так называемые скрытые переменные.)

Ставки невероятно возросли в 1964 году, когда физик Джон Белл подверг ЭПР-парадокс и скрытые переменные суровому испытанию. Он показал, что при проведении эксперимента ЭПР должно существовать численное соответствие между спинами двух электронов, зависящее от того, какая теория использовалась. Если теория скрытых переменных была верна, то спины должны были иметь одно соотношение. Если была правильна квантовая механика, то соотношение спинов должно было быть иным. Иными словами, судьба всей квантовой механики (основы всей современной атомной физики) зависела бы от одного-единственного эксперимента.

Но эксперименты окончательно доказали, что Эйнштейн ошибался. В начале 1980-х годов Алан Эспект и его коллеги во Франции поставили эксперимент ЭПР. В эксперименте использовались два детектора, расположенные на расстоянии 13 метров, которые измеряли спины фотонов, испускаемых атомами кальция. В 1997 году эксперимент ЭПР был поставлен с детекторами, расположенными на расстоянии в 11 километров. В обоих случаях победила квантовая теория. Определенная форма знания *действительно* перемещается быстрее света. (Хотя Эйнштейн ошибался насчет эксперимента ЭПР, он был прав в вопросе более существенного масштаба — о сообщении, проходящем быстрее света. Хоть эксперимент ЭПР и позволяет узнать что-либо о другой стороне галактики, он не позволяет таким способом посылать сообщения. К примеру, вы не можете таким образом отсылать азбуку Морзе. В сущности, «передатчик ЭПР» отсы-

лал бы только беспорядочные сигналы, поскольку измеряемые спины будут другими каждый раз, как вы их измеряете. Эксперимент ЭПР позволяет вам получить информацию о другой стороне галактики, но он не позволяет вам передавать полезную, не беспорядочную информацию.)

Белл для описания этого эффекта приводил пример математика по имени Бертельсман. У того была необычная привычка каждый день надевать на одну ногу синий носок, а на другую — зеленый, в случайном порядке. Если вы замечаете, что на левой ноге у него синий носок, то вы сразу же, быстрее света, получаете информацию о том, что другой его носок — зеленый. Но это знание отнюдь не позволяет вам таким же образом сообщать информацию. Обнаружение информации отличается от ее пересылки. Эксперимент ЭПР не означает, что мы можем сообщать информацию путем телепатии, путешествий быстрее света или путешествий во времени. Но он все же означает, что для нас невозможно полностью отрешиться от единства вселенной.

Эксперимент заставляет нас принять другую картину нашей Вселенной. Существует космическое «сцепление» (*entanglement*) между каждым атомом нашего тела и атомами, которые находятся на расстоянии световых лет от нас. Поскольку все вещество произошло из одного источника — Большого Взрыва, — то в каком-то смысле все атомы нашего тела связаны с атомами на другом конце Вселенной при помощи космической квантовой паутины. Сцепленные частицы чем-то похожи на близнецов, все еще связанных между собой пуповиной (волновой функцией), которая может быть длиной во много световых лет. Происходящее с одним близнецом автоматически воздействует и на другого, а отсюда знание об одной частице может незамедлительно предоставить информацию о ее двойнике. Сцепленные частицы ведут себя так, как если бы они представляли собой единый объект, хотя они и могут быть разделены невероятными расстояниями. (Если выразиться точнее, то можно сказать, что, поскольку волновые функции частиц в Большом Взрыве были когда-то связаны и когерентны, то эти волновые функции все еще могут быть частично соединены миллиарды лет спустя после Большого Взрыва таким образом, что возмущения в одной части волновой функции могут воздействовать на другую часть той же волновой функции.)

В 1993 году ученые предложили использовать концепцию ЭПР-сцепленности для создания устройства, с помощью которого можно совершать квантовую телепортацию. В 1997 и 1998 годах ученые из Калифорнийского технологического института, Университета Аарус в Дании и Университета Уэльса совершили первую экспериментальную демонстрацию квантовой телепортации. В ходе эксперимента отдельный фотон был телепортирован через стол. Сэмюэл Браунштайн, принимавший участие в организации эксперимента, сравнил сцепленные пары слюбовниками, «которые знают друг друга настолько хорошо, что могут ответить за свою вторую половину, даже если их разделяют огромные расстояния».

(Для экспериментов в области квантовой телепортации необходимы три объекта — А, В и С. Пусть В и С — сцепленные близнецы. Хоть они и могут находиться на огромном расстоянии друг от друга, они все же остаются сцепленными. Пусть теперь В вступит в контакт с А, который собственно является объектом телепортации. В «сканирует» А, и информация, содержащаяся в А, переносится в В. Затем эта информация автоматически передается близнецу С. Таким образом, С превращается в точную копию А.)

В области исследований квантовой телепортации наблюдается большой прогресс. В 2003 году ученым Женевского университета в Швейцарии удалось телепортировать фотоны на расстояние в 2 км через оптоволоконный кабель. Фотоны света (при длине волны 1,3 мкм) в одной лаборатории были телепортированы в другие фотоны с другой длиной волны (1,55 мкм) в другую лабораторию, связанную с первой оптоволоконным кабелем. Николас Гизин, физик, принимавший участие в этом проекте, сказал: «Возможно, объекты больших размеров, такие, как молекула, и будут телепортированы до моей смерти, но по-настоящему большие объекты не поддаются телепортации при использовании обозримых технологий».

Еще один важный прорыв был совершен в 2004 году, когда ученые из Национального института стандартов и технологий (NIST) телепортировали не просто квант света, а целый атом. Их основным достижением стало то, что они успешно запутали 3 атома бериллия и смогли перенести характеристики одного атома в другой.

Область практического применения квантовой телепортации потенциально невероятно велика. Однако необходимо отметить, что

существует несколько проблем практического характера, препятствующих ее применению. Во-первых, объект-оригинал уничтожается в ходе телепортации, а потому нельзя создать много точных копий телепортируемого объекта. Возможно создание только одной копии. Во-вторых, телепортировать объект быстрее света нельзя. Теория относительности действует даже для квантовой телепортации. (Чтобы телепортировать объект А в объект С, для их соединения все же необходим объект-посредник В, а его скорость меньше скорости света.) В-третьих, возможно, наиболее важным ограничением для квантовой телепортации выступает тот же фактор, который служит препятствием для создания квантовых компьютеров: рассматриваемые объекты должны быть когерентны. Любое соприкосновение с окружающей средой прервет процесс телепортации. Но вполне вероятно, что в течение XXI века удастся телепортировать первый вирус.

При телепортации человеческого существа мы можем столкнуться с другими проблемами. Браунштайн замечает: «На данный момент ключевым является исключительно количество вовлеченной информации. Даже если мы будем использовать самые лучшие каналы связи, какие только можем себе представить, для передачи всей этой информации нам понадобится время, сравнимое с возрастом нашей Вселенной».

Волновая функция Вселенной

Но, возможно, полное осознание квантовой теории произойдет, если мы применим квантовую механику не к отдельному фотону, а к целой Вселенной. Стивен Хокинг даже пошутил, что каждый раз, как он слышит о проблеме кота, он тянется за ружьем. Он предложил свое решение проблемы — существование волновой функции Вселенной. Если вся Вселенная является частью волновой функции, то отпадает надобность в существовании наблюдателя (который должен находиться за пределами Вселенной).

В квантовой теории каждая частица связана с волной. Эта волна, в свою очередь, дает информацию о вероятности обнаружения частицы в любой точке. Однако, когда Вселенная была еще очень

молода, она была меньше субатомной частицы. Тогда, возможно у самой Вселенной тоже есть волновая функция. Поскольку электрон может существовать во многих состояниях одновременно и поскольку Вселенная была по размерам меньше электрона, то, возможно, Вселенная также существовала одновременно во многих состояниях, что и описывала сверхволновая функция.

Это вариация теории многих миров: не нужно вводить космического наблюдателя, который может мгновенно охватить взглядом всю Вселенную. Но волновая функция Хокинга значительно отличается от волновой функции Шрёдингера. В волновой функции Шрёдингера в каждой точке пространства-времени существует волновая функция. Вместо ψ -функции Шрёдингера, которая описывает все возможные состояния электрона, Хокинг вводит такую u -функцию, которая представляет все возможные состояния Вселенной. В обычной квантовой механике электрон существует в обычном пространстве. Однако в волновой функции Вселенной эта волновая функция существует в «сверхпространстве», пространстве всех возможных вселенных, введенном Уилером.

Эта главная волновая функция (родительница всех волновых функций) подчиняется не уравнению Шрёдингера (которое работает только для одиночных электронов), а уравнению Уилера — де Витта, которое применимо для всех возможных вселенных. В начале 1990-х годов Хокинг написал, что он смог частично разрешить волновую функцию Вселенной и показать, что наиболее вероятной вселенной была та, где космологическая константа стремилась к нулю. Эта работа вызвала некоторые споры, поскольку она опиралась на суммирование всех возможных вселенных. Хокинг представил эту сумму, включив в нее червоточины-порталы, соединяющие нашу Вселенную со всеми возможными вселенными. (Представьте себе бесконечный океан мыльных пузырей, парящих в воздухе и соединенных тонкими нитями или порталами-червоточинами, а потом сложите их все вместе.)

В конечном счете возникли сомнения по поводу претенциозного метода Хокинга. Было замечено, что сумма всех возможных вселенных математически недостоверна, во всяком случае до тех пор, пока у нас нет «теории всего», которой мы могли бы руководствоваться.

Критики считают, что до тех пор, пока не создана теория всего, нельзя полагаться ни на какие вычисления, касающиеся машин времени, червоточин-порталов, момента Большого Взрыва и волновых функций Вселенной.

Однако сегодня множество физиков верит в то, что мы наконец нашли теорию всего, хотя она еще не обрела своей конечной формы: это теория суперструн, или М-теория. Даст ли она нам возможность «узреть замысел Господень», как считал Эйнштейн?

ГЛАВА 7

М-теория: мать всех струн

Тому, кто смог бы охватить Вселенную единым взглядом, все творение показалось бы уникальной истиной и необходимостью.

Ж. Даламбер

Я чувствую, что мы настолько близко подошли к теории струн, что — в моменты оптимистического подъема — я вижу, что в любой день окончательная форма этой теории может свалиться с неба прямо на колени кому-нибудь. Но если подходить с более реалистичной точки зрения, то я чувствую, что мы находимся в процессе создания намного более глубокой теории, чем все, с чем мы когда-либо имели дело, и уже в глубинах XXI века, когда я буду слишком стар, чтобы у меня появлялись какие-либо полезные соображения по этому предмету, более молодым физикам придется решать, в самом ли деле мы нашли окончательную теорию.

Эдвард Виттен

Классический роман Герберта Уэллса «Человек-невидимка», написанный в 1897 году, начинается со странной истории. В холодный зимний день из тьмы выступает причудливо одетый незнакомец. Его лица не видно; на нем очки с темно-синими стеклами, а лицо полностью закрыто белой повязкой.

Поначалу обитатели деревни испытывали жалость к новоприбывшему, думая, что он пострадал в результате ужасного несчастного случая. Но затем в деревне начали происходить странные вещи. В один прекрасный день хозяйка гостиницы, в которой остановился

незнакомец, зашла в его пустую комнату и закричала при виде одежды, которая двигалась по комнате сама по себе. Шляпы кружились по комнате, постельное белье подпрыгивало в воздухе, стулья двигались, а «мебель сошла с ума», в ужасе вспоминала хозяйка.

Вскоре уже вся деревня полнится слухами об этих необычных явлениях. В конце концов собирается группа сельских жителей и встречается с таинственным незнакомцем лицом к лицу. К их великому изумлению, он начинает медленно разворачивать свою повязку. Толпа в ужасе. Когда человек снимает повязку, оказывается, что у него нет лица. В сущности, он невидим. Люди кричат и визжат, воцаряется хаос. Обитатели деревни пытаются поймать человека-невидимку, который с легкостью отражает их нападение.

Совершив ряд незначительных преступлений, человек-невидимка разыскивает своего старого знакомого, чтобы поведать ему свою удивительную историю. Его настоящее имя — мистер Гриффин из Университетского Колледжа. Он начал изучать медицину и случайно обнаружил совершенно новый способ изменить свойства преломления и отражения плоти. Его секрет — четвертое измерение. Он восклицает, обращаясь к доктору Кемпу: «Я нашел основной принцип... формулу, геометрическое выражение, в котором задействованы все четыре измерения».

К сожалению, вместо того, чтобы обратить свое великое открытие на пользу человечеству, все свои мысли мистер Гриффин обратил к грабежу и личной выгоде. Он предлагает своему другу стать его сообщником, заявляя, что вместе они смогут разграбить мир. Но друг повергнут в ужас; он раскрывает местонахождение Гриффина полиции. За этим следует финальная охота на человека, в ходе которой человек-невидимка получает смертельные раны.

Как и все научно-фантастические романы, история Герберта Уэллса не лишена научного зерна. Любой, кто сможет пробраться в четвертое пространственное измерение (или то, что сегодня называют пятым измерением, поскольку время является четвертым), действительно способен стать невидимым и даже обрести силы, обычно приписываемые призракам и божествам. Представьте на секунду, что двумерная поверхность стола может быть населена расой мифических существ, как в романе 1884 года Эдвина Эббота «Плоская страна» («Флатляндия»). Они занимаются своими делами и даже

не подозревают о том, что их окружает целая Вселенная, третье измерение.

Но если бы ученый Плоской страны мог поставить эксперимент, который позволил бы ему зависнуть в нескольких сантиметрах над поверхностью стола, то он бы стал невидимым, поскольку свет проходил бы под ним, как если бы он не существовал вовсе. Паря над Плоской страной, он мог бы наблюдать, как внизу под ним разворачиваются события на крышке стола. В парении в гиперпространстве есть решительные преимущества, поскольку любой, кто взирал бы на наш мир из гиперпространства, обрел бы божественную силу.

Не только свет проходил бы под ним, делая его невидимым. Он также мог бы перескакивать через предметы. Иными словами, он мог бы исчезать по собственному желанию и проходить сквозь стены. Выскочив в третье измерение, он мог бы просто раствориться, исчезнуть из двумерной Вселенной. А если бы он прыгнул обратно на крышку стола, то рематериализовался бы ниоткуда. В его силах было бы убежать из любой темницы. Тюрьма в Плоской стране была бы кругом, нарисованным вокруг заключенного, так что было бы несложно просто выпрыгнуть в третье измерение и выйти на свободу.

Скрыть что-либо от такого гиперсущества *было бы* невозможно. Золото, спрятанное в тайнике, из точки наблюдения в третьем измерении найти было бы легче легкого, поскольку сам тайник был бы всего лишь открытым прямоугольником. Было бы детской забавой проникнуть внутрь прямоугольника и забрать золото, даже не вламываясь в тайник. Стало бы возможным совершать хирургические операции, в ходе которых не было бы нужды даже разрезать кожу.

Так Герберт Уэллс хотел донести до читателя идею о том, что в четырехмерном мире мы — обитатели Плоской страны. Мы не знаем о том факте, что над нами раскрываются более высокие планы бытия. Мы верим, что наш мир состоит из всего, что мы видим; нам и невдомек, что прямо у нас перед носом могут существовать целые вселенные. Хотя другая вселенная могла бы парить в четвертом измерении всего лишь в нескольких сантиметрах над нами, она была бы невидимой.

Поскольку гиперсущество обладало бы сверхчеловеческими способностями, обычно приписываемыми призракам и духам, в другом научно-фантастическом произведении Герберт Уэллс задался

вопросом о том, могут ли сверхъестественные существа обитать в дополнительных измерениях. Он поднял ключевой вопрос о том, что на сегодняшний день является предметом активных исследований и размышлений: могут ли существовать в этих дополнительных измерениях новые законы физики? В его романе 1895 года под названием «Чудесное посещение» викарий ненароком попадает из ружья в ангела, случайно пролетающего через наше измерение. По какой-то космической причине наше измерение и параллельная вселенная на время столкнулись, что позволило ангелу свалиться в наш мир. В этом рассказе Уэллс пишет: «Бок о бок может существовать неограниченное количество трехмерных Вселенных». Викарий задает вопросы раненому ангелу. Большим потрясением становятся для него слова пришельца о том, что наши законы природы в мире ангела не действуют. Например, в другой вселенной нет плоскостей, а есть скорее цилиндры — настолько искривлено пространство. (За целых двадцать лет до того, как Эйнштейн создал общую теорию относительности, Уэллс забавлялся мыслями о вселенных, существующих на искривленных поверхностях.) Как говорит викарий: «Их геометрия отличается от нашей, поскольку их пространство имеет кривизну, так что все их плоскости представляют собой цилиндры; их закон тяготения не согласуется с законом обратных квадратов, а основных цветов у них не три, а двадцать четыре». Прошло более века с тех пор, как Уэллс написал эту историю, и сегодня физики понимают, что в параллельных вселенных и вправду могут существовать новые законы физики с разным набором субатомных частиц, атомов и химических взаимодействий. (Как мы увидим в главе 9, сейчас проходит несколько экспериментов, цель которых — уловить присутствие параллельных вселенных, которые, возможно, прячутся прямо над нашей Вселенной.)

Концепция гиперпространства интриговала художников, музыкантов, мистиков, теологов и философов; особенно сильно это проявилось в начале XX века. По словам искусствоведа Линды Далримпл, интерес Пабло Пикассо к четвертому измерению повлиял на создание кубизма. (Глаза нарисованных им женщин смотрят прямо на нас, несмотря на то что носы женщин направлены в стороны, что позволяет нам видеть этих женщин полностью. Подобным образом гиперсущество, взирающее на нас сверху, увидит нас во всей полноте:

спереди, сзади и с боков одновременно.) На своей известной картине «Christus Hypercubus» Сальвадор Дали изобразил Иисуса Христа распятым на фоне развернутого четырехмерного гиперкуба, или тессеракта. На картине «Постоянство памяти» Дали попытался передать идею времени как четвертого измерения с помощью изображения мягких, растаявших часов. На картине Марселя Дюшана «Обнаженная, спускающаяся по лестнице (№2)» мы видим обнаженную фигуру в замедленном движении, спускающуюся по лестнице. На этом полотне представлена еще одна попытка поймать четвертое измерение — время — с помощью двумерной плоскости.

М-теория

Сегодня загадки и верования, окружающие четвертое измерение, воскресли по причине совершенно иного характера — развития теории струн и ее последнего воплощения — М-теории. Исторически сложилось так, что физики упорно не принимали концепцию гиперпространства; они смеялись, говоря, что дополнительные измерения — это специализация мистиков и шарлатанов. Ученые, всерьез предполагавшие существование невидимых миров, подвергались насмешкам.

С приходом М-теории все изменилось. Высшие измерения призывают к революции в физике, поскольку физики вынуждены бороться с величайшей проблемой, стоящей сегодня перед их наукой, — пропастью, разделяющей теорию относительности и квантовую механику. Что замечательно, обе эти теории вобрали в себя все фундаментальные физические знания о Вселенной. В настоящее время только М-теория способна объединить эти две великие, на вид противоречивые теории Вселенной в связное целое; только М-теория способна создать «теорию всего». Из всех предложенных в прошедшем веке теорий единственным кандидатом, способным «узреть Божий замысел», как сказал Эйнштейн, является М-теория.

Только в десяти- и одиннадцатимерном гиперпространстве у нас «достаточно места», чтобы объединить все природные взаимодействия в единую изящную теорию. Такая удивительная теория сможет ответить на извечные вопросы: «Что произошло еще до начала? Можно ли обратить время вспять? Могут ли порталы в другие изме-

рения перенести нас через Вселенную?» (Хотя критики совершенно справедливо указывают на то, что проверка этой теории находится за пределами наших экспериментальных возможностей, в настоящее время планируется ряд экспериментов, которые могут изменить эту ситуацию, — о них мы поговорим в главе 9.)

В течение последних пятидесяти лет все попытки создания действительно единого описания Вселенной заканчивались позорным провалом. На концептуальном уровне это понять несложно. Общая теория относительности и квантовая теория диаметрально противоположны друг другу практически во всех отношениях. Общая теория относительности — это теория очень большого: черных дыр, Больших Взрывов, квазаров и расширяющейся Вселенной. Она основана на математике гладких поверхностей, таких, как простыни и батуты. Квантовая теория в точности противоположна — она описывает мир всего крошечного: атомов, протонов с нейтронами и кварков. В основе ее лежит теория отдельных пучков энергии, называемых квантами. В отличие от теории относительности, квантовая теория утверждает, что вычислить можно только вероятность событий, так что мы никогда точно не узнаем, где находится электрон. В этих двух теориях все различно — математические подходы, допущения, физические принципы и области применения. Не удивительно, что все попытки объединения их заканчивались провалом.

Физики-гиганты — Эрвин Шрёдингер, Вернер Гейзенберг, Вольфганг Паули и Артур Эддингтон — вслед за Эйнштейном тоже пробовали свои силы в создании единой теории поля, и все они потерпели неудачу. В 1928 году Эйнштейн ненамеренно вызвал массовое волнение в прессе, выдвинув раннюю версию своей единой теории поля. «Нью-Йорк тайме» даже опубликовала отрывки из его работы, в том числе и уравнения. Более сотни репортеров роилось вокруг дома Эйнштейна. Эддингтон из Англии писал Эйнштейну: «Вас, возможно, позабавит известие о том, что в витрине одного из наших самых больших универмагов в Лондоне (Селфриджиз) вывесили Вашу работу (шесть склеенных в ряд страниц), так что прохожие могут прочесть ее от начала до конца. Возле нее собираются толпы народа».

В 1946 году Шрёдингер тоже заразился этой идеей и создал, как он полагал, эту уже мифическую единую теорию поля. Он спешно

совершил довольно необычный для своего (но не для нашего) времени поступок — созвал пресс-конференцию. Даже премьер-министр Ирландии Имон де Валера присутствовал на этой конференции. Когда Шрёдингера спросили, насколько он уверен в том, что ухватил наконец суть единой теории поля, он ответил: «Я считаю, что прав. Я буду выглядеть ужасно глупо, если это не так». (Об этой пресс-конференции стало известно «Нью-Йорк тайме», и она отправила рукопись Эйнштейну и другим ученым, чтобы те прокомментировали ее. К несчастью, Эйнштейн увидел, что Шрёдингер заново открыл старую теорию, которую он предложил многие годы назад и сам же ее отбросил. Ответ Эйнштейна был очень вежлив, но все же Шрёдингер был унижен.)

В 1958 году Джереми Бернштейн посетил лекцию в Колумбийском университете, где Вольфганг Паули представлял свою версию единой теории поля, которую он разработал вместе с Вернером Гейзенбергом. Нильса Бора, также присутствовавшего на этой лекции, она не очень-то впечатлила. В конце концов Бор поднялся и сказал: «Мы на галерке убеждены, что ваша теория безумна. Но что нас разделяет, так это вопрос о том, достаточно ли безумна ваша теория».

Паули тут же понял, что Бор имел в виду: теория Гейзенберга-Паули была слишком традиционной, слишком заурядной, чтобы стать единой теорией поля. Чтобы «узреть замысел Божий», понадобилось бы привлечение радикально новых математических подходов и идей.

Многие физики уверены, что за всем стоит простая, изящная и убедительная теория, которая, тем не менее, достаточно безумна и абсурдна, чтобы быть правдой. Джон Уилер из Принстона отмечает тот факт, что в XIX веке перспектива объяснить невероятное разнообразие жизненных форм на Земле представлялась безнадежной. Но затем Чарльз Дарвин предложил теорию естественного отбора, и одна-единственная теория предоставила всю архитектуру для объяснения происхождения и разнообразия жизни на Земле.

Лауреат Нобелевской премии Стивен Вайнберг приводит еще одну аналогию. После Колумба карты, составленные в результате отважных путешествий первых европейских исследователей, явно указывали на существование «Северного полюса», но непосредственного доказательства его существования не было. Поскольку на

всех картах Земли был огромный пробел как раз в том месте, где, по видимому, находился Северный полюс, ранние исследователи просто предположили его существование, несмотря на то что ни один из них не бывал на нем. Подобным образом физики нашего времени обнаруживают массу доказательств, указывающих на то, что теория всего должна существовать, хотя в данный момент ученые еще не пришли к консенсусу о том, какова же эта конечная теория.

История струнной теории

Теория, которая совершенно явно «достаточно безумна», чтобы быть истинной теорией поля, — это струнная теория, или М-теория. История струнной теории, возможно, самая причудливая из всех, что значатся в анналах физики. Она была открыта совершенно случайно, применена к решению не той проблемы, предана забвению и внезапно возродилась в качестве теории всего. И в конечном счете, поскольку небольшие поправки невозможны без уничтожения всей теории, ей предстоит стать либо «теорией всего», либо «теорией ничего».

Причиной столь странной истории струнной теории является ее развитие вспять. Обычно в такой теории, как теория относительности, начинают с основных физических принципов. Затем эти принципы сводятся к набору основных классических уравнений. В последнюю очередь вычисляют квантовые флуктуации для этих уравнений. Развитие струнной теории происходило в обратном направлении, начавшись со случайного открытия ее *квантовой* теории. И по сей день физики ломают голову над тем, какие *физические* принципы могут приводить в действие всю эту теорию.

Рождение струнной теории восходит к 1968 году, когда в ядерной лаборатории Европейской организации ядерных исследований (CERN) в Женеве два молодых физика Габриэле Венециано и Махико Сузуки листали книгу по математике и наткнулись на бета-функцию Эйлера, малоизвестную математическую формулу, открытую в XVIII веке Леонардом Эйлером, которая, казалось, странным образом описывала субатомный мир. Венециано и Сузуки были ошеломлены, увидев, что эта абстрактная математическая формула, по всей видимости, описывала столкновение двух я-мезонных частиц при невероятно высоких энергиях. Модель Венециано вскоре про-

извела сенсацию в физике; буквально в сотнях работ исследователи пытались обобщить ее для описания ядерных взаимодействий.

Иными словами, струнная теория была открыта совершенно случайно. Эдвард Виттен из Института передовых исследований (которого многие считают творческим мотором многих ошеломительных переворотов в этой теории) сказал: «По справедливости говоря, у физиков XX века не должно было бы быть привилегии изучать эту теорию. По справедливости говоря, струнная теория не должна была быть изобретена».

Я ясно помню переполох, вызванный струнной теорией. Я в то время был еще аспирантом-физиком в Калифорнийском университете в Беркли. Помню, как физики качали головами и утверждали, что физика не должна была идти таким путем. В прошлом физика обычно основывалась на скрупулезных наблюдениях за природой, формулировании какой-либо частной гипотезы, внимательной проверке соответствия теории экспериментальным данным, а затем скучного повторения процесса, и так раз за разом. Струнная же теория основана на получении ответа методом простой догадки. Прежде считалось, что такие захватывающие прорывы невозможны.

Поскольку субатомные частицы нельзя разглядеть даже при помощи наших мощнейших инструментов, физики прибегли к жестокому, но эффективному методу их анализа — столкновении их при огромных энергиях. Миллиарды долларов были пущены на сооружение огромных «ускорителей частиц» диаметром во много километров. В них создаются пучки субатомных частиц, сталкивающихся друг с другом. Затем физики тщательно анализировали, что осталось после столкновения. Целью этого трудоемкого и напряженного процесса является создание ряда чисел, называемого матрицей рассеяния, или S-матрицей. Этот набор чисел имеет ключевое значение, поскольку в нем закодирована вся информация субатомной физики, — то есть если знать S-матрицу, то можно вывести из нее все свойства элементарных частиц.

Одной из задач физики элементарных частиц является прогнозирование математической структуры S-матрицы для сильных взаимодействий — цель настолько трудно достижимая, что некоторые физики считали, что она лежит за пределами известной физики. Тут уже можно представить сенсацию, которую произвели Венециано и

Судзуки, просто-напросто догадавшиеся об S-матрице, просматривая математическую книжку.

Модель Венециано была совершенно нестандартной. Обычно, когда кто-либо предлагает новую теорию (такую, как, допустим, кварки), физики вертят эту теорию, изменяя простые параметры (массы частиц или, скажем, силы взаимодействия). Но модель Венециано была настолько хорошо пригнана, что даже малейшее нарушение ее основной симметрии разрушало всю формулу. Эту модель можно сравнить с изделием из хрусталя тонкой работы: при любой попытке изменить его форму он разобьется вдребезги.

Из сотен работ, которые банально изменяли параметры модели, тем самым разрушая ее красоту, ни одна не продержалась до сегодняшнего дня. Сохранилась память лишь о работах, авторы которых задавались вопросом о том, почему вообще работает эта теория. Иными словами, они пытались обнаружить ее симметрии. В конце концов физики поняли, что эта теория вообще не содержит настраиваемых параметров.

Как ни замечательна была модель Венециано, все же и в ней крылись кое-какие проблемы. Во-первых, физики поняли, что это было всего лишь первое приближение к окончательной S-матрице, а не полная картина. Бундзи Сакита, Мигель Вирасоро и Кейджи Киккава (в те времена в Университете Висконсина) поняли, что S-матрицу нужно рассматривать как бесконечный ряд элементов и что модель Венециано была всего лишь первым и самым важным элементом в этом ряду. (Грубо говоря, каждый элемент в ряду представлял собой определенное количество вариантов столкновения частиц друг с другом. Они выработали несколько правил, при помощи которых можно было построить высшие элементы в их приближении. В своей диссертации я твердо решил завершить эту программу и создать все возможные поправки к модели Венециано. Вместе с коллегой Л. П. Ю я вычислил бесконечный набор поправочных элементов к этой модели.)

В конце концов Йоитиро Намбу из Чикагского университета и Тэцуо Гото из Японского университета определили ключевую характеристику, которая приводила модель в действие. Этой характеристикой оказалась вибрирующая струна. (В этом направлении также работали Леонард Зюскинд и Хольгер Нильсен.) Когда струна сталкивалась с другой струной, создавалась S-матрица, описанная в

модели Венециано. В таком представлении каждая частица есть нечто иное, как вибрация, или нота, взятая на струне. (Я подробнее обращусь к этому понятию позднее.)

Развитие теории проходило очень стремительно. В 1979 году Джон Шварц, Андре Неве и Пьер Рамон обобщили струнную модель таким образом, что она включала в себя новый параметр — спин, — что делало струнную модель подходящей кандидатурой и для взаимодействий частиц. (Как мы увидим далее, все субатомные частицы вертятся подобно волчку. Спин для каждой субатомной частицы может быть представлен как целым числом (0,1,2), так и полуцелым (1/2, 3/2). Что примечательно, струна Неве-Шварца-Рамона давала именно этот набор спинов.)

И все же я был не удовлетворен. Двойная резонансная модель, как тогда ее называли, представляла собой скопление странных формул и практических методов. В течение последних 150 лет вся физика основывалась на «полях», которые были впервые введены британским физиком Майклом Фарадеем. Представьте себе линии магнитного поля, создаваемого магнитом. Эти линии пронизывают пространство подобно паутине. В любой точке пространства можно измерить напряженность и направления силовых магнитных линий. Подобным образом и поле является математическим объектом, который приобретает различные значения в каждой точке пространства. Таким образом, поле определяет магнитное, электрическое или ядерное взаимодействие в любой точке Вселенной. Поэтому фундаментальное описание электричества, магнетизма, ядерной силы и гравитации основано на полях. Почему струны должны быть чем-то другим? От «полевой теории струн» требовалось, чтобы она дала возможность подвести итог всему содержанию теории в одном-единственном уравнении.

В 1974 году я решил заняться этим вопросом. Вместе с коллегой Кейджи Киккавой из Университета Осаки нам удалось вывести самую суть полевой теории струн. Мы смогли суммировать всю информацию, содержащуюся в струнной теории, в уравнении длиной менее четырех сантиметров! Теперь, когда полевая теория струн была сформулирована, необходимо было убедить физическое сообщество в ее силе и красоте. Я принял участие в конференции по теоретической физике в Аспенском центре в Колорадо тем же летом

и провел семинар с небольшой группой ведущих физиков. Я порядком нервничал: среди слушателей были два нобелевских лауреата, Марри Гелл-Манн и Ричард Фейнман, которые славились тем, что любили задавать едкие и остроумные вопросы, заставляя оратора нервничать. (Однажды во время лекции, которую проводил Стивен Вайнберг, он начертил на доске угол, отмеченный буквой W, который был назван углом Вайнберга в его честь. Фейнман задал вопрос о том, что означала буква W Вайнберг еще только начал отвечать, как Фейнман крикнул: «Неверно!», что вызвало смех в зале. Что же, может быть, Фейнман и развлек слушателей, но последним смеялся все же Вайнберг. Угол на доске представлял важную часть теории Вайнберга, объединившей электромагнитное и слабое взаимодействие и в конечном итоге принесшей ему Нобелевскую премию.)

В ходе своей лекции я подчеркнул тот факт, что струнная теория поля представила бы наиболее простой и всесторонний подход к струнной теории, в значительной степени представлявшей собой разношерстное скопление разрозненных формул. При помощи струнной теории поля всю теорию можно было суммировать в одном-единственном, не очень длинном уравнении: все свойства модели Венециано, все элементы бесконечной аппроксимации возмущения, все свойства колеблющихся струн — все можно было вывести из уравнения, которое поместилось бы в китайском печенье с предсказаниями. Я обратил внимание на симметрии струнной теории, которые придавали ей прелесть и силу. Когда струны движутся в пространстве-времени, они описывают двумерные поверхности, похожие на полоски. Эта теория остается неизменной вне зависимости от координат, которыми мы можем пользоваться для описания этого двумерного пространства. Я никогда не забуду, как после лекции ко мне подошел Фейнман и сказал: «Я не во всем могу согласиться с вами по поводу струнной теории, но лекция, прочитанная вами, — одна из самых красивых, которые я когда-либо слышал».

Десять измерений

Сразу после появления струнной теории ее начали активно разрабатывать, снимая с нее покров тайны. Клод Лавлейс из Университета Рутгерс обнаружил в модели Венециано крошечный математический

изъян, исправить который можно было только в том случае, если Предположить, что пространство-время обладает 26 измерениями. Подобным образом и суперструнная модель Неве, Шварца и Рамона Могла существовать только в десяти измерениях. Физиков это шокировало. Такого наука не видела за всю свою историю. Нигде больше мы не встретим теории, которая определяет количество измерений сама для себя. Например, теории Ньютона и Эйнштейна могут быть сформулированы для любого числа измерений. Знаменитый закон тяготения, построенный на обратных квадратах, можно обобщить в законе обратных кубов для четырех измерений. Что же касается струнной теории, то она могла существовать только в особых измерениях.

С практической точки зрения это было катастрофой. Общепринято было считать, что наш мир существует в трех пространственных измерениях (длина, высота и ширина) и одном временном. Принять теорию, основанную на десяти измерениях, значило признать, что она граничит с фантастикой. Струнные теоретики превратились в объект насмешек. (Джон Шварц вспоминает, как он ехал в лифте с Ричардом Фейнманом, который в шутку сказал: «Ну что, Джон, и в скольких измерениях вы живете сегодня?») Как струнные физики ни пытались спасти модель от краха, она все же довольно быстро скончалась. Только самые упорные продолжили работу над струнной теорией в тот период, и они были весьма немногочисленны.

Двоими из тех, кто продолжил работу над струнной теорией в те унылые годы, были Джон Шварц из Калифорнийского технологического института и Джоэл Шерк из Высшей технической школы в Париже. До того времени предполагалось, что струнная модель создана для описания только сильных ядерных взаимодействий. Но была одна проблема: модель предсказывала существование частицы, которая не встречалась в сильных взаимодействиях, — любопытной частицы с нулевой массой, обладающей двумя квантовыми единицами спина. Ни одна из попыток избавиться от этой надоедливой частицы не увенчалась успехом. Каждый раз, когда ученые пытались исключить эту нежелательную частицу со спином 2, вся модель разрушалась и теряла свои волшебные свойства. Казалось, в этой нежелательной частице каким-то образом содержался секрет всей модели.

Затем Шерк и Шварц выдвинули дерзкое предположение. Возможно, изъят на самом деле был благословением. Если они интерпретировали эту назойливую частицу со спином в 2 как *гравитон* (квант гравитации из теории Эйнштейна), то тогда оказывалось, что струнная теория включала в себя теорию гравитации Эйнштейна! (Иными словами, общая теория относительности Эйнштейна просто выглядит как самая низкая вибрация или нота суперструны.) По иронии судьбы, в то время как в других квантовых теориях физики усиленно пытаются не допускать никакого упоминания о гравитации, струнная теория просто-напросто требует ее присутствия. (В сущности, это одна из привлекательных сторон струнной теории — она должна включать гравитацию, иначе теория окажется противоречивой.) После этого отважного рывка ученые поняли, что струнная теория была неверно применена к неверной проблеме. Струнной теории предстояло стать не просто теорией сильных ядерных взаимодействий — ей было предназначено стать теорией всего. Как отметил Виттен, привлекательной стороной струнной теории является то, что она требует присутствия гравитации. В то время как в стандартные теории поля десятилетиями не удавалось включить гравитацию, в струнной теории она неотъемлемый элемент.

Однако на конструктивную идею Шерка и Шварца в то время никто не обратил внимания. Для того чтобы струнная теория описывала как гравитацию, так и субатомный мир, требовалось, чтобы струны были длиной всего лишь в 10^{-33} см (длина Планка). Иными словами, они были в миллиард миллиардов раз меньше протона. Для большинства физиков это было чересчур.

Однако к середине 1980-х годов все другие попытки создания единой теории поля потерпели неудачу. Те теории, которые наивно пытались присоединить гравитацию к Стандартной модели, утопали в болоте бесконечностей (вскоре я поясню эту проблему). Каждый раз, когда ученые пытались искусственным образом соединить гравитацию с другими квантовыми силами, это приводило к появлению математических противоречий, которые убивали всю теорию. (Эйнштейн считал, что у Бога, возможно, не было выбора при создании Вселенной. Одной из причин тому может быть факт, что лишь одна-единственная теория свободна от всех этих математических противоречий.)

Существовало два вида математических противоречий. Первый — это проблема бесконечностей. Обычно квантовые флуктуации чрезвычайно малы. Квантовые эффекты, как правило, оказывают самое незначительное воздействие на законы движения Ньютона. Именно поэтому мы можем не обращать на них внимания в нашем макроскопическом мире — ведь они слишком малы, чтобы быть замеченными. Однако когда мы превращаем гравитацию в квантовую теорию, эти квантовые флуктуации становятся, в сущности, бесконечными, а это полный абсурд. Второе математическое противоречие относится к «аномалиям», небольшим отклонениям в квантовой теории, которые возникают при добавлении в теорию квантовых флуктуаций. Эти аномалии нарушают первоначальную симметрию теории и лишают ее тем самым первоначальной силы.

Представьте, к примеру, конструктора ракеты: он должен создать гладкий обтекаемый летательный аппарат, который сможет пройти сквозь атмосферу. Чтобы уменьшить трение воздуха и лобовое сопротивление, ракета должна быть строго симметричной (в этом случае цилиндрически симметричной, то есть не изменять форму, если вращать ее вокруг оси). Такая симметрия называется $O(2)$. Но существуют две потенциальные проблемы. Во-первых, поскольку ракета движется с огромной скоростью, в ее крыльях может начаться вибрация. Как правило, при полетах на дозвуковых скоростях такие вибрации очень незначительны. Однако при полетах на сверхзвуковых скоростях эти отклонения могут возрасти и в конечном итоге привести к тому, что крыло оторвется. Подобные противоречия неотступно преследуют любую квантовую теорию гравитации¹⁰ Обычно они настолько малы, что их можно не принимать в расчет, но в квантовой теории гравитации они все расстраивают.

Второй проблемой является то, что в корпусе ракеты могут остаться крошечные трещины. Эти изъяны нарушают изначально задуманную симметрию ракеты $O(2)$. Как бы ни были малы эти трещины, они могут расшириться и в конце концов стать причиной разрушения всего корпуса. Подобным образом такие «трещины» убивают симметрии теории гравитации.

Существует два способа решения проблемы. Первый заключается в том, чтобы найти решение с помощью «пластыря». Этот подход можно сравнить с заклеиванием трещин и укреплением крыльев при

помощи палок в надежде, что ракета не взорвется и ее не разорвет на части в атмосфере. Исторически физики предпочитали именно этот подход в своих попытках соединения квантовой теории с гравитацией. Они пытались замести эти две проблемы под половик. Второй способ состоит в том, чтобы начать все сначала, с новой формой и новыми экзотическими материалами, которые могут выдержать нагрузки межзвездных полетов.

В течение нескольких десятилетий физики пытались «заштопать» квантовую теорию гравитации, но в результате сталкивались с безнадежно огромным количеством новых противоречий и аномалий. Постепенно они поняли, что выход заключается в том, чтобы отбросить возможное решение проблемы при помощи «пластыря» и принять принципиально новую теорию⁴

Струнная теория выходит в свет

В 1984 году отношение к струнной теории совершенно изменилось. Джон Шварц из Калтеха и Майк Грин, тогда работавший в Колледже Королевы Марии в Лондоне, показали, что она лишена всех противоречий, которые заставили ученых отбросить так много теорий. Физикам было уже известно, что струнная теория свободна от математических противоречий. Но Шварц и Грин показали, что она также свободна от аномалий. В результате струнная теория стала ведущим (и на сегодняшний день единственным) претендентом на роль теории всего.

Совершенно неожиданно теория, которую считали полностью мертвой, возродилась. Из «теории ничего» струнная теория превратилась в теорию всего. Множество физиков бросились читать работы по струнной теории. Из исследовательских лабораторий всего мира поползла лавина работ, посвященных струнной теории. Старые работы, которые раньше пылились в библиотеках, внезапно стали самыми животрепещущими новинками в физике. Теория о параллельных вселенных, которая до того считалась слишком абсурдной, чтобы содержать в себе истину, теперь стала в физическом мире признаваться достаточно безумной, чтобы быть истинной. Этому предмету теперь посвящаются сотни конференций и буквально десятки тысяч работ.

(Временами события выходили из-под контроля, потому что некоторые физики подхватили «нобелевскую лихорадку». На обложке журнала «Дискавер» (Discover) в августе 1991 года красовался сенсационный заголовок: «Новая теория всего: физик берется за решение последней космической загадки». В статье приводились слова одного физика, который гнал за славой. «Мне нечего скромничать. Если это сработает, то за это положена Нобелевская премия», — хвастал он. В ответ на возражение о том, что струнная теория находится только в стадии становления, он выпалил: «Самые Важные фигуры в струнной теории говорят, что понадобится четыре сотни лет на то, чтобы доказать существование струн, но я бы предложил им заткнуться».)

Золотая лихорадка была в самом разгаре.

В скором времени возникла ответная реакция на этот триумфальный выход в свет струнной теории. Один физик из Гарварда с пренебрежением говорил, что струнная теория вовсе не является физической теорией, а есть на самом деле не что иное, как одно из направлений чистой математики, или философии, или даже религии. Нобелевский лауреат Шелдрн Глэшоу из Гарварда возглавлял обвинение, сравнивая повсеместное распространение струнной теории со «звездными войнами» (на создание которых затрачиваются огромные средства, но проверить которые невозможно). Глэшоу выразил свое удовольствие по поводу того, что так много молодых физиков занимаются струнной теорией, поскольку, сказал он, таким образом они ему не докучают. Глэшоу попросили прокомментировать заявление Виттена о том, что струнная теория может занять доминирующее положение в физике на ближайшие полвека подобно тому, как квантовая механика лидировала на протяжении последних пятидесяти лет. Тот ответил, что струнная теория будет занимать такое же лидирующее положение, как и теория Калуцы — Клейна (которую он считает полным бредом) на протяжении последних пятидесяти лет, что совсем не соответствует действительности. Он старался не пускать в Гарвард ученых, работающих над струнной теорией. Но поскольку следующее поколение физиков переметнулось на сторону струнной теории, даже одинокий голос Нобелевского лауреата был вскоре заглушен. (С тех пор Гарвард пригласил на работу нескольких ученых, работающих в области струнной теории.)

Космическая музыка

Эйнштейн однажды сказал, что если теория не представляет такой физической картины, которая понятна даже ребенку, то она, скорее всего, бесполезна. К счастью, за струнной теорией стоит четкая физическая картина — картина, основанная на музыке.

Согласно струнной теории, если бы у нас был сверхмощный микроскоп и мы могли взглянуть в сердце электрона, то мы бы увидели вовсе не точечную частицу, а вибрирующую струну. (Струна чрезвычайно маленькая — около длины Планка, которая составляет 10^{-33} см, — в миллиарды миллиардов раз меньше протона, а потому все субатомные частицы выглядят как точки.) Если бы мы задели эту струну, то характер вибрации изменился бы — электрон мог бы превратиться в нейтрино. Заденьте струну снова — и он, возможно, превратится в кварк. В сущности, если задеть струну достаточно сильно, то она могла бы превратиться в любую из известных субатомных частиц. Таким образом, струнная теория может легко объяснить, почему существует так много субатомных частиц. Они представляют собой не что иное, как «ноты», которые можно сыграть на суперструне. Для аналогии, на скрипичной струне ноты ля, си или до-диез не являются основными. Просто, играя на струне различным способом, мы можем получить все ноты музыкальной гаммы. Например, си-бемоль является не более основной, чем соль. Все они представляют собой лишь ноты, которые можно сыграть на скрипичной струне. Подобным образом, ни кварки, ни электроны не являются основными частицами — основой является сама струна. В сущности, все субчастицы Вселенной можно рассматривать в качестве различных вибраций струны. «Гармонией» струны являются законы физики.

Струны могут взаимодействовать путем расщепления и воссоединения, создавая таким образом взаимодействия, которые мы наблюдаем в атомах между электронами и протонами. В общем, с помощью струнной теории мы можем воспроизвести все законы атомной и ядерной физики. «Мелодии», которые могут быть сыграны на струнах, соотносятся с законами химии. Всю Вселенную теперь можно рассматривать как необъятную струнную симфонию.

Струнная теория не только дает объяснение частиц квантовой теории как музыкальных нот Вселенной, она также объясняет теорию относительности Эйнштейна: самая низкая вибрация струны, частица со спином «двойка» и нулевой массой, может интерпретироваться как гравитон — частица или квант гравитации. Если мы подсчитаем взаимодействия этих гравитонов, то в точности получим старую добрую теорию гравитации Эйнштейна в квантовом виде, Двигаясь, расщепляясь и изменяя форму, струна налагает огромные ограничения на пространство-время. При анализе этих ограничений мы опять-таки приходим к старой доброй общей теории относительности Эйнштейна. Таким образом, струнная теория четко объясняет теорию Эйнштейна без ненужных дополнительных усилий. Эдвард Виттен сказал, что если бы Эйнштейн не открыл теорию относительности, то его теория была бы открыта как побочный продукт струнной теории. В каком-то смысле, общая теория относительности является к ней бесплатным приложением.

Прелесть струнной теории состоит в том, что ее можно уподобить музыке. Музыка дает нам метафору, с помощью которой можно понять природу Вселенной как на субатомном, так и на космическом уровне. Как когда-то написал великий скрипач Иегуди Менухин, «Музыка создает порядок из хаоса; ибо ритм придает единодушные разобщенности; мелодия придает связность разрозненности; а гармония придает совместимость несовместимому».

Эйнштейн писал, что его поиски единой теории поля в конечном счете позволят ему «узреть замысел Божий». Если струнная теория верна, то мы увидим, что замысел Бога — это космическая музыка, резонирующая во всех десяти измерениях гиперпространства. Готфрид Лейбниц однажды сказал: «Музыка — это скрытые арифметические упражнения души, которая не ведает о том, что занимается вычислениями».

Исторически связь между музыкой и наукой установилась в V веке до н. э., когда греки-пифагорейцы открыли законы гармонии и свели их к математике. Они обнаружили, что высота тона задетой струны лиры соотносится с ее длиной. Если длину струны лиры увеличивали вдвое, то тон становился на октаву ниже. Если длину струны уменьшали до двух третей, то тон менялся на квинту. Исходя из этих

данных, законы музыкальной гармонии могли быть сведены к точным отношениям между числами. Неудивительно, что девизом пифагорейцев была следующая фраза: «Всё есть числа». Изначально они были так довольны полученным результатом, что попытались применить выведенные законы гармонии ко всей Вселенной. Однако все их усилия были напрасны, поскольку такая задача отличалась чрезвычайной сложностью. И все же, работая со струнной теорией, физики в каком-то смысле возвращаются к мечте пифагорейцев.

Комментируя эту историческую связь, Джейми Джеймс однажды сказал: «Музыка и наука [когда-то] были настолько тесно связаны, что любого, кто предположил бы существование какого-либо коренного различия между ними, посчитали бы невеждой, [однако сегодня] любой, предположивший, что у них есть нечто общее, рискует показаться мещанином одной стороне и дилетантом — второй; и, что самое неприятное, обе группы сочтут его человеком, популяризирующим их идеи».

Проблемы в гиперпространстве

Но если дополнительные измерения и вправду существуют в природе, а не только в чистой математике, то ученым, занимающимся струнной теорией, придется заняться той же проблемой, что неотступно преследовала Теодора Калуцу и Феликса Клейна в 1921 году, когда они сформулировали первую теорию дополнительных измерений: где же находятся эти измерения?

Калуца, в прошлом малоизвестный математик, написал Эйнштейну письмо, в котором предлагал переписать уравнения Эйнштейна применительно к пяти измерениям (одно измерение времени и четыре измерения пространства). С математической точки зрения это никакой проблемы не представляло, поскольку уравнения Эйнштейна могли быть легко переписаны для любого количества измерений. Но в письме содержалось поразительное замечание: если выделить четырехмерные части, содержащиеся в уравнениях, записанных для пяти измерений, то мы автоматически, будто по волшебству, получим теорию света Максвелла! Иными словами, если мы всего лишь добавим пятое измерение, то из уравнений Эйнштейна для гравитации получается теория электромагнитного взаимодействия Максвелла.

Хотя мы не можем видеть само пятое измерение, на его поверхности образуется рябь, которая соответствует световым волнам! Это был приятный результат, поскольку на протяжении последних 150 лет целым поколениям физиков и инженеров приходилось заучивать сложные уравнения Максвелла. Сегодня эти сложные уравнения без всяких усилий выводятся как простейшие вибрации, которые можно обнаружить в пятом измерении.

Представьте себе рыб, плавающих в мелком пруду прямо под листьями кувшинок. Они считают, что их «вселенная» двумерна. Наш трехмерный мир может находиться за пределами их знания. Но существует способ, с помощью которого они могут уловить присутствие третьего измерения. Если идет дождь, то они отчетливо видят тень волн ряби, расходящихся по поверхности пруда. Подобным образом и мы не можем видеть пятого измерения, но рябь в пятом измерении предстает перед нами как свет.

(Теория Калуцы была прекрасным и глубоким открытием, касающимся симметрии. Позднее было замечено, что если мы добавим еще больше измерений к прежней теории Эйнштейна и заставим их вибрировать, то тогда эти вибрации дополнительных измерений будут представлять W- и Z-бозоны и глюоны, обнаруженные в сильном и слабом ядерном взаимодействии! Если путь, предложенный Калуцей, был верным, то Вселенная была явно намного проще, чем изначально предполагали ученые. Просто, вибрируя все «выше», измерения представляли многие взаимодействия, правящие миром.)

Хотя Эйнштейна потряс этот результат, он был слишком хорош, чтобы быть правдой. Спустя годы были обнаружены проблемы, которые сделали идею Калуцы бесполезной. Во-первых, его теория была усеяна противоречиями и аномалиями, что весьма типично для теорий квантовой гравитации. Во-вторых, тревожил гораздо более важный физический вопрос: почему же мы не видим пятого измерения? Когда мы пускаем стрелы в небо, мы не видим, чтобы они исчезали в другом измерении. Возьмем дым, который медленно проникает во все области пространства. Поскольку никогда не было замечено, чтобы дым исчезал в высшем измерении, физики поняли, что дополнительные измерения, если они вообще существуют, должны быть меньше атома. За последнее столетие идеей о дополнительных измерениях развлекались мистики и математики; что же касается фи-

зиков, то они с пренебрежением относились к этой идее, поскольку никто и никогда не видел, чтобы предметы пропадали в пятом измерении.

Для спасения теории физикам пришлось предположить, что эти дополнительные измерения настолько малы, что их нельзя наблюдать в природе. Поскольку наш мир четырехмерен, это предполагало, что пятое измерение должно быть свернуто в крошечный шарик размером меньше атома — слишком маленький, чтобы его можно было наблюдать в ходе эксперимента.

Струнной теории приходится сталкиваться с той же проблемой. Мы должны свернуть все эти нежелательные дополнительные измерения в крошечный шарик (этот процесс называется компактификацией). Согласно струнной теории, изначально Вселенная была десятимерной, а все взаимодействия в ней были объединены струной. Однако десятимерное гиперпространство было неустойчивым, и шесть из десяти измерений начали сворачиваться в крошечный шарик, а остальные четыре расширились в Большом Взрыве. Причиной, по которой мы не видим эти другие измерения, является то, что они намного меньше атома, а потому ничто не может в них проникнуть. (Например, садовый шланг и соломинка издали кажутся одномерными объектами, основной характеристикой которых является их длина. Но если рассмотреть их поближе, то мы обнаружим, что они, в сущности, являются двумерными поверхностями или цилиндрами, но второе измерение свернулось таким образом, что мы его не видим.)

Почему струны?

Хотя все предыдущие попытки построить единую теорию поля с треском провалились, струнная теория до сих пор выдержала все испытания. В сущности, ей нет равных. Существуют две причины, по которым струнная теория преуспела там, где все остальные теории потерпели поражение.

Во-первых, будучи основанной на протяженном предмете (струне), струнная теория избегает многих отклонений, связанных с точечными частицами. Как заметил Ньютон, гравитационное взаимодействие, окружающее точечную частицу, при приближении к ней

становится бесконечным. (В знаменитом законе обратных квадратов Ньютона гравитационное взаимодействие увеличивается пропорционально зависимости $1/r^2$, так что оно стремится к бесконечности, когда мы приближаемся к точечной частице; то есть когда r стремится к нулю, гравитационное взаимодействие возрастает и стремится к $1/0$, что представляет собой бесконечность.)

Даже в квантовой теории эта сила остается бесконечной, если мы приблизимся к квантовой точечной частице. За многие десятилетия Фейнман и другие ученые создали ряд хитрых правил, с помощью которых эти и многие другие противоречия можно было замести под ковер. Но для того, чтобы исключить все бесконечности в квантовой теории гравитации, недостаточно даже мешка ухищрений, собранного Фейнманом. Проблема в том, что точечные частицы бесконечно малы, а это означает, что их силы и энергии потенциально бесконечны.

Но при внимательном рассмотрении струнной теории мы увидим, что есть два способа, при помощи которых мы можем избавиться от этих противоречий. Первый способ исходит из топологии струн, а второй из-за своей симметрии называется суперсимметрией.

Топология струнной теории носит совершенно другой характер, чем топология точечных частиц, а отсюда различны и возникающие противоречия. (Грубо говоря, поскольку струна обладает конечной длиной, это означает, что силы не стремятся к бесконечности при приближении к струне. Рядом со струной силы возрастают пропорционально зависимости $1/L^2$, где L — это длина струны, соизмеримая с длиной Планка, порядка 10^{-33} см. Эта длина L позволяет отсечь все противоречия.) Поскольку струна не является точечной частицей, обладая определенным размером, можно показать, что противоречия «размазаны» вдоль всей струны, и отсюда все физические величины становятся конечными.

Хотя интуитивно кажется совершенно очевидным, что все противоречия струнной теории «размазаны» и потому конечны, точное математическое выражение этого факта довольно сложно и представлено «эллиптической модулярной функцией», одной из самых странных функций математики. Ее история настолько захватывающая, что ей даже довелось играть ключевую роль в одном из голливудских фильмов. «Умница Уилл Хантинг» — это история о неотесанном

пареньке из рабочей семьи с окраин Кембриджа (его играл Мэтт Дэймон), который демонстрировал потрясающие способности к математике.

В сущности, фильм «Умница Уилл Хантинг» основан на жизни Сринивазы Рамануджана, величайшего математического гения двадцатого столетия. Он вырос в бедности и изоляции от основных научных достижений возле Мадраса в Индии на рубеже XIX и XX веков. Поскольку юноша жил в условиях оторванности от научного мира, ему пришлось до многого доходить самому, основываясь на европейской математике XIX века. Его карьера была подобна взрыву сверхновой, мимолетно осветившей небеса его математической гениальностью. Его смерть была трагична: он умер от туберкулеза в 1920 году в возрасте 37 лет. Подобно Мэтту Дэймону из фильма «Умница Уилл Хантинг», Рамануджан грезил математическими уравнениями, в данном случае эллиптической модулярной функцией: написанная для двадцати четырех измерений, она обладает причудливыми, но красивыми математическими свойствами. Математики и по сей день пытаются расшифровать «утерянные записи Рамануджана», обнаруженные после его смерти. Оглядываясь на работу Рамануджана, мы видим, что ее можно обобщить и свести к восьми измерениям, которые напрямую применимы к струнной теории. Физики добавляют еще два измерения для построения физической теории. (Например, создание поляризованных солнцезащитных очков основано на том факте, что свет обладает двумя физическими поляризациями: он может вибрировать влево-вправо или вверх-вниз. Но математическая формулировка света в уравнениях Максвелла представлена четырьмя компонентами. Две из этих четырех вибраций, в сущности, лишние.) Если мы добавим еще два измерения к функциям Рамануджана, то «волшебными числами» математики становятся 10 и 26, которые являются «волшебными числами» и в струнной теории. Таким образом выходит, что в каком-то смысле Рамануджан занимался струнной теорией еще до Первой мировой войны!

Сказочные свойства этих эллиптических модулярных функций объясняют, почему теория должна существовать в десяти измерениях. Только в таком количестве измерений будто по волшебству исчезает большая часть противоречий, наводняющих все остальные

теории. Но сама по себе топология струн не обладает достаточной «властью», чтобы исключить все эти противоречия. Остальные противоречия струнной теории устраняются при помощи второй ее характеристики — суперсимметрии.

Суперсимметрия

В струне заключены некоторые величайшие симметрии, известные науке. Обсуждая инфляционное расширение Вселенной и Стандартную модель в главе 4, мы видели, что симметрия предоставляет нам прекрасный способ организации субатомных частиц в приятные и изящные модели. Три типа кварков могут быть организованы согласно симметрии $SU(3)$, которая позволяет кваркам меняться между собой местами. В теории ТВО считается, что пять типов кварков и лептонов могли бы быть организованы согласно симметрии $SU(5)$.

В струнной теории благодаря этим симметриям уходят оставшиеся противоречия и аномалии. Поскольку симметрии представляют собой одно из наиболее прекрасных и мощных средств, имеющихся в нашем распоряжении, то вполне можно было бы ожидать, что теория Вселенной должна обладать наиболее изящной и мощной симметрией, какая только известна науке. Логичной была бы симметрия, которая позволила бы менять местами не только кварки, но и все частицы, которые можно встретить в природе. Это значит, что все уравнения должны оставаться неизменными, если мы изменим положение всех частиц относительно друг друга. Такой подход в точности описывает симметрия суперструны, называемая суперсимметрией^[12]. Это единственный вид симметрии, который позволяет менять местами все известные физикам субатомные частицы. Такая симметрия является идеальным претендентом на место симметрии, которая организует все частицы Вселенной в единое, изящное целое.

Если рассматривать все взаимодействия и частицы Вселенной, то мы увидим, что, в зависимости от спина, все они делятся на две категории — «фермионы» и «бозоны». Они ведут себя как волчки, которые могут вращаться с различными скоростями. К примеру,

спин фотона, частицы, являющейся носителем электромагнитного взаимодействия, равен единице. Гравитон, частица гравитации, имеет спин, равный двум. Все частицы, обладающие спином, выражающимся целым числом, называют бозонами. Подобным образом, частицы вещества описываются при помощи субатомных частиц, спин которых выражается полуцелыми значениями — $1/2$, $3/2$, $5/2$ и так далее. (Частицы с полуцелыми значениями спина называют фермионами. К ним относятся электрон, нейтрино и кварки.) Таким образом, суперсимметрия изящно выражает дуализм, возникающий между бозонами и фермионами, между взаимодействиями и веществом.

В теории, основанной на суперсимметрии, у каждой частицы есть напарник: каждый фермион находится в паре с бозоном. Хотя мы никогда не наблюдали этих суперсимметричных партнеров в природе, физики окрестили партнера электрона «сэлектроном», который обладает спином, равным нулю. (Физики добавляют «с» для описания суперпартнера какой-либо частицы.) Слабые взаимодействия включают в себя частицы, называемые лептонами: их суперпартнеров называют слептонами. Подобным образом и у кварка может быть партнер с нулевым спином, который называется скварком. В целом, партнеры всех известных частиц (кварков, лептонов, гравитонов, фотонов и так далее) называются счастицами, или суперчастицами. Эти счастицы нам еще только предстоит обнаружить при помощи ускорителей частиц (возможно, наше оборудование еще не достаточно мощное, чтобы мы могли получить эти частицы).

Но поскольку все субатомные частицы являются либо фермионами, либо бозонами, то в теории суперсимметрии содержится потенциал объединения всех известных субатомных частиц одной простой симметрией. Теперь у нас есть достаточно обширная симметрия, которая включит в себя целую Вселенную.

Представьте себе снежинку. Пусть каждый из шести ее кончиков представляет субатомную частицу, при этом бозоны расположены через один и за каждым бозоном следует фермион. Красота этой «суперснежинки» состоит в том, что при вращении она остается неизменной. Таким образом, эта суперснежинка объединяет все частицы и их счастицы. Поэтому, если мы попытаемся построить гипотетическую единую теорию поля, в которой есть лишь шесть

частиц, то вполне естественно, что лучшим претендентом на эту роль явится суперснежинка.

Суперсимметрия помогает устранить все оставшиеся бесконечности, которые для других теорий оказывались роковыми. Ранее мы уже упоминали о том, что большая часть отклонений устраняется благодаря топологии струны — то есть, поскольку струна обладает конечной длиной, силы не стремятся к бесконечности при приближении к самой струне. При рассмотрении оставшихся отклонений мы видим, что они делятся на два типа, исходя из взаимодействий бозонов и фермионов. Однако два типа действий, производимых этими частицами, всегда имеют противоположный знак, а потому действие фермиона всегда компенсируется действием бозона! Иными словами, поскольку действия бозона и фермиона всегда имеют противоположный знак, то оставшиеся в теории противоречия взаимоустраиваются. Таким образом, суперсимметрия — это не просто витринное крашение. Это не только симметрия, которая дарит эстетическое удовольствие, — это неотъемлемый элемент для устранения отклонений в струнной теории.

Вспомним аналогию конструирования гладкой ракеты, в которой вибрации могут возрасти настолько, что в конечном счете у нее оторвет крылья. Одним из решений этой проблемы является применение силы симметрии для корректировки конструкции крыльев — таким образом, чтобы вибрации, возникающие в одном крыле, компенсировали вибрации в другом. Когда одно крыло вибрирует по часовой стрелке, второе крыло должно вибрировать против часовой стрелки, что уравнивает вибрацию первого крыла. Таким образом, симметрия ракеты — казалось бы, всего лишь искусственный художественный элемент — имеет ключевое значение в устранении и балансировке нагрузок на крылья ракеты. Подобным образом и суперсимметрия устраняет отклонения благодаря тому, что бозонная и фермионная части полностью компенсируют действие друг друга.

(Суперсимметрия также решает ряд сложных технических проблем⁽¹³⁾, фатальных для ТВО. Для устранения математических противоречий в ТВО необходима суперсимметрия.)

Хотя суперсимметрия несет в себе очень мощную идею, в настоящее время не существует никаких экспериментальных доказательств ее истинности. Это может объясняться тем, что суперпартнеры из-

вестных нам электронов и протонов могут попросту обладать слишком большой массой, чтобы мы могли получить их на современных ускорителях частиц. Однако существует очень даже привлекательное доказательство существования суперсимметрии. Мы знаем, что три квантовых взаимодействия различны по силе. В сущности, при малых энергиях сильное взаимодействие в 30 раз сильнее слабого взаимодействия и в сотню раз сильнее электромагнетизма. Однако так было не всегда. Мы предполагаем, что в момент Большого Взрыва все три взаимодействия были равны по силе. Возвращаясь назад во времени, физики могут вычислить силы трех взаимодействий в начале времен. Анализируя Стандартную модель, физики обнаружили, что силы трех взаимодействий, видимо, стремились к равенству в момент Большого Взрыва. Но они не в точности равняются друг другу. Зато когда мы добавляем суперсимметрию, то все три взаимодействия в точности совпадают друг с другом по силе, а это именно то, что предполагается в единой теории поля. И хотя этот факт не является прямым доказательством в пользу суперсимметрии, он все же показывает, что суперсимметрия, по крайней мере, вписывается в рамки известной физики.



Силы слабого, сильного и электромагнитного взаимодействия не являются эквивалентными по силе в современном нам мире. Однако при энергиях Большого Взрыва силы этих взаимодействий должны полностью совпадать. Это совпадение имеет место при применении теории суперсимметрии. Таким образом, суперсимметрия может оказаться ключевым элементом для любой единой теории поля.

Вывод Стандартной модели

Хотя в суперструнах в принципе не существует настраиваемых параметров, струнная теория может предложить решения, удивительно близкие к Стандартной модели с ее пестрым собранием причудливых субатомных частиц и девятнадцатью «гуляющими» параметрами (такими, как массы частиц и их силы взаимодействия). Кроме того, в Стандартной модели существуют три идентичные (и лишние) копии всех кварков и лептонов, что кажется совершенно бесполезным. К счастью, струнная теория может без напряжения вывести многие качественные характеристики Стандартной модели. В 1984 году Филип Канделас из Техасского университета, Гари Хоровиц и Эндрю Стромингер из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, а также Эдвард Виттен показали, что если свернуть шесть из десяти измерений струнной теории и при этом сохранить суперсимметрию в оставшихся четырех измерениях, то крошечный шестимерный мир можно описать при помощи того, что математики называют многообразием Калаби-Яу. Взяв несколько примеров из пространств Калаби-Яу, они показали, что симметрию струны можно свести к теории, которая удивительно близка к Стандартной модели.

Таким образом, струнная теория дает нам простой ответ на то, почему в Стандартной модели существуют три излишних поколения. В струнной теории количество поколений или излишеств в кварковой модели связано с количеством «отверстий», которые мы обнаруживаем в многообразии Калаби-Яу. (Например, возьмем пончик, велосипедную камеру и кофейную чашку — все они являются поверхностями с одним отверстием. В оправе для очков два отверстия. В пространствах Калаби-Яу может существовать произвольное количество отверстий.) Таким образом, просто выбрав многообразие Калаби-Яу, в котором есть определенное количество отверстий, мы можем построить Стандартную модель с различными поколениями лишних кварков. (Поскольку мы никогда не видим пространства Калаби-Яу из-за того, что оно очень маленькое, мы также никогда не видим и того факта, что это пространство, подобно пончику, пронизано отверстиями.) В течение многих лет группы физиков пытались каталогизировать все возможные пространства

Калаби-Яу, осознавая тот факт, что топология этого шестимерного пространства определяет кварки и лептоны нашей четырехмерной Вселенной.

М-теория

Всеобщее увлечение струнной теорией, имевшее место в 1984 году, не могло продолжаться вечно. К середине 1990-х годов триумфальное шествие теории суперструн начало сбавлять темп. Легкие проблемы, которые решала эта теория, были уже все выбраны, и остались только сложные. Одной из таких проблем было открытие миллиардов решений струнных уравнений. При компактификации, или свертывании пространства-времени различным образом, струнные решения можно было записывать в любом измерении, а не только в четырех. Каждое из миллиардов струнных решений соответствовало математически непротиворечивой Вселенной.

Физики внезапно начали тонуть в струнных решениях. Что примечательно, многие из этих решений выглядели очень похожими на нашу Вселенную. Выбрав подходящее пространство Калаби-Яу, можно было относительно несложно воспроизвести многие из существенных черт Стандартной модели с ее причудливым скоплением кварков и лептонов, даже с ее любопытным набором поколений. Однако чрезвычайно сложной задачей (неразрешенной и по сей день) было обнаружить первоначальную Стандартную модель с определенными значениями ее девятнадцати параметров и тремя излишними поколениями. (Ошеломляющее количество струнных решений, вообще-то, приветствовалось физиками, которые поддерживали идею Мультивселенной, поскольку каждое решение представляет полностью непротиворечивую параллельную вселенную. Однако удручал тот факт, что физики испытывали сложности в обнаружении именно нашей Вселенной в этих джунглях вселенных.)

Одной из причин сложности этого предприятия является то, что в конечном счете суперсимметрию все же нужно разрушить, поскольку в нашем мире низких энергий мы этой симметрии не наблюдаем. К примеру, мы не видим в природе сэлектрона — суперпартнера электрона. Если оставить суперсимметрию нетронутой, то масса каждой частицы должна быть эквивалентна массе ее суперчастицы.

Физики считают, что суперсимметрия была нарушена, и результатом этого является то, что массы суперчастиц огромны и, таким образом, суперчастицы находятся вне пределов досягаемости современных ускорителей частиц. Но в настоящее время никто еще не предложил правдоподобного механизма для нарушения суперсимметрии.

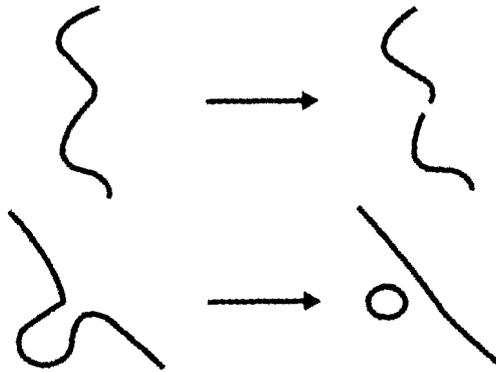
Дэвид Гросс из Института теоретической физики Кавли в Санта-Барбаре заметил, что существуют миллионы и миллионы решений струнной теории в трех пространственных измерениях, что несколько смущает, поскольку нет способа, с помощью которого мы можем выбирать среди них.

Были и другие вопросы, в частности то, что существовало пять непротиворечивых струнных теорий. Было сложно представить, что Вселенная могла позволять существование пяти отдельных единых теорий поля. Эйнштейн считал, что у Бога не было выбора при создании Вселенной, так почему же Бог должен был создать целых пять вселенных?

Первоначальная теория, основанная на формуле Венециано, описывает то, что называют суперструнной теорией типа I. В теории типа I фигурируют как открытые струны (с двумя концами), так и замкнутые струны (свернутые в окружность). Эту теорию очень активно разрабатывали в начале 1970-х годов. (Используя струнную теорию поля, Киккаве и мне удалось каталогизировать полный набор струнных взаимодействий типа I. Мы показали, что струны типа I требуют пять взаимодействий. Что касается замкнутых струн, то мы показали, что там необходим только один член взаимодействия.)

Мы с Киккавой также показали, что возможно построение полностью непротиворечивых теорий только с замкнутыми струнами (то есть похожими на петлю). Сегодня такие теории называются струнными теориями типа II, где струны взаимодействуют путем расщепления на две струны меньшего размера (этот процесс напоминает митоз в клетках).

Наиболее реалистичной струнной теорией считается теория гетеротических струн, сформулированная группой ученых из Принстона (в том числе Дэвидом Гроссом, Эмилем Мартинекком, Райаном Ромом и Джеффри Харви). Теория гетеротических струн может содержать в себе группы симметрии, называемые $E(8) \times E(8)$ или $O(32)$, которые достаточно велики, чтобы включить в себя теории ТВО. Теория гете-



Взаимодействие струн типа I может проходить в пяти различных вариантах. В ходе этих взаимодействий струны могут разрываться, соединяться и расщепляться. Для замкнутых струн характерно лишь последнее взаимодействие, которое напоминает процесс митоза в клетках.

ротических струн полностью основывается на замкнутых струнах. В 1980-е и 1990-е годы, говоря о теории суперструн, ученые подразумевали теорию гетеротических струн, поскольку она достаточно богата, чтобы позволить анализировать внутри нее Стандартную модель и теории ТВО. Например, группу симметрии $E(8) \times E(8)$ можно

разбить до симметрии $E(8)$, а затем — $E(6)$, которая, в свою очередь, достаточно велика, чтобы включать симметрию $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ «Стандартной модели».

Загадка супергравитации

Вдобавок к наличию пяти теорий суперструн существовал еще один насущный вопрос, позабытый в погоне за решением струнной теории. В 1976 году три физика — Питер ван Ньюенхойзен, Серджо Феррара и Дэниэл Фридман, в то время работавших в Государственном университете Нью-Йорка в Стоуни-Брук, обнаружили, что первоначальная теория гравитации Эйнштейна могла стать суперсимметричной, если ввести в нее всего лишь одно новое поле, суперпартнер первоначального гравитационного поля со спином $3/2$ (названное гравитино, что означает «маленький гравитон»). Эта новая теория получила название теории супергравитации. В ее основе лежали точечные частицы, а не струны. В отличие от теории суперструн, где существовала бесконечная последовательность нот и резонансов, в теории супергравитации было всего лишь две частицы. В 1979 году Юджин Креммер, Джоэл Шерк и Бернар Джулия из французской Высшей технической школы показали, что самая общая теория супергравитации может быть записана в одиннадцати измерениях. (При попытках записать теорию супергравитации в двенадцати или тринадцати измерениях возникали математические противоречия.) В конце 1970-х — начале 1980-х годов считалось, что теория супергравитации вполне могла бы оказаться мифической единой теорией поля. Теория супергравитации даже вдохновила Стивена Хокинга на слова о том, что виден не вдалеке «конец теоретической физики» (в ходе его инаугурационной лекции при занятии в Кембриджском университете той самой кафедры математики, которую в свое время возглавлял сам Исаак Ньютон). Но супергравитация вскоре столкнулась с теми же проблемами, какие погубили и предыдущие теории. Хотя в теории супергравитации было меньше противоречий, чем в обычной теории поля, но в ней не хватало завершенности и было полно потенциальных аномалий. Как и все остальные теории поля (за исключением струнной теории), она рассыпалась на глазах у ученых.

Еще одной суперсимметричной теорией, которая может существовать в одиннадцати измерениях, является теория супермембран. Хотя струна обладает только одним измерением, определяющим ее длину, у супермембраны может быть два или более измерений, поскольку она представляет собой поверхность. Что примечательно, два типа мембран — *двубранные* и *пятибранные* — также оказываются непротиворечивыми в одиннадцати измерениях.

Однако и в теории супермембран не обошлось без проблем. Супермембраны широко известны тем, что с ними очень сложно работать, а их квантовые теории действительно расходятся. В то время как скрипичные струны настолько просты, что еще греки-пифагорейцы смогли выработать законы гармонии, работать с мембранами настолько трудно, что даже сегодня ни у кого не возникло удовлетворительной теории музыки, основанной на них. Кроме того, было доказано, что эти мембраны неустойчивы и в конечном итоге распадаются на точечные частицы.

Итак, к середине 1990-х годов у физиков было несколько загадок. Почему существовало пять струнных теорий в десяти измерениях? И почему в одиннадцати измерениях было две теории — супергравитации и супермембран? Более того, все они обладали суперсимметрией.

Одиннадцатое измерение

В 1994 году произошел еще один научный прорыв: он произвел эффект разорвавшейся бомбы и вновь изменил весь научный ландшафт. Эдвард Виттен и Пол Таунсенд из Кембриджского университета математически показали, что десятимерная струнная теория на самом деле была приближением к загадочной одиннадцатимерной теории высшего порядка и неизвестного происхождения. Виттен, к примеру, показал, что если мы возьмем мембранную теорию в одиннадцати измерениях и свернем одно измерение, то она превратится в десятимерную струнную теорию типа Па!

Вскоре после этого было обнаружено, что все пять струнных теорий, по сути, приближения одной и той же загадочной одиннадцатимерной теории. Поскольку в одиннадцати измерениях могут существовать мембраны различных типов, Виттен назвал эту новую

теорию М-теорией. Но она не только объединяла пять различных струнных теорий: в качестве бонуса она представила еще и объяснение загадки супергравитации.

Если вы помните, теория супергравитации представляла собой одиннадцатимерную теорию, которая содержала в себе всего лишь две частицы с нулевой массой, изначальный гравитон Эйнштейна и его суперсимметричный партнер (названный гравитино). Однако в М-теории существует бесконечное количество частиц с различными массами (соответствующими бесконечным вибрациям, которые могут стать рябью на некой одиннадцатимерной мембране). Но М-теория может объяснить существование супергравитации, если мы предположим, что крошечная часть М-теории (только частицы, не имеющие масс) является старой теорией супергравитации. Иными словами, теория супергравитации является лишь частным случаем М-теории. Аналогично, если мы возьмем эту загадочную одиннадцатимерную мембранную теорию и свернем одно измерение, то мембрана превратится в струну. Фактически, струнная теория типа II оказывается самым настоящим частным случаем одиннадцатимерной мембранной теории, где свернуто одно измерение! Например, если мы взглянем на сферу в одиннадцати измерениях, а затем одно измерение свернем, то сфера разрушится, а ее экватор превратится в замкнутую струну. Мы видим, что сферу можно рассматривать как ломтик мембраны, если свернуть одиннадцатое измерение до маленького круга.



Десятимерная струна может получиться из одиннадцатимерной мембраны, если мы вырежем или свернем одно измерение. Когда мы свернем одно измерение, экватор мембраны превратится в струну. Существует пять способов такого сворачивания, что порождает пять различных десятимерных теорий суперструн.

Таким образом, мы обнаруживаем прекрасный и простой способ объединения всей десятимерной и одиннадцатимерной физики в одну-единственную теорию! Это стало концептуальным прорывом.

Я все еще помню потрясение, вызванное этим сенсационным открытием. Я в то время собирался читать лекцию в Кембриджском университете. Пол Таунсенд очень любезно представил меня слушателям. Но до лекции он с большим воодушевлением объяснил мне этот новый научный результат — что в одиннадцатом измерении различные струнные теории могут быть объединены в одну-единственную мембранную теорию. В названии моей лекции фигурировало десятое измерение. До лекции Таунсенд сказал мне о том, что если эти последние научные изыскания окажутся удачными, то название моей лекции будет звучать старомодно.

Я сказал про себя: «Ой-ой-ой». Либо он совершенно спятил, либо физическому сообществу предстоял переворот с ног на голову.

Я не мог поверить в то, что слышал, а потому в свою защиту я обрушил на Таунсенда град вопросов. Я указал на тот факт, что одиннадцатимерные супермембраны, теория, которую он сам помогал формулировать, бесполезны, поскольку с ними трудно иметь дело в математическом отношении, и, что еще хуже, они нестабильны. Он признал существование этой проблемы, но выразил уверенность в том, что эти вопросы будут решены в будущем.

Я также сказал, что одиннадцатимерная супергравитация не была окончательной теорией; она рассыпалась на глазах у ученых, как и все остальные теории, за исключением струнной. Таунсенд спокойно ответил, что это больше не представляет проблемы, поскольку супергравитация была всего лишь приближением к большей теории, все еще окутанной тайной, — М-теории, которая и есть окончательная. По сути, это была струнная теория, переформулированная в одиннадцатом измерении на основе мембран.

Тогда я сказал, что супермембраны неприемлемы по той причине, что никто еще не смог объяснить, каким образом взаимодействуют мембраны, когда они сталкиваются и меняют форму (как сделал я для струнной теории в своей собственной диссертации несколько лет назад). Он признал, что это представляет проблему, но он был уверен, что и она решаема.

Наконец я сказал, что М-теория не является теорией вообще, поскольку ее основные уравнения неизвестны. В отличие от струнной теории (которую можно было выразить на основе простых струнных уравнений поля, записанных мною несколько лет тому назад и содержащих в себе всю теорию), у мембран вообще не было теории поля. Он согласился и с этой точкой зрения. Но все же он был уверен, что уравнения для М-теории в конце концов будут выведены.

У меня закружилась голова. Если Таунсенд был прав, то струнной теории вновь предстояло претерпеть радикальную трансформацию. Мембраны, когда-то отправленные в мусорную корзину истории физики, возрождались.

Источником этой революции является то, что струнная теория продолжает развиваться вспять. Даже сегодня никому не известны простые физические принципы, лежащие в основе всей теории. Мне нравится представлять сложившееся положение как блуждание по пустыне, в ходе которого мы случайно находим маленький красивый камешек. Когда мы счищаем с него песок, мы обнаруживаем, что этот камешек в действительности — лишь вершина пирамиды, похороненной под тоннами песка. После десятилетий изнуряющих раскопок мы находим таинственные иероглифы, потайные комнаты и туннели. Когда-нибудь мы доберемся до первого этажа и попадем внутрь.

Мир бран

Одной из оригинальных черт М-теории является то, что она вводит не только струны, но и целый зверинец мембран различных измерений. В таком представлении точечные частицы называются «нульбранами», потому что они бесконечно малы и не имеют измерения. Тогда струна «однобранна», поскольку это одномерный объект, определяемый своей длиной. Мембрана «двубранна», подобно поверхности баскетбольного мяча, которая определяется длиной и шириной. (Баскетбольный мяч может двигаться в трех измерениях, но его поверхность лишь двумерна). Наша Вселенная может быть «трехбранной», трехмерным объектом, обладающим длиной, шириной и высотой.

Существует несколько способов, при помощи которых мы можем взять мембрану и свести ее к струне. Вместо того чтобы сворачивать одиннадцатое измерение, мы также можем вырезать ломтик-экватор из одиннадцатимерной мембраны, создав таким образом замкнутую ленту. Если мы уберем толщину этой ленты, то она превратится в десятимерную струну. Петр Хорава и Эдвард Виттен показали, что таким образом мы приходим к гетеротической модели струн.

В сущности, можно показать, что существует пять способов свести одиннадцатимерную М-теорию к десяти измерениям, получив в результате те самые пять теорий суперструн. М-теория дает нам быстрый интуитивный ответ на загадку, почему существует пять струнных теорий. Представьте, что вы стоите на вершине высокого холма и смотрите на равнины. С удачной точки обзора в третьем измерении отдельные части равнины предстают нам объединенными в единую связную картину. Подобным образом, с точки обзора в одиннадцатом измерении, глядя «вниз» на десятимерную равнину, мы видим безумное лоскутное одеяло, сшитое из пяти теорий суперструн — отдельных лоскутков одиннадцатого измерения.

Дуальность

Хотя Пол Таунсенд и не смог ответить на большую часть заданных мной вопросов, окончательно в правильности этой идеи меня убедила сила еще одной симметрии. М-теория не только обладает самым большим набором симметрии, известным физике, у нее есть и еще один козырь в рукаве: дуальность, которая дает М-теории сверхъестественную способность вместить пять теорий суперструн в одну теорию.

Рассмотрим электричество и магнетизм, которые подчиняются уравнениям Максвелла. Было давно замечено, что если мы поменяем местами электрическое поле и магнитное, то уравнения останутся почти неизменными. Эта симметрия станет полной, если мы добавим монополи (единичные магнитные полюса) в уравнения Максвелла. Пересмотренные уравнения Максвелла останутся совершенно неизменными, если мы поменяем электрическое поле с магнитным и заменим электрический заряд e на обратный магнитный заряд. Это означает, что электричество (если электрический заряд мал) в точ-

ности эквивалентно магнетизму (если магнитный заряд велик). Эта эквивалентность называется дуальностью.

В прошлом эту дуальность считали не более чем научной диковинкой, предметом салонных разговоров, поскольку вплоть до сегодняшнего дня никто не видел монополя. Однако физики посчитали примечательным тот факт, что в уравнениях Максвелла содержалась скрытая симметрия, которой природа, по всей видимости, не пользуется (во всяком случае, в нашем секторе Вселенной).

Подобным образом и пять струнных теорий дуальны по отношению друг к другу. Рассмотрим струнную теорию типа I и гетеротическую струнную теорию $SO(32)$. Обычно эти две теории даже не выглядят похожими. Теория типа I основана на разомкнутых и замкнутых струнах, которые могут взаимодействовать пятью различными способами, при этом результатом взаимодействия является расщепление и соединение струн. С другой стороны, струнная теория $SO(32)$ имеет дело только с замкнутыми струнами, которые взаимодействуют только одним способом — подвергаются митозу (подобно клеткам). Струнная теория типа I определяется исключительно для десятимерного пространства, в то время как в струнной теории $SO(32)$ имеется один набор вибраций, определенный в двадцатишестимерном пространстве.

Сложно найти теории, которые были бы в большей степени не похожи друг на друга. Однако, как и в электромагнетизме, эти две теории обладают мощной дуальностью: если увеличить силу взаимодействий, то струны типа I будто по волшебству превращаются в гетеротические струны типа $SO(32)$. (Этот результат настолько неожиданный, что, когда я впервые увидел его, я в изумлении покачал головой. В физике редко находят две теории, которые кажутся совершенно разными во всех отношениях, в то время как доказывається, что они математически эквивалентны.)

Лиза Рэндалл

Возможно, основным преимуществом М-теории над струнной теорией является то, что вместо того, чтобы быть довольно маленькими, эти дополнительные измерения на самом деле довольно велики и их даже можно наблюдать в лаборатории. Согласно струнной теории,

шесть из десяти измерений должны быть свернуты в крошечный шарик, многообразие Калаби-Яу, которое слишком мало для того, чтобы его можно было наблюдать при помощи доступных нам сегодня инструментов. Эти шесть измерений были компактифицированы, благодаря чему попасть в дополнительные измерения не представляется возможным, что, конечно, разочарует тех, кто надеялся однажды взмыть в бесконечное гиперпространство, а не просто срезать маршрут через компактифицированное гиперпространство посредством порталов-червоточин.

Однако отличительным свойством М-теории является то, что в ней фигурируют мембраны. Вся нашу Вселенную можно рассматривать в виде мембраны, парящей в намного большей вселенной. В результате этого не все дополнительные измерения необходимо сворачивать в шарик. По сути, некоторые из них могут быть огромны, бесконечны в своей протяженности.

Физиком, попытавшимся разработать это новое представление о Вселенной, стала Лиза Рэндалл из Гарварда. Несколько похожая на актрису Джоди Фостер, Рэндалл кажется не на своем месте в исключительно мужской профессии физика-теоретика, где царит жестокая конкуренция, а движущей силой является тестостерон. Она разрабатывает идею о том, что если наша Вселенная действительно представляет собой трибрану, парящую в пространстве, содержащем дополнительные измерения, то, возможно, это объясняет тот факт, что гравитация намного слабее трех остальных взаимодействий.

Рэндалл выросла в нью-йоркском Куинсе; в школе она не выказывала особого интереса к физике, зато обожала математику. Я считаю, что, хотя все мы рождаемся учеными, не каждый способен продолжить роман с наукой в более взрослом возрасте. Одной из причин тому является каменная стена математики, встающая перед нами.

Нравится нам это или нет, если мы хотим сделать научную карьеру, то в конце концов придется выучить «язык природы» — математику. Без математики мы можем только пассивно наблюдать за танцем природы, не принимая в нем активного участия. Как когда-то выразился Эйнштейн: «Чистая математика является своеобразной поэзией логических идей». Разрешите и мне предложить аналогию. Можно любить французскую цивилизацию и литературу, но для того, чтобы понять французское мышление, необходимо выучить

французский язык и спряжения французских глаголов. Таким же образом дело обстоит в науке с математикой. Когда-то Галилей написал: «[Вселенную] нельзя прочесть до тех пор, пока мы не выучим языка и не ознакомимся с символами, в которых она написана. Она написана на языке математики, а буквы этого языка — треугольники, круги и другие геометрические фигуры, без посредства которых понять одно-единственное слово не в человеческих силах».

Математики часто гордятся тем, что из всех ученых они самые непрактичные. Чем более абстрактна и бесполезна математика, тем лучше. Причиной, по которой Рэндалл поменяла сферу научной деятельности, будучи студенткой в Гарварде в начале 1980-х годов, стало то, что ей понравилась возможность физики создавать «модели» Вселенной. Для примера, модель кварков основана на идее о том, что внутри протона находятся три его составляющие — кварка. На Рэндалл произвело большое впечатление то, что простые модели, основанные на физических картинах, могут адекватно объяснить многое во Вселенной.

В 1990-е годы Рэндалл заинтересовалась М-теорией, возможностью того, что вся Вселенная представляет собой мембрану. Она сосредоточила свои усилия на, возможно, наиболее загадочной характеристике гравитации — на том, что сила ее астрономически мала. Ни Ньютон, ни Эйнштейн не обращались к этому фундаментальному, но загадочному вопросу. В то время как сила трех других взаимодействий (электромагнитного, слабого ядерного и сильного ядерного) вполне сравнима, гравитационное взаимодействие существенно им уступает.

В частности, массы кварков намного меньше массы, ассоциируемой с квантовой гравитацией. «Расхождение не маленькое; две шкалы масс разделены шестнадцатью порядками величины! Только теории, способные объяснить этот огромный диапазон, могут претендовать на место впереди Стандартной модели», — говорит Рэндалл.

Тот факт, что сила гравитации столь мала, объясняет, почему звезды так велики. Земля со всеми ее океанами, горами и континентами — это всего лишь крошечная пылинка по сравнению с огромными размерами Солнца. Но в связи с малостью силы гравитации требуется масса целой звезды для такого сжатия водорода, которое преодолевает электрическое отталкивающее взаимодействие про-

тонов. Таким образом, звезды настолько массивны потому, что сила гравитационного взаимодействия так мала в сравнении с тремя остальными.

Поскольку М-теория вызвала столько волнения в физике, несколько групп ученых попытались применить эту теорию к нашей Вселенной. Представьте, что Вселенная — это три-брана, парящая в пятимерном мире. В такой картине вибрации на поверхности три-браны соответствуют атомам, которые мы наблюдаем вокруг нас. Таким образом, эти вибрации никогда не покидают три-брану, а отсюда следует, что они не могут сместиться в пятое измерение. Даже с учетом того, что наша Вселенная парит в пятом измерении, наши атомы не могут ее покинуть, поскольку они представляют вибрации на поверхности три-браны. Это может стать ответом на вопрос, заданный Калуцей и Эйнштейном в 1921 году: где находится пятое измерение? Ответ таков: мы парим в пятом измерении, но не можем войти в него, потому что наши тела прикованы к поверхности три-браны.

Однако в такой картине существует потенциальный изъян. Гравитация представляет собой искривление пространства. Можно было бы наивно ожидать, что гравитация может заполнить все пятимерное пространство, а не только три-брану; при таком варианте развития событий гравитация бы рассеивалась сразу по выходе из три-браны. Это и ослабляет гравитационное взаимодействие. Это хороший довод в поддержку теории, поскольку, как мы знаем, гравитационное взаимодействие является намного более слабым, чем три других. Но в такой картине сила гравитации слишком ослабляется: был бы нарушен закон обратных квадратов Ньютона, а он прекрасно работает для планет, звезд и галактик. (Представьте себе лампочку, освещающую комнату. Свет распространяется сферически. Сила его рассеивается в пределах сферы. Если мы увеличим радиус сферы вдвое, то свет будет распространяться в сфере с площадью, в 4 раза превосходящей первоначальную. В общем случае существования лампы в n -мерном пространстве яркость ее света убывает, рассеиваясь по сфере, площадь которой увеличивается пропорционально $(n - 1)$ -й степени радиуса).

Чтобы ответить на этот вопрос, группа физиков, в которую входили Н. Аркани-Хамед, С. Димопулос и Г. Двали, выдвинула пред-

положение о том, что пятое измерение, возможно, не бесконечно, а находится всего лишь в миллиметре от нашего, покачиваясь прямо над нашей Вселенной, совсем как в научно-фантастическом произведении Герберта Уэллса. (Если бы пятое измерение лежало дальше, чем в миллиметре от нас, то оно могло бы создать измеримые нарушения закона обратных квадратов Ньютона.) А если пятое измерение находится всего лишь на расстоянии одного миллиметра от нас, то такое предположение можно было бы проверить, найдя мельчайшие отклонения от закона тяготения Ньютона для чрезвычайно малых расстояний. Закон Ньютона прекрасно работает на астрономических расстояниях, но его никогда еще не проверяли на расстоянии миллиметров. Сейчас экспериментаторы рвутся проверить крошечные отклонения от закона обратных квадратов Ньютона. В настоящее время получение этого результата является предметом нескольких проводимых экспериментов, как мы увидим в главе 9.

Рэндалл и ее коллега Раман Сундрум решили применить новый подход и пересмотреть возможность того, что пятое измерение находилось не на расстоянии миллиметра от нас, а было бесконечно. Для достижения своей цели им необходимо было объяснить, каким образом пятое измерение могло быть бесконечным, не нарушив при этом закона гравитации Ньютона. Здесь Рэндалл обнаружила возможный ответ на загадку. Она выяснила, что три-брана обладает собственным гравитационным притяжением, которое не давало гравитонам вырваться в пятое измерение. Гравитонам приходится липнуть к три-бране (подобно мухам, попавшимся на липучку) из-за действия гравитации, оказываемого три-браной. Таким образом, оценивая закон Ньютона, мы видим, что он приблизительно верен для нашей Вселенной. Действие гравитации рассеивается и ослабляется, выходя из три-браны и попадая в пятое измерение, но далеко оно не распространяется: закон обратных квадратов все еще приблизительно действует, поскольку гравитоны все же притягиваются к три-бране. (Лизе Рэндалл также принадлежит гипотеза о вероятности существования параллельной нам второй мембраны. Если вычислить едва различимое взаимодействие гравитации между двумя мембранами, то результат можно подогнать таким образом, что мы сможем числен-

«Первые предположения о том, что дополнительные измерения представляют альтернативные пути обращения к [проблеме иерархии], вызвали бурю волнения, — говорит Рэндалл. — Дополнительные пространственные измерения поначалу могут показаться дикой и безумной идеей, но существуют веские причины считать, что дополнительные измерения пространства действительно существуют».

Если эти физики правы, то гравитационное взаимодействие столь же сильно, как и остальные, только оно ослабляется, поскольку часть его утекает в пространство дополнительных измерений. Одним из глубоких следствий этой теории является то, что энергия, при которой квантовые взаимодействия можно измерить, возможно, не равна энергии Планка (10^{19} млрд электронвольт), как считалось ранее. Возможно, необходимы всего лишь триллионы электронвольт, а в таком случае при помощи Большого адронного коллайдера (завершение конструирования которого планируется к 2007 году), возможно, удастся уловить квантовые гравитационные эффекты еще в этом десятилетии. Это также побудило физиков-экспериментаторов открыть активную охоту на экзотические частицы за пределами Стандартной модели субатомных частиц. Возможно, квантовые гравитационные взаимодействия находятся в пределах нашей досягаемости.

Мембраны также предоставляют вполне вероятный, хоть и гипотетический ответ на загадку темного вещества. В романе Герберта Уэллса «Человек-невидимка» главный герой парил в четвертом измерении, а потому был невидим. Подобным образом, представим, что прямо над нашей Вселенной парит параллельный мир. Любая галактика в этой параллельной вселенной будет невидима для нас. Но поскольку гравитация вызвана искривлением гиперпространства, то гравитационное взаимодействие могло бы перемещаться между вселенными. Любая большая галактика в этой параллельной вселенной притягивалась бы через гиперпространство к галактике в нашей Вселенной. Таким образом, измерив свойства наших галактик, мы бы обнаружили, что их гравитационное притяжение гораздо больше, чем ожидалось согласно законам Ньютона, поскольку на заднем плане прячется другая галактика, парящая на соседней бране. Эта скрытая галактика за пределами нашей галактики была бы совершенно невидимой, паря в другом измерении, но она бы казалась

рало, окружающим нашу галактику и содержащим в себе 90 % массы. Таким образом, существование темного вещества может объясняться присутствием параллельной вселенной.

Сталкивающиеся вселенные

Может быть, и несколько преждевременно применять М-теорию к серьезной космологии. Тем не менее физики попытались применить «физику бран» для нового поворота в стандартном инфляционном подходе ко Вселенной. Внимание привлекают три возможные космологии.

Первая космология пытается ответить на вопрос: почему мы живем в четырех пространственно-временных измерениях? В принципе, М-теория может быть сформулирована во всех измерениях вплоть до одиннадцатого, а потому кажется загадочным, что выделяются именно эти четыре измерения. Роберт Бранденбергер и Кумрун Вафа выдвинули гипотезу о том, что причиной этого является геометрия струн.

Согласно предложенному ими сценарию, Вселенная зародилась в идеально симметричном состоянии, при этом все дополнительные измерения были свернуты, измеряясь в масштабах длины Планка. От расширения Вселенную сдерживали петли струн, плотно обмотанные вокруг различных измерений. Представьте себе спираль, которая не может расширяться, потому что она плотно обмотана струнами. Если струны каким-либо образом порвутся, то спираль освободится и расширится.

В этих крошечных измерениях Вселенная не может расширяться из-за обмотки струн и антиструн (грубо говоря, антиструны намотаны в противоположном направлении относительно струн). Если струна и антиструна сталкиваются, то они могут аннигилировать и исчезнуть, что похоже на развязывание узла. В очень больших измерениях настолько «просторно», что струны и антиструны редко сталкиваются и никогда не распутываются. Однако Бранденбергер и Вафа показали, что в трех или менее пространственных измерениях наиболее вероятен вариант событий, при котором струны и антиструны столкнутся. При таких столкновениях струны распутываются и измерения вырываются вовне, что и дает нам Большой Взрыв.

Привлекательной чертой такой картины является то, что топология струн дает нам примерное объяснение, почему мы видим вокруг себя четыре привычных измерения. Вселенные с дополнительными измерениями возможны, но вероятность увидеть эти вселенные ниже, поскольку они все еще плотно обмотаны струнами и антиструнами.

Но в М-теории существуют также и другие возможности. Если вселенные могут отталкиваться или отпачковываться одна от другой, что рождает новые вселенные, то, быть может, возможно и обратное: вселенные могут сталкиваться. При этом в момент столкновения образуются искры, дающие начало новым вселенным. Согласно такому сценарию, возможно, что Большой Взрыв произошел при столкновении двух параллельных вселенных-бран, а не при отпачковании от другой вселенной.

Эта вторая теория была предложена физиками Полом Штайнхардтом из Принстона, Бертом Оврутом из Пенсильвании и Нилом Туроком из Кембриджского университета, которые создали «экспиротическую» (что по-гречески означает «столкновение») Вселенную и включили в нее оригинальные черты картины, предлагаемой М-теорией. В такой Вселенной некоторые дополнительные измерения могли быть большими и даже бесконечными по размеру. Они начинаются с двух плоских однородных и параллельных трибран, которые представляют состояние низкой энергии. Изначально они зародились как пустые холодные вселенные, но гравитационное взаимодействие постепенно подтягивает их ближе и ближе друг к другу. В конце концов они сталкиваются, и невероятная кинетическая энергия столкновения конвертируется в вещество и излучение, наполняющие нашу Вселенную. Некоторые называют эту теорию не теорией Большого Взрыва, а теорией «Большого Хлопка (или Схлопывания)», поскольку сценарий предполагает столкновение («схлопывание») двухбран.

Сила взрыва разбрасывает вселенные в стороны. Отделяясь друг от друга, эти две мембраны стремительно остывают и дают нам ту самую Вселенную, что мы видим сегодня. Остывание и расширение продолжаются триллионы лет, до тех пор, пока температура вселенных не достигнет температуры абсолютного нуля, а их плотность не составит один электрон на квадриллион кубических световых лет космоса. В сущности, Вселенная становится пустой и инертной. Но

сила гравитации продолжает свое действие — она привлекает две мембраны друг к другу до тех пор, пока, спустя еще триллионы лет, они не столкнутся вновь, и этот цикл повторяется снова и снова.

Этот новый сценарий может добавить новые преимущества инфляции (плоскость, однородность). Он разрешает вопрос о том, почему Вселенная такая плоская — потому что с самого начала обе браны были плоскими. Такая модель также объясняет проблему горизонта, то есть факт, что Вселенная видится такой однородной, куда бы мы ни взглянули. Это происходит потому, что мембране требуется много времени, чтобы медленно прийти в состояние равновесия. Таким образом, в то время как инфляция объясняет проблему горизонта тем, что Вселенная внезапно расширяется, этот сценарий решает проблему горизонта от противоположного — при помощи предположения о том, что в своем медленном движении Вселенная стремится к равновесию.

(Это также означает, что в гиперпространстве возможно существование других мембран, которые в будущем могут столкнуться с нашей, создавая тем самым еще один Большой Хлопок. Учитывая тот факт, что наша Вселенная ускоряется, еще одно столкновение, в сущности, весьма вероятно. Штайнхардт добавляет: «Возможно, ускорение расширения Вселенной является предвестником такого столкновения. Это не самая приятная мысль».)

Любой сценарий, который резко расходится с общепринятой инфляционной теорией, неизбежно приводит к жарким дебатам. В течение недели после помещения данной работы Сети Андрей Линде, его жена Рената Каллош (которая занимается теорией струн) и Лев Кофман из Университета Торонто написали критический отзыв по поводу этого сценария. Линде раскритиковал эту модель потому, что нечто столь катастрофичное, как столкновение двух вселенных, могло бы создать сингулярность, где температуры и плотности стремятся к бесконечности. «Подобным образом можно бросить стул в черную дыру, которая испарит частицы стула, а затем сказать, что в ней каким-то образом сохраняется форма стула», — выразил свой протест Линде.

Штайнхардт ответил: «То, что выглядит как сингулярность в четырех измерениях, может вовсе не являться ею в пяти измерениях... Когда браны сталкиваются, пятое измерение временно исчезает, но

сами браны не исчезают. Поэтому плотность и температура не возрастают до бесконечности, а время не нарушает свой ход. Хотя общая теория относительности здесь просто бесится, струнная теория ведет себя нормально. И то, что когда-то выглядело катастрофой для этой модели, теперь кажется поправимым».

На стороне Штайнхардта мощь М-теории, которая, как известно, исключает сингулярности. В сущности, именно поэтому физикам-теоретикам для начала необходима квантовая теория гравитации, чтобы исключить все бесконечности. Однако Линде указывает на концептуально слабое место этой картины, а именно заявление о том, что в самом начале браны существовали в плоском однородном состоянии. «Если начинать с совершенства, то возможно объяснить то, что вы видите... но вы до сих пор не ответили на вопрос: почему вселенная должна родиться совершенной?» — возражает Линде. Штайнхардт отвечает: «Плоское плюс плоское дает в сумме плоское». Иными словами, необходимо допустить, что мембраны родились в состоянии самой низкой энергии — будучи плоскими.

И наконец, существует еще одна возможная теория космологии, задействующая струнную теорию. Это теория событий, происшедших до Большого Взрыва, которая принадлежит Габриэлю Венетиано, тому самому физику, который помог заложить основы этой теории в 1968 году. Согласно его теории, Вселенная зародилась как черная дыра. Если мы хотим знать, на что похожа черная дыра изнутри, то нам всего лишь надо оглянуться назад.

Согласно этой теории, в действительности Вселенная бесконечно стара. Зародилась она в далеком прошлом и была почти пустой и холодной. Гравитационное взаимодействие начало подтягивать комки вещества друг к другу по всей Вселенной. Постепенно эти скопления стали настолько плотными, что превратились в черные дыры. Вокруг каждой черной дыры начал формироваться горизонт событий, прочно отделяя все, лежащее за горизонтом событий, от того, что находилось в его пределах. Внутри каждого такого горизонта событий вещество продолжало сжиматься под действием силы гравитации до тех пор, пока в конце концов черная дыра не достигла размеров длины Планка.

В этот момент вступает струнная теория. Длина Планка является минимальным расстоянием, допустимым в струнной теории. Затем

в черной дыре начинается обратный процесс: происходит огромный взрыв, который и является Большим Взрывом. Поскольку этот процесс может неоднократно происходить во всей Вселенной, это означает, что могут существовать и другие далекие черные дыры/вселенные.

(Мысль о том, что наша Вселенная может быть черной дырой, не настолько притянута за уши, как это может показаться. Интуитивно мы понимаем, что черная дыра должна быть чрезвычайно плотной и обладать невероятным разрушающим гравитационным полем, но так случается не всегда. Размер горизонта событий черной дыры пропорционален ее массе. Чем более массивна черная дыра, тем больше ее горизонт событий. Но больший горизонт событий означает, что вещество распределено в большем объеме. В результате в действительности плотность уменьшается по мере того, как возрастает масса. В сущности, если бы черная дыра обладала массой нашей Вселенной, то ее размер примерно соответствовал бы размеру нашей Вселенной, а плотность ее была бы заметно ниже, чем в нашей Вселенной.)

Однако некоторых астрофизиков не впечатляет применение струнной теории и М-теории к космологии. Джоэл Примак из Калифорнийского университета в Санта-Крузе дает более суровую оценку событий: «Я думаю, что глупо всерьез заниматься всем этим. Идеи, предлагаемые в этих работах, в принципе не подлежат проверке». Только время покажет, прав ли Примак, но поскольку темпы развития струнной теории увеличиваются, вскоре мы можем найти решение этой проблемы, а прийти оно может с наших космических спутников. Как мы увидим в главе 9, к 2020 году планируется отправка в открытый космос нового поколения детекторов гравитационных волн, таких, как LISA (космическая лазерная антенна-интерферометр). Именно эти детекторы дадут нам возможность отбросить или подтвердить некоторые из этих теорий. Если права, к примеру, инфляционная теория, то LISA должна уловить сильнейшие гравитационные волны, образовавшиеся в ходе первоначального процесса расширения. Однако экипротическая Вселенная прогнозирует медленное столкновение вселенных и, следовательно, гораздо более мягкие волны. LISA должна экспериментально опровергнуть одну из этих теорий. Иными словами, в гравитационных волнах, образовавшихся при изначальном Большом Взрыве, закодированы данные, не-

обходимые для определения того, какой сценарий является верным. LISA может впервые представить основательные экспериментальные результаты, касающиеся теории инфляции, струнной теории и М-теории.

Черные мини-дыры

Поскольку струнная теория в действительности является теорией всей Вселенной, то для ее проверки необходимо создать Вселенную в лаборатории (см. главу 9). Обычно мы ожидаем, что квантовые эффекты гравитации проявятся при энергии Планка, что в квадриллион раз мощнее, чем самый мощный ускоритель частиц, имеющийся в нашем распоряжении, — и, следовательно, проверка струнной теории прямым путем невозможна. Но если и вправду есть параллельная вселенная, которая существует на расстоянии меньше миллиметра от нашей, то энергия, при которой происходит слияние и проявляются квантовые эффекты, может быть довольно низкой, в пределах досягаемости следующего поколения ускорителей частиц, таких, как Большой адронный коллайдер. Это предположение, в свою очередь, вызвало лавину интереса в физике черных дыр. При этом наиболее интересными оказались «черные мини-дыры». Черные мини-дыры, которые ведут себя подобно субатомным частицам, являются «лабораторией», в которой можно проверить некоторые из прогнозов струнной теории. Физиков очень возбуждает возможность создания таких дыр при помощи Большого адронного коллайдера. (Черные мини-дыры очень малы, их размеры сравнимы с размерами электрона, и можно не опасаться того, что они поглотят Землю. Космические лучи, бьющие по Земле, — обычное дело. Их энергии намного превосходят черные дыры, тем не менее всякое вредное воздействие на планету отсутствует.)

В действительности идея черной дыры, скрывающейся за субатомной частицей, стара. Впервые ее предложил Эйнштейн в 1935 году. С точки зрения Эйнштейна, должна существовать единая теория поля, в которой вещество, состоящее из субатомных частиц, можно было бы рассматривать как некое искривление материи пространства-времени. Эйнштейн считал, что субатомные частицы

вроде электрона в действительности являются «изгибами» или порталами-червоточинами в искривленном пространстве, которые на расстоянии выглядят как частицы. Эйнштейн и Натан Розен рассматривали идею о том, что электрон может в действительности быть замаскированной черной мини-дырой. Эйнштейн по-своему попытался включить вещество в состав такой единой теории поля, которая свела бы субатомные частицы к чистой геометрии.

Черные мини-дыры были снова предложены Стивеном Хокингом, который доказал, что черные дыры должны слабо испарять и испускать энергию. В течение многих эпох черная дыра испустила бы **ако** огромное количество энергии, что постепенно бы сжалась и в юнце концов превратилась бы в субатомную частицу. Сегодня струнная теория заново представляет концепцию черных мини-дыр. Вспомним о том, что черные дыры образуются, когда большое количество вещества сжимается до радиуса Шварцшильда. Масса и энергия могут быть конвертированы друг в друга, а это значит, что черные дыры можно также создать путем сжатия энергии. Ученые задаются вопросом о том, сможет ли Большой адронный коллайдер создать черные мини-дыры среди остатков, образующихся при столкновении двух протонов при энергии в **14** триллионов электронвольт. Такие черные дыры были бы очень малы и имели бы массу, возможно, в тысячу раз меньше электрона, а жизнь их измерялась бы периодом лишь в 10^{-23} секунды. Но они были бы отчетливо видны среди следов субатомных частиц, созданных Большим адронным коллайдером.

Физики также надеются на то, что космические лучи из открытого космоса могут содержать в себе черные мини-дыры. Техника в обсерватории имени Пьера Оже в Аргентине, предназначенная для изучения космических лучей, настолько чувствительна, что может уловить некоторые из самых больших вспышек космических лучей в истории науки. Ученые возлагают надежды на то, что черные мини-дыры могут быть обнаружены в естественном виде среди космических лучей, которые попадают в верхние слои земной атмосферы, порождая тем самым широкие атмосферные ливни. Один из подсчетов показывает, что в год детектор космических лучей смог бы уловить до десяти ливней космических лучей, вызванных такой черной мини-дырой.

Обнаружение черной мини-дыры либо при помощи Большого адронного коллайдера в Швейцарии, либо при помощи детектора космических лучей в Обсерватории Пьера Оже в Аргентине, возможно, уже в этом десятилетии представило бы веское доказательство в пользу существования параллельных вселенных. Хотя это доказательство не окончательно подтвердило бы правильность струнной теории, оно бы убедило все физическое сообщество в том, что струнная теория согласуется с экспериментальными результатами и что ее разработка продвигается в нужном направлении.

Черные дыры и информационный парадокс

Струнная теория может также пролить свет на некоторые из глубочайших парадоксов физики черных дыр, таких, как информационный парадокс. Как вы помните, черные дыры не абсолютно черные, они испускают малые количества излучения посредством туннелирования. Согласно квантовой теории, существует небольшая вероятность того, что излучение может вырваться из тисков гравитации черной дыры. Это приводит к медленной утечке излучения из черной дыры. Такое излучение называется излучением Хокинга.

Этому излучению, в свою очередь, присуща некоторая температура (которая пропорциональна площади поверхности горизонта событий черной дыры). Хокинг дал общий вывод этого уравнения, который не отличался доскональной точностью. Однако более тщательный вывод потребовал бы привлечения всей мощи статистической механики (основанной на подсчете квантовых состояний черной дыры). Обычно расчеты в статистической механике осуществляются как подсчет количества состояний, в которых может находиться атом или молекула. Но как можно подсчитать квантовые состояния черной дыры? Согласно теории Эйнштейна, черные дыры абсолютно гладкие, а потому посчитать их квантовые состояния представляется довольно проблематичным.

Ученые, занимающиеся теорией струн, изо всех сил стремились закрыть этот пробел, поэтому Эндрю Стромингер и Кумрун Вафа из Гарварда решили проанализировать черную дыру при помощи М-теории. Поскольку с самой черной дырой работать было слишком сложно, они избрали другой подход и задали умный вопрос: что

дуально по отношению к черной дыре? (Мы помним, что электрон дуален по отношению к магнитному монополю, такому, как единственный северный полюс. Отсюда путем изучения электрона в слабом электрическом поле, что достаточно просто, мы можем проанализировать гораздо более сложный эксперимент: монополь, помещенный в очень большое магнитное поле.) Итак, ученые надеялись, что дуальный по отношению к черной дыре объект окажется более легким в исследовании, хотя в конечном счете они получают тот же самый результат. При помощи ряда математических процедур Стромингеру и Вафе удалось показать, что черная дыра дуальна по отношению к скоплению одно-бран и пяти-бран. Это принесло ученым огромное облегчение, поскольку квантовые состояния этих бран были известны. Когда Стромингер и Вафа затем посчитали количество квантовых состояний, они обнаружили, что оно в точности соответствовало результату, данному Хокингом.

Это стало приятной новостью. Струнная теория, часто высмеиваемая за то, что она не связана с реальным миром, давала, возможно, самое изящное решение термодинамики черной дыры. Теперь ученые, работающие с теорией струн, пытаются подступить к более сложной проблеме в физике черных дыр — «информационному парадоксу». Хокинг доказал, что если бросить что-либо в черную дыру, то информация, заключенная в этом объекте, будет утеряна безвозвратно и навсегда. (Так можно было бы совершить идеальное преступление. Преступник мог бы воспользоваться черной дырой, чтобы уничтожить все обличающие его улики.) Единственными параметрами, которые мы можем измерить для черной дыры на расстоянии, являются ее масса, спин и заряд. Не имеет значения, что бросить в черную дыру, — все равно вся информация, содержащаяся в объекте, будет утеряна. (Это соответствует утверждению о том, что «у черных дыр нет волос», что они «лысые», то есть потеряли всю информацию, все «волосы», за исключением этих трех параметров.)

Потеря информации из нашей Вселенной кажется неизбежным следствием теории Эйнштейна, но это противоречит принципам квантовой механики, которые гласят, что в действительности информацию потерять нельзя. Эта информация должна парить где-то в нашей Вселенной, даже если изначально содержащий ее объект бросили в пасть черной дыры. Хокинг писал:

Большинству физиков хотелось бы верить, что информация не теряется, поскольку тогда мир стал бы безопасен и предсказуем. Но я считаю, что если серьезно подходить к общей теории относительности Эйнштейна, то необходимо принять во внимание возможность того, что пространство-время запутывается в узлы и вся информация теряется в образующихся складках. Выяснение того факта, теряется в действительности информация или нет, является одним из основных вопросов теоретической физики на сегодняшний день.

Этот парадокс, ставший тем пунктом, в котором Хокинг разошелся во мнении с большинством специалистов по струнной теории, все еще не нашел своего разрешения. Но ставки среди этих ученых делаются в основном на то, что в конечном счете мы обнаружим, куда девается теряемая информация. (Например, если в черную дыру бросить книгу, то вполне вероятно, что информация, заключенная в книге, плавно просочится обратно в нашу Вселенную в виде крошечных вибраций, содержащихся в излучении Хокинга испаряющейся черной дыры. Или, возможно, эта информация появится из белой дыры по другую сторону черной.) Именно поэтому лично я считаю, что если кто-нибудь вычислит, что происходит с информацией, когда она исчезает в черной дыре согласно струнной теории, то он (или она) обнаружит, что в действительности информация не теряется — она незаметно появляется где-то еще.

В 2004 году Хокинг, ко всеобщему удивлению, заявил перед телевизионными камерами, что он пересмотрел свои взгляды на проблему информации, и этим заявлением обеспечил себе место на первой странице «Нью-Йорк тайме». Он признал, что ошибался по этому поводу. (За тридцать лет до того Хокинг поспорил с другими физиками, что информация не могла утечь из черной дыры. Победитель этого пари должен был купить проигравшему хорошую удобную энциклопедию.) Хокинг заново провел некоторые из своих расчетов и сделал вывод, что если такой объект, как книга, попадал в черную дыру, то он мог нарушить поле испускаемого черной дырой излучения, тем самым позволяя информации утекать обратно во Вселенную. Информация, содержащаяся в книге, была бы закодирована в излучении, медленно просачивающемся за пределы черной дыры, но уже в искаженной форме.

С одной стороны, такой подход поставил Хокинга в один ряд с большинством квантовых физиков, которые считают, что информация не может быть утеряна. Но это также вызвало следующий вопрос: может ли информация попасть в параллельную вселенную? На первый взгляд, результат Хокинга ставил под сомнение идею о том, что информация может попасть через портал-червоточину в параллельную вселенную. Однако никто не верит в то, что в этом вопросе сказано последнее слово. До тех пор пока не будет полностью разработана струнная теория или не будет проведен полный квантовый гравитационный расчет, никто не поверит, что информационный Парадокс полностью разрешен.

Голографическая вселенная

И наконец, существует довольно загадочный прогноз М-теории, доторый еще не до конца понятен, но может иметь далеко идущие физические и философские последствия. Этот результат заставляет «гас задать следующий вопрос: является ли вселенная голограммой? Существует ли «вселенная-тень», в которой наши тела существуют в сжатом двумерном виде? Это также вызывает еще один столь же ролирующий вопрос: является ли вселенная компьютерной программой? Можно ли загнать вселенную на компакт-диск и проигрывать его на досуге?

Сейчас голограммы используются на кредитных картах, в детских музеях и в парках развлечений. Они примечательны тем, что могут фиксировать завершенное трехмерное изображение на двумерной поверхности. Если вы взглянете на фотографию, а затем пошевелите головой, то изображение на фотографии не изменится. Но если вы взглянете на голографическую картинку, а затем пошевелите головой, и вы увидите, что изображение меняется, как если бы вы смотрели него через окно или в замочную скважину. (Голограммы могут в юнечном счете привести к появлению трехмерного телевидения и кино. В будущем мы, очень может быть, получим возможность рас-биться в гостиной и посмотреть на настенный экран, который даст нам полное трехмерное изображение далеких мест, как если бы растенньш телеэкран был окном, открытым на новый пейзаж. Далее, если бы настенный экран имел форму большого цилиндра, а наша

гостиная при этом находилась бы в самом центре, то нам казалось бы, что мы перенеслись в новый мир. Куда бы мы ни глянули, мы бы увидели трехмерное изображение новой реальности, неотличимое от реального объекта.)

Суть голограммы состоит в том, что в двумерной поверхности голограммы закодирована вся информация, необходимая для воспроизведения трехмерного изображения. (Голограммы создаются в лабораторных условиях при помощи облучения чувствительной фотопленки рассеянным на предмете лазерным светом, интерферирующим с исходным излучением. Интерференция двух световых источников создает картину, которая «вмораживает» изображение в двумерную пластину.)

Некоторые космологи предположили, что такой подход можно применить и к самой вселенной — что мы, возможно, *живем* в голограмме. Истоки этого необычного предположения восходят к физике черных дыр. Бекенштейн и Хокинг выдвигают гипотезу о том, что суммарное количество информации, содержащееся в черной дыре, пропорционально площади поверхности ее горизонта событий (который представляет собой сферу). Это довольно странный результат, потому что обычно информация, заключенная в объекте, пропорциональна его объему. Например, количество информации, содержащейся в книге, пропорционально ее толщине, а не площади обложки. Мы понимаем это на инстинктивном уровне, когда говорим, что о книге нельзя судить по обложке. Но интуиция подводит нас в случае с черными дырами: мы вполне можем судить о черной дыре по ее «обложке».

Мы можем отбросить эту любопытную гипотезу, поскольку черные дыры сами по себе — причудливые диковинки, где обычная интуиция подводит. Однако этот результат также относится к М-теории, которая может дать нам самое лучшее описание всей Вселенной. В 1997 году Хуан Малдасена из Института передовых исследований в Принстоне вызвал сенсацию, показав, что струнная теория ведет к новому типу голографической вселенной.

Он начал с пятимерной «антидеситтеровой вселенной», которая часто фигурирует в струнной теории и теории супергравитации. Вселенная де Ситтера обладает космологической константой с положительным значением, создавая тем самым ускоряющуюся

Вселенную. (Мы помним, что в настоящее время наша Вселенная лучше всего представляется на основе вселенной де Ситтера, в которой космологическая константа толкает галактики прочь друг от друга на все увеличивающихся скоростях. В антидеситтеровой вселенной космологическая константа имеет отрицательное значение, а потому такая вселенная может взорваться.) Малдасена показал, что между этой пятимерной вселенной и ее четырехмерной «соседкой» существуют отношения дуальности[^]. Что странно, любые существа, обитающие в этом пятимерном пространстве, были бы в математическом отношении эквивалентны существам, живущим в четырехмерном пространстве. Их просто не различить.

Используем грубую аналогию. Представьте рыбок, плавающих в аквариуме. Эти рыбки думают, что их аквариум и есть реальность. Теперь представьте голографическое изображение этих рыбок, проектируемое на поверхность того же аквариума. Это изображение содержит точную копию трехмерных рыбок, только плоскую. Любое движение рыбок в аквариуме в точности воспроизводится рыбками на поверхности аквариума. И рыбки, плавающие в аквариуме, и плоские рыбки, живущие на его поверхности, считают, что именно они настоящие, а те другие — это всего лишь иллюзия. И одни рыбки, и вторые живы и ведут себя как настоящие. Какое из описаний является верным? В действительности верны оба, поскольку математически они эквивалентны и неразличимы.

Ученых, занимающихся теорией струн, глубоко взволновал тот факт, что производить вычисления для антидеситтеровского пятимерного пространства сравнительно легче, в то время, как четырехмерные теории поля печально известны тем, что с ними трудно работать. (Даже сегодня, спустя десятилетия напряженной работы, наши мощнейшие компьютеры не могут найти решение для четырехмерной кварковой модели и вывести массы протонов и нейтронов. Уравнения для самих кварков вывести очень легко, но разрешить их в четырех измерениях и получить свойства протонов и нейтронов оказалось сложнее, чем считалось раньше.) Одной из задач является вычисление масс и свойств протона и нейтрона при помощи этой **Причудливой** дуальности.

Такая голографическая дуальность может также найти практическое применение, такое, как решение проблемы информации в физи-

ке черных дыр. В четырех измерениях чрезвычайно трудно доказать, что информация не теряется, когда мы бросаем объекты в черную дыру. Но такое пространство дуально по отношению к пятимерному миру, в котором, возможно, информация никогда не теряется. Ученые надеются, что те проблемы, которые не поддаются решению в четырех измерениях (такие, как проблема информации, вычисление масс кварковой модели и так далее), могут разрешиться в пятимерной модели, где математика проще. И всегда возможно, что эта аналогия в действительности — отражение реального мира, а мы существуем как голограммы.

Является ли Вселенная компьютерной программой?

Как мы уже наблюдали, Джон Уилер считал, что всю физическую реальность можно свести к чистой информации. Бекенштейн продвигает идею информации в черной дыре еще на один шаг вперед, задавая вопрос, который заводит нас в неизведанные земли: является ли вся Вселенная компьютерной программой? Являемся ли мы всего лишь битами на космическом компакт-диске?

Вопрос о том, живем ли мы в компьютерной программе, получил блестящее воплощение на киноэкране в фильме «Матрица», где пришельцы свели всю физическую реальность к компьютерной программе. Миллиарды людей считают, что они живут повседневной жизнью, понятия не имея о том, что все это лишь сгенерированная компьютером фантазия, в то время как их настоящие тела спят в коконах, а пришельцы используют их как источники энергии.

В этом фильме возможно запускать меньшие компьютерные программы, которые могут создавать искусственные мини-реальности. Если вы хотите стать мастером кун-фу или пилотом вертолета, то вы просто вставляете компакт-диск в компьютер, программа подается в мозг и — presto! Вы мгновенно усваиваете эти сложные навыки. Когда запускается компакт-диск, создается целая новая субреальность. Но это вызывает интригующий вопрос: можно ли поместить на диск *всю* реальность? Компьютерная мощность, необходимая, чтобы симулировать реальность для миллиардов спящих людей, поистине ошелом-

ляет. Но все же теоретический вопрос: может ли вся Вселенная быть оцифрована в завершённую компьютерную программу?

Этот вопрос восходит к законам механики Ньютона, имея широкие перспективы практического применения в торговле и наших жизнях. Как известно, Марк Твен говорил: «Все жалуются на погоду, но никто с ней ничего не может поделать». Современная цивилизация не может изменить ход одной-единственной грозы. Физики задалась вопросом попроще: можем ли мы предсказывать погоду? Можно ли создать компьютерную программу, которая предскажет ход формирования сложных типов погоды на Земле? Это найдет очень широкое практическое применение для всех заинтересованных в погоде — от фермеров, которые хотят знать, когда сеять и когда собирать урожай, до метеорологов, которые хотят знать ход глобального потепления в этом веке.

В принципе, компьютеры могут использовать законы механики Ньютона для вычисления пути молекул, создающих погоду. Это вычисление может быть произведено с практически любой желаемой точностью. Но на практике компьютерные программы чрезвычайно грубы и ненадежны в прогнозировании погоды более чем на несколько дней вперед или около того, в лучшем случае. Для того чтобы составить прогноз погоды, понадобилось бы определить движение каждой молекулы воздуха, а эта задача — нечто, астрономически превосходящее возможности самого мощного компьютера, имеющегося в нашем распоряжении. Кроме того, существует теория хаоса и «эффект бабочки», где даже малейшая вибрация, созданная крылом бабочки, может вызвать эффект ряби, который в ключевые моменты решительно изменит погоду на расстоянии в сотни миль.

Подводя итоги данной ситуации, математики заявляют, что самой маленькой моделью, способной в точности описать погоду, является сама погода. Вместо того чтобы заниматься микроанализом каждой молекулы, лучшее, что мы можем сделать, — это узнать прогноз погоды на завтра, а также проследить более масштабные погодные процессы и типы (такие, как парниковый эффект).

Итак, свести ньютоновский мир к компьютерной программе представляется чрезвычайно сложным, поскольку существует слишком много переменных и слишком много «бабочек». Но в квантовом мире происходят странные вещи.

Как мы видели, Бекенштейн показал, что общая сумма информационного содержимого черной дыры пропорциональна площади поверхности ее горизонта событий. Это чувствуется на уровне интуиции. Многие физики считают, что минимальным возможным расстоянием является длина Планка, 10^{33} см. При таком невероятно малом расстоянии пространство-время уже не гладкое, оно становится «пузыристым», похожим на пену, состоящую из крошечных пузырьков. Мы можем разделить всю сферическую поверхность горизонта событий на маленькие квадратики, каждый из которых будет размером с длину Планка. Если каждый из этих квадратиков несет в себе один бит информации, то сложив все эти квадратики, мы приблизительно определим полное информационное содержимое данной черной дыры. Видимо, это указывает на то, что каждый из таких «квадратов Планка» является минимальной единицей информации. Если это верно, то тогда, как утверждает Бекенштейн, скорее всего информация, а не теория поля является истинным языком физики. Он говорит так: «Теория поля с ее бесконечностью не может быть окончательным вариантом».

Еще со времен Майкла Фарадея в девятнадцатом веке вся физика формулировалась на языке полей, гладких и протяженных, которые измеряют силу магнетизма, электричества, гравитации и так далее в любой точке пространства-времени. Но теория поля основана на протяженных структурах, а не оцифрованных. Поле может иметь любое значение, в то время как оцифрованность уже сводит все к дискретным числам, состоящим из нулей и единиц. Это такое же различие, как между гладким пластом резины из теории Эйнштейна и мелкой проволочной сеткой. Резиновый пласт можно поделить на бесконечное количество точек, в то время как в проволочной сетке есть минимальное расстояние — длина ячейки.

Бекенштейн предполагает, что «конечная теория должна заниматься уже не полями и даже не пространством-временем, а скорее обменом информации между физическими процессами».

Если Вселенную можно оцифровать и свести к нулям и единицам, то каково же суммарное информационное содержимое Вселенной? По оценке Бекенштейна, черная дыра диаметром около сантиметра могла бы содержать 10^{66} бит информации. Раз объект размером в сантиметр может нести в себе так много информации, то, по оценке

Бекенштейна, вся видимая Вселенная должна содержать ее намного большее количество — не меньше 10^{100} бит информации (которую в принципе можно сжать в сферу размером в одну десятую светового года в поперечнике. Такое колоссальное число, единица, за которой следует сто нулей, носит название гугол, или google.).

Если такая картина верна, то мы имеем дело со странной ситуацией. Она может указывать на то, что в то время, как ньютоновский мир не может быть смоделирован при помощи компьютеров (или может быть смоделирован только системой столь же большой, как и он сам), в квантовом мире, возможно, саму Вселенную можно загнать на компакт-диск! Теоретически, если мы можем поместить 10^{100} бит информации на компакт-диск, то мы можем наблюдать за тем, как любое событие нашей Вселенной разворачивается у нас в гостиной. В принципе, можно было бы организовать или перепрограммировать биты информации на этом компакт-диске таким образом, чтобы физическая реальность была иной. В каком-то смысле у человека появится богоподобная способность переписать весь сценарий.

(Бекенштейн также признает, что все информационное содержимое Вселенной может быть и намного большим. В сущности, наименьшим объемом, в котором может содержаться информация Вселенной, может оказаться объем самой Вселенной. Если это верно, то мы возвращаемся к тому, с чего начали: наименьшей системой, которая может служить моделью Вселенной, является сама Вселенная.)

Однако струнная теория предлагает несколько иную интерпретацию «наименьшего расстояния», а также того, сможем ли мы оцифровать Вселенную и записать ее на диск. М-теория обладает Т-дуальностью. Вспомним о том, что греческий философ Зенон считал, что линию можно разделить на бесконечное количество точек, без всякого ограничения. Сегодня такие квантовые физики, как Бекенштейн, считают, что наименьшим расстоянием может быть длина Планка — 10^{-33} см. При таком расстоянии материя пространства-времени становится пенистой и пузырястой. Но М-теория представляет эту картину в новом свете. Предположим, мы возьмем струнную теорию и свернем одно измерение в окружность с радиусом R . Затем возьмем еще одну струнную теорию и свернем одно измерение в окружность с радиусом $1/R$. При сравнении этих

двух довольно сильно отличающихся друг от друга теорий мы обнаружим, что они совершенно одинаковы.

Теперь предположим, что радиус R чрезвычайно мал, намного меньше длины Планка. Это означает, что физика при расстояниях, меньших, чем длина Планка, идентична физике при расстояниях, превышающих длину Планка. При длине Планка пространство-время может стать комковатым и пенистым; однако физика при расстояниях, меньших, чем длина Планка, и физика на очень больших расстояниях могут быть гладкими и, в сущности, являются идентичными.

Эта дуальность была впервые обнаружена в 1984 году моим коллегой Кейджи Киккавой и его учеником Масами Юмасаки из Университета Осаки. Хотя струнная теория наглядно показывает, что существует «наименьшее расстояние», длина Планка, физика не заканчивается внезапно при достижении длины 10^{-33} см. Новым светом, пролитым М-теорией на этот вопрос, является то, что физика при расстояниях, меньших длины Планка, эквивалентна физике при расстояниях, превышающих длину Планка.

Если интерпретация «шиворот-навыворот» верна, то это означает, что даже в пределах «наименьшего расстояния» в струнной теории может существовать целая вселенная. Иными словами, мы все еще можем использовать теорию поля с ее протяженными (не оцифрованными) структурами для описания вселенной даже при расстояниях, намного меньших, чем длина Планка. Так что, возможно, вселенная — это вовсе не компьютерная программа. В любом случае, поскольку проблема четко обозначена, все решит время.

(Эта T-дуальность является подтверждением упоминавшегося мною ранее сценария Венециано о событиях до Большого Взрыва. В этой модели черная дыра схлопывается до размеров длины Планка, а затем снова разлетается в Большом Взрыве. Этот «взрыв» не является внезапным событием, он представляет собой плавную T-дуальность между черной дырой размером меньше длины Планка и расширяющейся вселенной, большей, чем длина Планка.)

Конец?

Если М-теория окажется верной, если она и в самом деле окажется теорией всего, то станет ли это концом той физики, что нам известна?

Ответом на этот вопрос будет «нет». Разрешите привести пример. Даже если нам известны правила игры в шахматы, это не превратит нас автоматически в великого мастера. Подобным образом и знание законов вселенной не означает, что мы великие мастера в вопросах понимания богатого разнообразия ее решений.

Лично я считаю, что, быть может, еще преждевременно применять М-теорию к космологии, хотя такой подход и представляет нам поразительную картину того, как могла зародиться вселенная. По моему мнению, основной проблемой является то, что эта модель не нашла своей окончательной формы. М-теория вполне может быть теорией всего, но я считаю, что до ее завершения еще очень далеко. Эта теория развивается в обратном направлении к 1968 году (возможно, и далее), и ее окончательные уравнения все еще не найдены. (К примеру, струнную теорию можно сформулировать через струнную теорию поля, как показали Киккава и я несколько лет назад. Для М-теории эквивалент таких уравнений до сих пор неизвестен.)

Перед М-теорией стоит несколько проблем. Одной из них является то, что сейчас физики утопают в \wedge -бранах. Был написан ряд работ, в которых производились попытки каталогизации потрясающего количества мембран, которые могут существовать в различных измерениях. Существуют мембраны в форме пончика с одной дыркой, пончика со множеством дырок, перекрещивающиеся мембраны и так далее.

Это напоминает известную басню о том, как три слепых мудреца встретили слона. Ощупывая его с разных сторон, все трое выдвигают различные теории. Один мудрец, беря слона за хвост, говорит, что слон — это одно-брана (струна). Другой мудрец, ощупывая слоновье ухо, говорит, что слон — это дву-брана (мембрана). И наконец, третий говорит, что двое первых ошибаются. Ощупывая ноги слона, похожие на стволы деревьев, третий мудрец говорит, что в действительности слон — это три-брана. Поскольку мудрецы слепы, они не могут охватить всю картину, не могут увидеть то, что общая сумма одно-браны, дву-браны и три-браны представляет собой не что иное, как единое животное — слона.

Аналогично, с трудом верится, что сотни мембран, обнаруженных в М-теории, каким-то образом фундаментальны. В настоящее время мы не обладаем целостным пониманием М-теории. Моя соб-

ственная точка зрения, согласно которой я проводил исследования, состоит в том, что эти мембраны и струны представляют собой «конденсацию» пространства. Эйнштейн пытался описать вещество в чисто геометрических терминах, как какой-то излом в материи пространства-времени. Если взять, к примеру, простыню, на которой появляется складка, то складка ведет себя так, будто живет своей собственной жизнью. Эйнштейн пытался смоделировать электрон и другие элементарные частицы как некое нарушение геометрии пространства-времени. Хотя в конечном счете он потерпел неудачу, эта идея может возродиться на гораздо более высоком уровне в М-теории.

Я считаю, что Эйнштейн шел по верному следу. Его идея состояла в том, чтобы сгенерировать субатомные частицы посредством геометрии. Вместо того чтобы пытаться найти геометрический аналог точечных частиц, в чем и заключалась стратегия Эйнштейна, можно было бы попытаться пересмотреть ее и попытаться сконструировать геометрический аналог струн и мембран, состоящих из чистого пространства-времени.

Один из способов проследить логику в таком подходе состоит в том, чтобы взглянуть на физику с исторической точки зрения. В прошлом каждый раз, как физики сталкивались с целым спектром объектов, было понятно, что в основе лежало нечто фундаментальное. Например, когда мы открыли спектральные линии, испускаемые водородом, мы в конце концов поняли, что они происходили из атома, из квантовых скачков, совершаемых электроном при его вращении вокруг ядра. Подобным образом, столкнувшись с избытком сильных частиц в 1950-е годы, физики в конце концов поняли, что они являлись не чем иным, как связанными состояниями кварков. А теперь, столкнувшись с избытком кварков и других «элементарных» частиц Стандартной модели, большинство физиков считает, что они происходят из вибраций струны.

В М-теории мы сталкиваемся с избытком мембран всех типов и разновидностей. Трудно поверить, что они могут быть фундаментальны, поскольку *p-бран* слишком много, а во-вторых, они неустойчивы и противоречивы. Более простой вариант решения, согласующийся с историческим подходом, состоит в том, чтобы предположить, что

М-теория происходит из более простой парадигмы — возможно, из самой геометрии.

Для того чтобы разрешить этот фундаментальный вопрос, нам необходимо узнать, какой физический принцип лежит в основе всей теории, а не просто записать ее таинственные математические формулы. Как говорит физик Брайан Грин:

В настоящее время ученые, занимающиеся теорией струн, находятся в том же положении, что и Эйнштейн, будь он лишен принципа эквивалентности. Со времен проницательной догадки Венециано в 1968 году теория собиралась учеными по кусочкам, открытие за открытием, испытывая один революционный переворот за другим. Но до сих пор отсутствует центральный организующий принцип, который охватил бы все эти открытия и характеристики этой теории в пределах сводной и систематической структуры — такой структуры, которая делает существование каждого отдельного ингредиента абсолютно неизбежным. Открытие этого принципа стало бы поворотным моментом в развитии струнной теории, поскольку оно бы обнаружило внутренние механизмы этой теории с беспрецедентной ясностью.

Открытие этого основополагающего принципа также разъяснит миллионы решений, на данный момент найденных для струнной теории. Каждое из этих решений представляет собой абсолютно непротиворечивую вселенную. В прошлом считалось, что из целого леса решений правильным для струнной теории является лишь одно. Сегодня наши представления меняются. До сих пор нельзя выбрать одну вселенную из миллионов сконструированных на сегодняшний день. Все более утверждается мнение о том, что если мы не можем найти уникального, единственного решения струнной теории, то, возможно, причиной тому является факт его отсутствия. Все решения равноценны. Существует Мультивселенная вселенных, каждая из которых отвечает всем законам физики. Это, в свою очередь, приводит нас к тому, что называется антропным принципом, и к возможности того, что наша вселенная «спроектирована».

ГЛАВА 8

Спроектированная вселенная?

За вечность, должно быть, было перепорчено огромное количество вселенных, до того, как оформилась эта система; было потрачено впустую много сил, сделано много бесплодных попыток, а процесс медленного, но непрерывного совершенствования в искусстве мироздания продолжался на протяжении бесконечных эпох.

Дэвид Юм

Когда я учился во втором классе, моя учительница мимоходом обронила замечание, которое я не забуду никогда. Она сказала: «Бог так любил Землю, что Он расположил ее как раз на том расстоянии от Солнца, которое нужно». В мои шесть лет меня поразила простота и сила этого аргумента. Если бы Бог расположил Землю слишком далеко от Солнца, то все океаны замерзли бы. Если бы он расположил Землю слишком близко, то все они выкипели бы. Для учительницы это не только служило доказательством того, что Бог существует, но и означало, что Он также благожелателен, раз он так любил Землю, что расположил ее именно на том расстоянии от Солнца, которое нужно. Это произвело на меня глубокое впечатление.

Сегодня ученые говорят, что Земля существует в «зоне обитания», как раз на таком расстоянии, чтобы было возможным существование воды, «универсального растворителя», создающего химические вещества, необходимые для жизни. Если бы Земля находилась дальше от Солнца, она могла бы *стать* похожей на Марс, «за-

мерзшую пустыню», где низкие температуры создали твердую голую поверхность, на которой вода и даже углекислый газ часто замерзают до твердого состояния. Даже под поверхностью Марса находится вечная мерзлота, постоянный слой замерзшей воды. Если бы Земля находилась ближе к Солнцу, то она могла бы стать похожей на Венеру, размеры которой почти совпадают с размерами Земли. Венера известна как «планета парникового эффекта». Поскольку эта планета находится так близко к Солнцу, а атмосфера ее состоит из углекислого газа, энергия солнечного света захватывается Венерой и температуры взлетают до 500 градусов по Цельсию. Вот почему Венера является самой горячей в среднем планетой Солнечной системы. Дожди серной кислоты, атмосферные давления, в сотни раз превышающие наши, и убийственные температуры превращают Венеру, похоже, в самую адскую планету в Солнечной системе, в основном из-за того, что она находится ближе к Солнцу, чем Земля.

Рассматривая аргумент моей учительницы, ученые бы сказали, что он является примером антропного принципа, который гласит, что законы природы организованы таким образом, который делает возможным существование жизни и сознания. Вопрос о том, организованы ли эти законы каким-то проектировщиком или появились благодаря случаю, был предметом многих споров, особенно в последние годы, поскольку было обнаружено несметное множество «случайностей» или совпадений, которые делают возможным существование жизни и сознания. Для некоторых эти данные являются подтверждением существования некоего божества, которое намеренно организовало законы природы таким образом, чтобы существование жизни, а также наше существование стало возможным. Однако для других ученых эти данные означают, что мы являемся побочными продуктами ряда удачных случайностей. Или, возможно, если верить в положения теории инфляции и М-теории, существует Мультивселенная вселенных.

Чтобы правильно оценить сложность этих споров, сначала рассмотрим те совпадения, которые делают возможным существование жизни на Земле. Мы не просто живем в солнечной зоне обитания, мы также живем в ряде других зон обитания. Например, Луна имеет как раз такие размеры, которые необходимы для стабилизации орбиты

Земли. Если бы Луна была намного меньше, то даже малейшие нарушения вращения Земли постепенно накапливались бы в течение сотен миллионов лет. Это вызвало бы раскачивание Земли на своей орбите, чреватое катастрофой, а также создало бы разительные изменения в климате, которые сделали бы жизнь на Земле невозможной. Компьютерные программы показывают, что без большой Луны (около трети размера Земли) земная ось за миллионы лет могла бы сместиться на целых 90 градусов. Поскольку ученые считают, что для создания ДНК потребовались сотни миллионов лет климатической стабильности, то периодические отклонения Земли от ее оси вызвали бы катастрофические изменения погодных условий, что сделало бы создание ДНК невозможным. К счастью, Луна имеет как раз подходящий размер для того, чтобы стабилизировать земную орбиту, так что такая катастрофа не произойдет. (Луны Марса недостаточно велики, чтобы стабилизировать его вращение. В результате этого Марс начинает медленно вступать в следующую эпоху нестабильности. Астрономы считают, что в прошлом Марс мог отклониться от своей оси на целых 45 градусов.)

Благодаря малым приливным силам Луна медленно отодвигается от Земли со скоростью приблизительно 4 см в год. Примерно через 2 миллиарда лет она окажется слишком далеко, чтобы стабилизировать вращение Земли. Это может иметь катастрофические последствия для жизни на Земле. Спустя миллиарды лет не только Луны не будет в ночном небе — мы можем увидеть совершенно другой набор созвездий, когда Земля будет скакать на своей орбите. Погода на Земле станет неузнаваемой, что сделает невозможным существование жизни.

Геолог Питер Уорд и астроном Дональд Браунли из Университета Вашингтона написали: «Без Луны в мире не было бы ни лунного света, ни месяца, ни программы «Аполлон», было бы меньше поэзии, а каждая ночь была бы темной и безрадостной. Вполне вероятно, что без Луны не было бы птиц, секвой, китов, трилобитов, да и другие развитые формы жизни не украшали бы нашу Землю».

Подобным образом компьютерные модели нашей Солнечной системы показывают, что и присутствие Юпитера в нашей Солнечной системе является благоприятным для жизни на Земле, поскольку невероятно сильное гравитационное притяжение Юпитера помогает

отбрасывать астероиды в открытый космос. Понадобился почти миллиард лет в «эпоху метеоров», закончившуюся около 3,5 млрд лет назад, чтобы «очистить» Солнечную систему от обломков астероидов и комет, оставшихся после ее формирования. Если бы Юпитер был намного меньше, а его притяжение намного слабее, то в нашей Солнечной системе было бы полно астероидов, которые сделали бы жизнь на Земле невозможной. Они бы падали в океаны и уничтожали всякую жизнь. Отсюда мы видим, что Юпитер тоже как раз нужного размера.

Мы также живем в зоне подходящих планетарных масс. Если бы Земля была чуть меньше, то ее гравитационное притяжение было бы настолько слабым, что она не могла бы удерживать кислород. Если бы Земля была слишком большой, то она сохранила бы многие из начальных ядовитых газов, что сделало бы невозможной жизнь на Земле. Масса Земли как раз такова, как нужно, чтобы поддерживать необходимый для жизни атмосферный состав.

Мы также живем в зоне подходящих планетарных орбит. Что примечательно, орбиты всех остальных планет, кроме Плутона, являются почти правильными окружностями, что делает столкновения планет в Солнечной системе практически невозможными. Это означает, что Земля не подойдет близко ни к одному из газовых гигантов, гравитация которых легко нарушила бы орбиту Земли. Это опять-таки благоприятное обстоятельство для жизни, которой необходимы сотни миллионов лет стабильности.

Земля также существует в зоне обитания Галактики Млечный Путь, находясь от ее центра на расстоянии двух третей диаметра. Если бы Солнечная система располагалась слишком близко к центру Галактики, где таятся черные дыры, то поле излучения было бы столь сильным, что жизнь была бы невозможна. А если бы Солнечная система находилась слишком далеко от центра Галактики, то существовало бы недостаточно тяжелых элементов, чтобы создать необходимые компоненты жизни.

Ученые приводят множество примеров того, что Земля находится в мириаде зон обитания. Астрономы Уорд и Браунли утверждают, что мы живем в границах такого узкого диапазона многих параметров или зон обитания, что, возможно, разумная жизнь на Земле — *действительно* уникальное явление для нашей Галактики, а возможно,

даже для всей Вселенной. Они приводят впечатляющий список тех моментов, которые удивительным образом делают возможной разумную жизнь на Земле, а именно, что на Земле «как раз» необходимое количество океанов, «какраз» требуемая тектоника плит, содержание кислорода, теплосодержание, наклон оси и так далее. Если бы Земля лежала хотя бы вне одного из этих диапазонов, мы бы с вами не обсуждали этот вопрос.

Так была ли Земля расположена на пересечении этих зон обитания потому, что Бог любил ее? Возможно. Однако мы можем прийти к выводу, который не предполагает участие божества. Возможно, в космосе существуют миллионы мертвых планет, которые *действительно* находятся слишком близко к своим солнцам, чьи Луны слишком малы, чьи Юпитеры слишком малы, или которые находятся слишком близко к центру их галактик. Что касается Земли, существование зоны обитания не обязательно означает, что Бог даровал нам особое благословение; возможно, это просто совпадение, один редкий пример среди миллионов мертвых планет в космосе, которые лежат за пределами зон обитания.

Греческий философ Демокрит, который выдвинул гипотезу о существовании атомов, писал: «Существуют миры, бесконечные в своем количестве и разнообразные по размерам. В некоторых из них нет ни Солнца, ни Луны. В других больше одного Солнца и Луны. Расстояния между мирами неодинаковы, в некоторых направлениях их больше... Их разрушение происходит из-за столкновений между собой. Некоторые миры лишены животной и растительной жизни и всякой влаги».

В сущности, к 2002 году астрономы открыли сотню экстрасолнечных планет, вращающихся по орбитам других звезд. Ученые открывают их приблизительно каждые две недели. Поскольку такие планеты не испускают собственного света, астрономы вычисляют их при помощи разнообразных средств непрямого наблюдения, наиболее надежным из которых являются поиски раскачивающейся основной звезды: она раскачивается вперед-назад по мере того, как планета размером с Юпитер вращается вокруг нее. Путем анализа доплеровского смещения света, испускаемого раскачивающейся звездой, можно вычислить, насколько быстро она движется, и применить законы Ньютона для вычисления массы ее планеты.

«Можно представить звезду и большую планету как партнеров, кружащихся в танце, держась за вытянутые руки. Планета меньших размеров с внешней стороны проходит большие расстояния по большей окружности, в то время как звезда-партнер перемещается маленькими шажками по очень малой окружности — движение по очень маленькой внутренней окружности и является тем «раскачиванием», которое мы наблюдаем в этих звездах», — говорит Крис Маккарти из Института Карнеги. Сегодня такие наблюдения настолько точны, что мы можем определить очень малые изменения в скорости (до трех метров в секунду — скорость быстрой ходьбы) в звезде на расстоянии сотен световых лет от нас.

Предлагаются и другие, более передовые методы обнаружения еще большего количества планет. Один из них — это поиски планеты в тот момент, когда она затмевает свою материнскую звезду, что ведет к некоторому снижению ее яркости. В течение 15-20 лет НАСА запустит на орбиту свой интерферометрический космический спутник, который сможет обнаружить в открытом космосе планеты меньшего размера, сходные с Землей. (Поскольку яркость материнской звезды затмит планету, спутник будет использовать интерференцию света, чтобы обнулить яркое свечение материнской звезды и открыть нашим глазам землеподобную планету.)

До настоящего времени ни одна из обнаруженных нами экstrasолнечных планет размером с Юпитер не имеет сходства с Землей, и все они, по всей вероятности, мертвы. Орбиты обнаруженных астрономами планет либо очень вытянуты, эксцентричны, либо проходят в непосредственной близости к материнской звезде; в обоих случаях существование в подобной зоне обитания планеты, похожей на Землю, было бы невозможным. В этих солнечных системах планета размером с Юпитер пересекала бы зону обитания, отшвыривая любую меньшую планету размером с Землю в открытый космос, что препятствовало бы формированию известной нам жизни.

Слишком вытянутые орбиты — обычное для космоса явление, настолько обычное, что в сущности, когда астрономы в 2003 году открыли «нормальную» солнечную систему, это событие попало на первые полосы. Астрономы Соединенных Штатов и Австралии с таким же восторгом объявили об открытии планеты размером с Юпитер, вращающейся вокруг звезды HD 70642. Необычность этой

планеты (размеры которой вдвое превышают размеры Юпитера) состоит в том, что она вращается по орбите, имеющей форму окружности, при этом расстояние до ее солнца приблизительно соответствует расстоянию Юпитера до нашего Солнца.

Однако в будущем астрономы должны каталогизировать все близлежащие звезды, отнеся их к потенциальным солнечным системам. «Наша работа заключается в том, чтобы создать каталог всех двух тысяч ближайших наблюдаемых солнцеподобных звезд, которые находятся на расстоянии до 150 световых лет от нас, — говорит Пол Батлер из Института Карнеги в Вашингтоне, участвовавший в открытии первой экстрасолнечной планеты в 1995 году. — Мы преследуем двойную цель: провести исследование и составить первую перепись наших ближайших соседей по космосу, а также собрать первые данные для того, чтобы обратиться к фундаментальному вопросу о том, насколько обычным или редким феноменом является наша Солнечная система».

Космические случайности

Чтобы создать жизнь, наша планета должна была находиться в относительной стабильности в течение сотен миллионов лет. Но удивительно сложно создать мир, который был бы стабилен на протяжении такого времени.

Начнем с того, как образованы атомы, — с того факта, что протон чуть легче нейтрона. Это означает, что если бы протон был всего лишь на один процент тяжелее, он бы распался до нейтрона, все ядра стали бы неустойчивыми и расщепились бы. Атомы бы разлетелись в стороны, что сделало бы жизнь невозможной.

Еще одна случайность, которая делает возможной жизнь на Земле, — это тот факт, что протон устойчив и не распадается с образованием позитрона. Эксперименты показали, что срок жизни протона поистине астрономически велик: он больше срока жизни вселенной. Для того чтобы создать устойчивую ДНК, протоны должны оставаться устойчивыми на протяжении как минимум сотен миллионов лет.

Если бы сильное ядерное взаимодействие было чуть слабее, то такие ядра, как ядра дейтерия, разлетелись бы в стороны и ни один из

элементов вселенной нельзя было бы построить внутри звезд путем нуклеосинтеза. Если бы сильное ядерное взаимодействие было чуть сильнее, то звезды сожгли бы свое ядерное топливо слишком быстро и жизнь не смогла бы развиваться.

Если мы изменим силу слабого ядерного взаимодействия, то обнаружим, что жизнь опять-таки невозможна. Нейтрино, действующие через слабое ядерное взаимодействие, необходимы для того, чтобы уносить энергию из взрывающихся сверхновых. Эта энергия, в свою очередь, отвечает за создание элементов выше железа. Если бы слабое ядерное взаимодействие было чуть слабее, нейтрино вряд ли бы вообще смогли взаимодействовать, что означает, что сверхновые не смогли бы создать элементы выше железа. Если бы слабое взаимодействие было чуть сильнее, то нейтрино не могли бы покинуть звездное ядро, что опять-таки воспрепятствовало бы созданию высших элементов, из которых состоят наши тела и весь мир.

В сущности, ученые составили длинные списки таких «удачных космических случайностей». Видя этот внушительный список, с удивлением обнаруживаешь, как много знакомых констант вселенной находятся в очень узком диапазоне, в пределах которого возможна жизнь на Земле. Если изменить всего лишь одну из этих случайностей, звезды никогда бы не образовались, вселенная разлетелась бы в стороны, ДНК не существовала бы, известная нам жизнь была бы невозможной, Земля бы перевернулась или замерзла, и так далее.

Чтобы подчеркнуть, насколько примечательной является сложившаяся ситуация, астроном Хью Росс уподобил ее Боингу-747, полностью собранному ураганом, наткнувшимся на свалку старых автомобилей.

Антропный принцип

Все приведенные выше аргументы сводятся к антропному принципу. Существует несколько позиций, которые можно занять относительно этого противоречивого принципа. Моя учительница во втором классе считала, что эти удачные совпадения предполагали существование великого проекта или плана. Как когда-то сказал физик Фриман Дайсон, «вселенная словно знала, что мы придем». Это иллюстрация сильного антропного принципа, который заключается в идее того,

что точная настройка физических констант была не случайностью, а предполагает некий проект. (Слабый антропный принцип просто утверждает, что физические константы вселенной таковы, что возможно существование жизни и разума).

Физик Дон Пейдж суммировал различные формы антропного принципа, предлагавшиеся в различные годы.

Слабый антропный принцип: «То, что мы видим во вселенной, ограничивается требованием нашего существования в качестве наблюдателей».

Сильно-слабый антропный принцип: «По крайней мере в одном мире... из вселенной многих миров должна развиваться жизнь».

Сильный антропный принцип: «Вселенная должна нести в себе определенные качества, чтобы в какой-то момент в ней развилась жизнь».

Конечный антропный принцип: «Разум должен развиваться во вселенной, после чего он никогда не погибнет».

Одним из физиков, всерьез воспринимающих сильный антропный принцип и утверждающих, что это признак существования Бога, является Вера Кистяковски, физик из Массачусетского технологического института. Она говорит: «Утонченное совершенство физического мира, открывающееся нашему научному взору, требует присутствия божественного». Еще одним ученым, поддерживающим это мнение, является Джон Полкингхорн, физик, занимавшийся частицами, который отказался от занимаемой должности в Кембриджском университете и стал священником англиканской церкви. Он пишет о том, что вселенная — это «не просто «какой-то мир», она особенна и тонко настроена для жизни, поскольку является созданием Творца, чья воля в том, чтобы все было именно так». И в самом деле, сам Исаак Ньютон, которому принадлежит концепция непреложных законов, управляющих движением планет и звезд без всякого божественного вмешательства, считал, что изящество этих законов указывает на существование Бога.

Но нобелевский лауреат Стивен Вайнберг не поддерживает такую точку зрения. Он признает всю притягательность антропного принципа: «Для людей практически непреодолимым является

стремление верить в то, что мы имеем какое-то особое отношение ко вселенной, что человеческая жизнь не просто более или менее нелепый результат цепи случайностей, простирающейся до первых трех минут после Большого Взрыва, а что мы были каким-то образом встроены с самого начала». Однако в заключение он говорит о том, что сильный антропный принцип представляет собой «едва ли нечто большее чем пустую мистическую бессмыслицу».

Остальные физики также не слишком убеждены в силе антропного принципа. Ныне покойный физик Хайнц Пейджелс был сильно увлечен антропным принципом, но в конечном счете потерял к нему интерес, поскольку этот принцип не содержал в себе прогностической силы. Эта теория не подлежит проверке. Кроме того, не существует способов извлечь из нее какую-либо новую информацию. Вместо этого она несет бесконечный поток пустых тавтологий — «мы здесь потому, что мы здесь».

Гут также отбрасывал антропный принцип, утверждая: «Мне трудно поверить, что кто-либо вообще стал бы использовать антропный принцип, если бы у нас было лучшее объяснение. Мне еще предстоит услышать, к примеру, об антропном принципе в мировой истории... Люди занимаются антропным принципом, когда они не могут придумать чего-то лучшего».

Мультивселенная

Другие ученые, такие, как сэр Мартин Рис из Кембриджского университета, считают, что эти космические случайности являются доказательством существования Мультивселенной. Рис считает, что единственным способом объяснения того факта, что мы живем в невероятно узкой диапазонной полосе сотен «совпадений», является постулирование существования миллионов параллельных вселенных. В этой Мультивселенной большинство вселенных мертвы. Протон в них неустойчив. Атомы так и не создаются. ДНК не образуется. Вселенная либо преждевременно коллапсирует, либо практически немедленно замерзает. Но в нашей вселенной произошел ряд космических случайностей, при этом совершенно не обязательно считать, что Господь приложил к этому руку; можно основываться просто на законе больших величин.

В каком-то смысле от сэра Мартина Риса в последнюю очередь можно было бы ожидать услышать об идее параллельных миров. Он Королевский Астроном Великобритании, и на нем большая ответственность за формирование взгляда на вселенную. Седовласый, солидный, безупречно одетый, Рис в равной степени хорошо говорит как о космических чудесах, так и о заботах публики.

Он отнюдь не считает совпадением то, что вселенная построена для возможности существования жизни. Во всем просто-напросто слишком много случайностей, чтобы все вошло в столь узком диапазоне, позволяющем существовать. «То, что кажется нам тонкой настройкой, от которой зависит существование, может оказаться всего лишь совпадением», шутит Рис. — Когда-то и я думал именно так. Но сейчас это кажется мне слишком узким... Если мы примем его, разнообразие — будто бы особенные черты нашей вселенной — которые не теологи когда-то приводили в качестве доказательств существования Провидения или изначального проекта — не вызовут удивления.

Рис попытался подкрепить свои аргументы перечислением некоторых из этих концептов. Он утверждает, что вселенная, по видимости, управляется шестью параметрами, каждый из которых поддается измерению и является тонко настроенным. Эти величины должны удовлетворять условиям жизни, или же они — мертвые вселенные.

Первый — это то, что параметр ξ равен 0,007 — отношение количества водорода, который конвертируется в гелий путем слияния в момент Большого Взрыва. Если бы эта величина имела значение не 0,007, а 0,006, то это ослабило бы силу ядерного взаимодействия протонов и нейтронов, и они не смогли бы соединиться, сформировать ядра. Невозможным оказалось бы образование дейтерия (ядер с протоном и одним нейтроном), а отсюда следует, что более тяжелые элементы так и не образовались бы в звездах, а вся вселенная осталась бы в сплошной водород. Даже малейшее снижение сильного взаимодействия вызвало бы нестабильность периодической таблицы химических элементов, а количество устойчивых элементов, необходимых для создания жизни, уменьшилось бы.

Если бы значение ξ равнялось 0,008, то синтез происходил бы настолько быстро, что после Большого Взрыва не осталось бы водорода и сегодня не было бы звезд, дающих свою энергию планетам. Или, возможно, два протона оказались бы связаны вместе, что также сделало бы синтез в звездах невозможным. Рис указывает на вывод Фреда Хойла, что изменение силы ядерного взаимодействия всего лишь на 4 % сделало бы невозможным образование углерода в звездах, а это, в свою очередь, стало бы препятствием для формирования высших элементов и, следовательно, для возникновения жизни. Хойл обнаружил, что при незначительном изменении силы ядерного взаимодействия бериллий становится настолько неустойчив, что не может служить «мостом» для образования атомов углерода.

Второй параметр — это N , значение которого равно 10^{36} . N — это частное от деления силы электрического взаимодействия на силу гравитации. Этот параметр показывает, насколько слаба гравитация. Если бы гравитация была еще слабее, то стала бы невозможной конденсация звезд в плотные скопления вещества и создание невероятно высоких температур, необходимых для синтеза. Отсюда следует, что звезды не светились бы и планеты погрузились бы в замораживающую тьму.

Но если бы гравитация была чуть сильнее, то это вызвало бы слишком быстрый разогрев звезд и они сожгли бы свое топливо слишком быстро. При таком варианте развития событий жизнь просто не успела бы зародиться. Кроме того, более сильная гравитация вызвала бы более раннее образование галактик, и они были бы слишком маленькими. Звезды встречались бы в более плотных скоплениях, что стало бы причиной катастрофических столкновений между различными звездами и планетами.

Третьим параметром является ρ_0 , относительная плотность вселенной. Если бы ρ_0 была слишком мала, то вселенная расширилась бы и остыла слишком быстро. Но если бы ρ_0 была слишком велика, то вселенная сжалась бы еще до начала всякой жизни. Рис пишет: «Через одну секунду после Большого Взрыва ρ_0 не могла отличаться от единицы больше, чем на 10^{-15} , чтобы сегодня, 10 миллиардов лет спустя, вселенная все еще продолжала расширяться, а значение ρ_0 при этом наверняка не ушло бы далеко от единицы».

Четвертым параметром является λ , космологическая константа, которая определяет ускорение нашей вселенной. Если бы эта константа была всего лишь в несколько раз больше, то создалась бы антигравитация, которая разорвала бы нашу вселенную, и это стало бы причиной ее немедленного Большого Охлаждения, при котором жизнь невозможна. Но если бы значение космологической константы было отрицательным, то вселенная бы коллапсировала в Большом Сжатии, причем это случилось бы слишком быстро, чтобы смогла сформироваться какая-либо жизнь. Иными словами, чтобы существование жизни оказалось возможным, космологическая константа, как и Ω , также должна находиться в определенном узком диапазоне.

Пятым параметром является Q средняя относительная амплитуда флуктуации в космическом микроволновом излучении, равная 10^{-5} . Если бы это число было чуть меньше, то вселенная имела бы чрезвычайно однородную структуру, будучи безжизненной массой газа и пыли, которые никогда не конденсировались бы в сегодняшние звезды и галактики. Вселенная была бы темной, однородной, лишенной характерных черт и безжизненной. Если бы значение Q было больше, то конденсация вещества произошла бы раньше, при этом оно конденсировалось бы в *огромные* сверхгалактические структуры. Эти «огромные куски вещества конденсировались бы в черные дыры», пишет Рис. Эти черные дыры были бы тяжелее, чем целые галактические скопления. Любые звезды, образование которых возможно в таком огромном скоплении газа, располагались бы слишком плотно, а потому существование планетарных систем было бы невозможным.

Последним параметром является D , то есть количество пространственных измерений. Благодаря заинтересованности в M -теории физики возвратились к вопросу о том, является ли жизнь возможной в дополнительных высших или низших измерениях. Если пространство одномерно, то, вероятно, существование жизни невозможно, поскольку вселенная становится слишком упрощенной. Как правило, при попытках физиков применить квантовую теорию к одномерным вселенным мы обнаруживаем, что частицы проходят одна сквозь другую без всякого взаимодействия. Поэтому вполне возможно, что

вселенные, существующие в одном измерении, не могут нести жизнь, поскольку частицы не могут «приклеиться» одна к другой, образуя все более сложные объекты.

В двух измерениях мы также сталкиваемся с проблемой, поскольку жизненные формы, вероятно, дезинтегрировались бы. Представьте двумерную расу существ, обитателей Плоской Страны, живущих на поверхности стола. Представьте, что они пытаются есть. Пищевод, тянувшийся ото рта к заднему проходу, расщепил бы обитателя Плоской Страны надвое, и он распался бы. Таким образом, трудно представить, как обитатель Плоской Страны мог бы существовать, не распадаясь на части.

Еще один аргумент из области биологии указывает на то, что разумная жизнь не может существовать менее чем в трех измерениях. Наш мозг состоит из большого количества пересекающихся нейронов, объединенных обширной электрической сетью. Если бы вселенная была одно- или двумерной, было бы невозможно строить сложные нейронные сети, особенно в условиях короткого замыкания при наложении их друг на друга. В условиях низших измерений мы жестко ограничены количеством сложных логических схем и нейронов, которые можно разместить на маленьком участке. Например, наш собственный мозг состоит из 100 миллиардов нейронов, что приблизительно равно количеству звезд в Галактике Млечный Путь; при этом каждый нейрон связан с десятью тысячами других нейронов. Такую сложность было бы трудно воспроизвести в условиях меньшего количества измерений.

В четырех пространственных измерениях возникает следующая проблема: планеты неустойчивы на своих околосолнечных орбитах. На смену закону обратных квадратов Ньютона приходит закон обратных кубов. В 1917 году Пол Эренфест, близкий сотрудник Эйнштейна, размышлял о том, какой была бы физика в четырех измерениях. Он проанализировал уравнение, называемое уравнением Пуассона-Лапласа (которое управляет движением планетарных объектов, а также электрическими зарядами в атомах), и обнаружил, что орбиты теряют свою устойчивость в четырех и более пространственных измерениях. Поскольку электроны, подобно планетам, испытывают беспорядочные столкновения, это означает, что атомы

и солнечные системы, вероятно, не могут существовать в большем количестве измерений. Иными словами, трехмерный случай — особый.

С точки зрения Риса, антропный принцип является одним из наиболее убедительных аргументов в пользу существования Мультивселенной. Точно так же как существование зон обитания для Земли предполагает существование экстрасолнечных планет, существование зон обитания для вселенной предполагает существование параллельных вселенных. Рис комментирует это так: «Если есть большой ассортимент одежды, то никак не удивительно обнаружить в нем подходящий костюм. Если существует много вселенных, каждая из которых управляется различным набором величин, то будет и одна, где есть особый набор величин, пригодный для жизни. И мы находимся именно в ней». Иными словами, вселенная такова, какая она есть, благодаря закону больших величин, действующему среди многих вселенных Мультивселенной, а вовсе не благодаря некоему великому проекту.

Вайнберг, похоже, с этим согласен. В сущности, он считает идею Мультивселенной довольно интересной пищей для размышления. Ему никогда не нравилась та идея, что время внезапно могло начать свое существование в момент Большого Взрыва и что до этого момента времени просто не существовало. В Мультивселенной же происходит вечное создание вселенных.

Существует еще одна, несколько необычная причина, по которой Рис предпочитает идею Мультивселенной. Он считает, что вселенная содержит в себе небольшое количество «безобразия». К примеру, земная орбита несколько эллиптическая. Если бы она была идеально круговой, то можно было бы заявить, подобно теологам, что Земля представляет собой побочный продукт божественного вмешательства. Но орбита имеет слегка эллиптическую форму, что указывает на некоторое количество беспорядочности в пределах диапазонов зон обитания. Подобным образом и космологическая константа не полностью равна нулю, но весьма мала, что указывает на то, что наша вселенная «является не более особенной, чем того требует наше присутствие». Все это не противоречит тому, что наша вселенная была создана случайно.

Эволюция вселенных

Будучи скорее астрономом, нежели философом, Рис говорит о том, что все эти теории должны подлежать проверке. В сущности, именно по этой причине он предпочитает идею Мультивселенной среди соперничающих мистических теорий. Рис считает, что теорию Мультивселенной можно будет проверить в течение ближайших двадцати лет.

Один из вариантов теории Мультивселенной действительно можно проверить уже сейчас. Физик Ли Смолин идет еще дальше Риса и предполагает, что имела место «эволюция» вселенных, аналогичная эволюции Дарвина, которая в конечном счете привела к образованию таких вселенных, как наша. К примеру, в теории беспорядочной инфляции «дочерние» вселенные характеризуются физическими константами, несколько отличными от констант вселенной-матери. Если вселенные могут возникать из черных дыр, то, по мнению некоторых физиков, доминирующими вселенными в Мультивселенной будут вселенные с наибольшим количеством черных дыр. Это означает, что, как и в животном царстве, вселенные, дающие начало наибольшему количеству «детей», в конечном счете становятся доминирующими и распространяют свою «генетическую информацию» — физические константы природы. Если это верно, то у нашей вселенной в прошлом могло быть бесчисленное множество предков-вселенных, а сама она является побочным продуктом триллионов лет естественного отбора. Иными словами, наша вселенная является побочным продуктом выживания наиболее приспособленных, что означает, что она — дитя вселенных с наибольшим количеством черных дыр.

Хотя дарвиновская эволюция вселенных является необычной и оригинальной идеей, Смолин считает, что ее можно проверить путем простого подсчета количества черных дыр. Наша вселенная должна быть максимально благоприятной для создания черных дыр. (Однако еще предстоит доказать, что вселенные с наибольшим количеством черных дыр благоприятны для жизни, как наша.)

Поскольку эту идею можно проверить, можно рассмотреть и контрпримеры. Например, можно показать, гипотетически настроив физические параметры вселенной, что черные дыры наиболее активно рождаются в безжизненных вселенных. К примеру, быть

может, можно было бы показать, что во вселенной, где ядерное взаимодействие было бы намного более сильным, звезды выгорели бы чрезвычайно быстро, в результате чего образовалось бы большое количество сверхновых, которые затем схлопнулись бы в черные дыры. В такой вселенной более высокий уровень ядерного взаимодействия означает, что жизнь звезд длится в течение короткого промежутка времени, а отсюда следует, что зарождение жизни невозможно. Но в такой вселенной также могло бы быть намного больше черных дыр, что опровергает теорию Смолина. Преимущество этой теории состоит в том, что ее можно проверить, воспроизвести или опровергнуть (признак любой по-настоящему научной теории). Время покажет, выстоит она или нет.

Хотя любая теория, включающая в себя порталы-червоточины, суперструны и дополнительные высшие измерения, лежит за пределами наших экспериментальных возможностей, сейчас проводятся и планируются новые эксперименты, при помощи которых можно будет определить истинность этих теорий. Мы сейчас находимся в самом разгаре переворота в экспериментальной науке, и вся мощь спутников, космических телескопов, детекторов гравитационных волн и лазеров привлекается для решения этих вопросов. Богатый урожай, принесенный этими экспериментами, вполне мог бы разрешить некоторые из глубочайших вопросов космологии.

ГЛАВА 9

В поисках эхо-сигналов из одиннадцатого измерения

Серьезные заявления требуют серьезных доказательств.

Карл Саган

Какое бы глубокое впечатление ни производили параллельные вселенные, порталы в другие измерения, да и сами дополнительные высшие измерения, все же требуются неопровержимые доказательства их существования. Как отмечает астроном Кен Кросвелл, «Другие вселенные — словно хмельной напиток дальних стран: о них можно говорить все, что захочешь, безо всякого опровержения, поскольку астрономы их так и не видят». Раньше проверка многих из этих прогнозов считалась безнадежным предприятием в условиях примитивности нашей экспериментальной техники. Однако последние достижения в области компьютерной, лазерной и спутниковой технологий подвели многие из этих теорий соблазнительно близко к экспериментальной проверке.

Прямая проверка этих теорий может оказаться чересчур сложной, однако косвенная проверка может оказаться в пределах нашей досягаемости. Иногда мы забываем, что астрономия во многом основана на косвенных методах. К примеру, никто никогда не был на Солнце или других звездах, однако же нам известно, из чего состоят звезды, а выяснили мы это при помощи света, испускаемого этими

светящимися объектами. Анализируя оптический спектр звездного света, мы узнали, что звезды состоят в основном из водорода и некоторого количества гелия. Подобным образом, никто никогда не видел черной дыры: в сущности, черные дыры невидимы и их нельзя наблюдать непосредственно. Однако мы можем получить косвенное доказательство их существования путем поисков аккреционных дисков и вычисления массы этих мертвых звезд.

Во всех этих экспериментах мы ведем поиски «эхо-сигналов», исходящих от звезд и черных дыр, с целью определить их природу. Подобным образом и одиннадцатое измерение может находиться вне нашей прямой досягаемости, но новые революционные инструменты, имеющиеся в нашем распоряжении, делают реальными потенциальные способы проверки теории инфляционного расширения и теории суперструн.

GPS и теория относительности

Простейшим примером переворота в исследованиях теории относительности, произведенного спутниками, является *Глобальная система навигации и определения положения* (англ. *Global Positioning System*, или **GPS**), 24 спутника которой непрерывно вращаются вокруг Земли, испуская точные синхронизированные сигналы, которые позволяют определить положение объекта с невероятной точностью. Эта глобальная система стала незаменимым элементом в навигации, торговле, а также при проведении военных действий. Все — от компьютеризованных карт в автомобилях до крылатых ракет — основано на возможности синхронизации сигналов с точностью до 50 миллиардных долей секунды для определения положения объекта на Земле с точностью до 14 метров. Но для того, чтобы обеспечить столь высокую точность, ученым необходимо вычислить небольшие поправки к законам Ньютона согласно теории относительности, которая утверждает, что при движении спутников произойдет небольшое смещение частоты радиоволн^Ч В сущности, если мы неосмотрительно пренебрежем поправками согласно теории относительности, то часы на спутниках глобальной системы будут спешить на 40 миллионов долей секунды в день и на данные системы полагаться будет нельзя. Таким образом, теория относительности

асолютно необходима для торговли и военных. Физику Клиффорду Уиллу как-то довелось провести инструктаж генерала ВВС США на тему необходимых поправок для глобальной системы навигации и определения положения, исходящих из теории относительности Эйнштейна. Позднее Уилл заметил, что теория относительности достигла стадии зрелости, раз уже даже высшие офицеры Пентагона нуждаются в инструктаже по теории относительности.

Детекторы гравитационных волн

До сих пор все, что известно об астрономии, приходило к нам в форме электромагнитного излучения, будь это звездный свет, радио- или микроволновые сигналы из глубин космоса. Сегодня ученые вводят первое новое средство для научных открытий, а именно гравитацию. «Каждый раз, как мы смотрели на небо по-новому, мы видели новую вселенную», — говорит Гари Сандерс из Калифорнийского технологического института, заместитель директора проекта гравитационных волн.

Впервые о гравитационных волнах заговорил Эйнштейн в 1916 году. Представьте, что случилось бы, если бы Солнце исчезло, Припоминаете аналогию шара для игры в боулинг, утопающего в матрасе? Или еще лучше — в батуте? Если этот шар внезапно убрать, то батут немедленно возвратится в свое первоначальное состояние, что создаст волны, бегущие вовне по батуту. Если шар для боулинга заменить Солнцем, то мы увидим, что гравитационные волны движутся с определенной скоростью, а именно со скоростью света.

Хотя позднее Эйнштейн нашел точное решение для своих уравнений, допускавших существование гравитационных волн, он отчаялся увидеть при жизни подтверждение своего прогноза, Гравитационные волны чрезвычайно слабы. Даже ударные взрывные волны, образующиеся при столкновениях звезд, недостаточно сильны, чтобы их можно было измерить в ходе проводимых в настоящее время экспериментов.

Пока что существование волн гравитации подтверждено лишь косвенно. Два физика, Рассел Хале и Джозеф Тейлор мл., выдвинули следующую гипотезу: если изучить двойные звездные системы, в которых вращающиеся звезды движутся одна за другой в космическом

пространстве, то окажется, что каждая звезда испускает поток гравитационных волн, похожих на волны, образующиеся при размещении папки. При этом орбита обеих звезд постепенно становится все меньше и меньше. Эти ученые изучили смертельную спираль двух нейтронных звезд, постепенно приближающихся друг к другу. Объектом их исследования стала двойная система нейтронных звезд PSR 1913+16, которая находится на расстоянии около 16000 световых лет от Земли. Звезды этой системы совершают полный виток одна вокруг другой за 7 часов 45 минут, и в этом процессе в космическое пространство испускаются волны гравитации.

Применив теорию Эйнштейна, эти ученые обнаружили, что две рассматриваемые звезды должны сближаться друг с другом на один миллиметр за каждый полный виток. Хотя такое расстояние фантастически мало, в год оно увеличивается почти до метра, в то время как орбита в 700 000 км медленно уменьшается в размерах. Эта новаторская работа показала, что уменьшение орбиты в точности соответствует предсказаниям теории Эйнштейна на основе гравитационных волн. (В сущности, уравнения Эйнштейна предсказывают, что звезды в конце концов столкнутся через 240 миллионов лет вследствие потери энергии, испускаемой в космос в виде гравитационных волн.) За свою работу Рассел Халл и Джозеф Тейлор мл. получили Нобелевскую премию по физике в 1993 году.

Мы можем также пойти в обратном направлении и использовать этот точный эксперимент, чтобы измерить, насколько точна сама общая теория относительности. При проведении вычислений в обратном порядке выясняется, что общая теория относительности верна как минимум на 99,7 %.

LIGO — лазерная обсерватория-интерферометр гравитационных волн

Чтобы получить полезную информацию о ранней вселенной, необходимы прямые наблюдения гравитационных волн. В 2003 году первый действующий детектор гравитационных волн **LIGO** (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*, или лазерная обсерватория-интерферометр гравитационных волн) наконец был запущен, реализовав тем самым давнюю мечту прощупать тайны вселенной

посредством гравитационных волн. Целью детектора LIGO является регистрация космических событий, которые происходят слишком далеко или имеют слишком маленькие масштабы, чтобы их можно было наблюдать при помощи наземных телескопов. Это, скажем, такие события, как столкновения черных дыр или нейтронных звезд.

Обсерватория LIGO состоит из двух гигантских лазерных установок, одна из которых расположена в Хэнфорде (штат Вашингтон), а другая в Ливингстоне (штат Луизиана). Каждая из установок снабжена двумя трубами по 4 км длиной каждая, которые образуют гигантскую букву L. Внутри каждой трубы включается лазер. В углу буквы L оба лазерных луча сталкиваются, и происходит интерференция их волн. Обычно в отсутствие каких-либо возмущений две волны синхронизируются и взаимоуничтожаются. Но если в устройство попадает даже малейшая гравиволна, образовавшаяся при столкновении черных дыр или нейтронных звезд, то одно плечо уменьшается или увеличивается иным образом, нежели второе. Такого возмущения достаточно, чтобы разрушить хрупкий баланс двух лазерных лучей — они не взаимоуничтожаются, а создают характерную картину интерференции волн, которую можно подвергнуть детальному компьютерному анализу. Чем больше гравитационная волна, тем больше несовпадение между двумя лазерными лучами и тем больше интерференция.

Обсерватория LIGO являет собой чудо техники. Поскольку молекулы воздуха могут поглощать свет лазеров, трубку, по которой проходит свет, вакуумируют до давления в одну триллионную часть атмосферы. Каждый детектор занимает около $8,4 \text{ м}^3$ пространства, что означает, что в обсерватории LIGO находится самый большой объем искусственного вакуума в мире. Особая чувствительность LIGO объясняется, в частности, конструкцией зеркал, управляемых крошечными магнитами размером с муравья, которых всего шесть. Зеркала так отполированы, что точность их составляет до одной тридцатимиллиардной доли дюйма. «Представьте, что Земля была бы настолько гладкой. Тогда средняя гора возвышалась бы не более, чем на дюйм (ок. 2,5 см)», — говорит Гарилинн Биллингсли, в обязанности которой входит контроль зеркал. Конструкция этих зеркал настолько тонка, что их можно сдвигать менее чем на микрон, что

делает их, вероятно, самыми чувствительными зеркалами в мире. «У большинства инженеров, занимающихся системами контроля и управления, просто отвисает челюсть, когда они слышат о том, что мы пытаемся сделать», — говорит Майкл Цукер, ученый, принимающий участие в проекте LIGO.

Поскольку детектор LIGO столь тонко сбалансирован, иногда его работе мешают крошечные вибрации, идущие от самых нежелательных источников. К примеру, установку LIGO в Луизиане нельзя запускать днем из-за лесорубов, которые валят деревья в полукilометре от детектора. (Детектор LIGO настолько чувствителен, что его нельзя было бы запускать в течение дня даже в том случае, если рубка леса проходила бы на расстоянии полутора километров.) Даже ночью вибрации, источником которых являются товарные составы, проходящие в полночь и в шесть часов утра, ограничивают продолжительность непрерывной работы детектора LIGO.

Даже столь слабое явление, как волны, бьющие о берег на расстоянии нескольких километров от установки, может повлиять на результаты. Волны океана бьют о берег Северной Америки в среднем каждые шесть секунд, создавая низкий гул, который может быть зафиксирован лазерами. Частота этого шума настолько низка, что он, в сущности, может распространяться прямо сквозь землю. «Это похоже на рокот, — так комментирует этот шум Цукер. — В сезон ураганов в Луизиане это становится просто кошмаром». Кроме того, на детектор LIGO оказывают влияние приливы, создаваемые гравитацией Луны и Земли, что создает возмущение в несколько миллионных долей дюйма.

Для того чтобы исключить эти невероятно малые возмущения, инженеры детектора LIGO предприняли чрезвычайные меры для обеспечения изоляции установки. Каждая лазерная система покоится на вершине четырех огромных платформ из нержавеющей стали, расположенных одна поверх другой; каждый уровень разделен ресорами для погашения всех вибраций. Каждый оптический инструмент снабжен своей собственной системой сейсмической изоляции; цементный пол в 75 сантиметров толщиной не соединен со стенами.

Детектор LIGO представляет собой часть интернационального консорциума, в который также входят французско-итальянский детектор под названием VIRGO в Пизе (Италия), японский детек-

тор ТАМА, расположенный за пределами Токио, а также британско-немецкий детектор GEO600 в Ганновере (Германия). В целом, общая стоимость постройки детектора LIGO обойдется в 292 млн долларов (плюс 80 млн долларов на пуско-наладочные работы и модернизацию), что делает его самым дорогим проектом из когда-либо финансировавшихся Национальным научным фондом.

Однако, даже несмотря на такую чувствительность детектора, многие ученые признают, что LIGO, возможно, не обладает достаточной чувствительностью для улавливания действительно интересных событий за время своей работы. Следующая модернизация установки, LIGO II, намечается на 2007 год (при условии получения финансирования). Если детектор LIGO не уловит гравитационных волн, то смело можно ставить на то, что это получится у LIGO II. Ученый, принимающий участие в проекте LIGO, Кеннет Либбрехт, заявляет, что LIGO II увеличит чувствительность оборудования в тысячу раз: «Вы переходите от [улавливания] одного события раз в 10 лет, что довольно мучительно, к одному событию в три дня, что уже приятно».

Чтобы детектор LIGO уловил сигнал от столкновения двух черных дыр (на расстоянии до 300 млн световых лет), ученым пришлось бы ждать от года до тысячи лет. Многие астрономы, возможно, сомневаются в целесообразности изучения подобных событий при помощи детектора LIGO, если это означает, что свидетелями этого события станут их пра-пра-пра... правнуки. Но как выразился один из участников проекта LIGO Питер Солсон: «Людам нравится решать эти технически сложные задачи подобно тому, как строители средневековых соборов продолжали свою работу, зная, что они, возможно, не увидят оконченной церкви. Но если бы не существовало такой большой вероятности увидеть гравитационные волны в течение моей жизни, то я бы не работал в этой области. Это не просто Нобелевская лихорадка... Характерным отличием нашей работы является степень точности, к которой мы стремимся; если вы работаете таким образом, то вы двигаетесь в правильном направлении». Вероятность обнаружения поистине интересного события в течение нашей жизни будет намного выше при использовании детектора LIGO II. LIGO II, возможно, обнаружит сталкивающиеся черные дыры на расстояниях до 6 миллиардов световых лет с частотой от десяти в день до десяти в год.

Однако даже детектор LIGO II не будет обладать достаточной чувствительностью для обнаружения гравитационных волн, испускаемых в момент его создания. Для этого нам придется подождать еще 15-20 лет до запуска космической лазерной антенны-интерферометра LISA.

Детектор гравитационных волн LISA

LISA (*Laser Interferometry Space Antenna*, или космическая лазерная антенна-интерферометр) представляет собой следующее поколение детекторов гравитационных волн. В отличие от детектора LIGO он будет базироваться в открытом космосе. Около 2010 года НАСА совместно с Европейским управлением космических исследований планирует запуск трех спутников, которые будут выведены на солнечную орбиту на расстоянии почти в 50 млн км от Земли. Три лазерных детектора образуют в космосе равносторонний треугольник (со стороной в 5 млн километров). Каждый спутник будет оснащен двумя лазерами, которые обеспечат непрерывный контакт с двумя другими спутниками. Хотя мощность испускаемых лазерами лучей будет составлять всего лишь 0,5 Вт, оптическое оборудование спутников настолько чувствительно, что оно сможет улавливать вибрации, исходящие от гравитационных волн с точностью до 10^{-21} (что соответствует смещению на одну сотую размера одного атома). LISA должна уловить гравитационные волны от источников, находящихся на расстоянии до 9 млрд световых лет от нас, охватывая таким образом большую часть видимой вселенной.

Антенна-интерферометр LISA будет настолько точна, что, возможно, зафиксирует первоначальные ударные волны самого Большого Взрыва. Это представит нам наиболее точную картину момента сотворения. Если все будет идти по плану^{^^}, то LISA сможет заглянуть в первую триллионную долю секунды после Большого Взрыва, что, вероятно, сделает ее самым мощным инструментом для космологических исследований. Считается, что LISA сможет представить первые экспериментальные данные относительно точной природы единой теории поля, теории всего.

Одной из важных целей антенны-интерферометра LISA является представление неоспоримого доказательства, «дымящегося

ружья» для теории инфляционного расширения вселенной. До сих пор теория инфляции вписывается во все космологические данные (плоскость, флуктуации в космическом фоне и так далее). Но это не означает, что данная теория верна. Чтобы окончательно решить этот вопрос, ученые хотят изучить гравитационные волны, пущенные в самом процессе инфляционного расширения. «Отпечаток пальца» гравитационных волн, образовавшихся в момент Большого Взрыва, должен показать разницу между теорией инфляционного расширения и любой другой конкурирующей теорией. Некоторые ученые, к примеру Кип Торн из Калифорнийского технологического института, считают, что LISA сможет установить, является ли правильной хотя бы одна из вариаций струнной теории. Как я уже объяснял в главе 7, согласно теории инфляционного расширения вселенной гравитационные волны, возникающие в результате Большого Взрыва, должны быть довольно интенсивными, чтобы соответствовать стремительному, экспоненциальному расширению молодой вселенной; в то время как эмпиротическая модель говорит о более медленном расширении, которое сопровождалось более плавными гравитационными волнами. Антенна-интерферометр LISA должна опровергнуть различные конкурирующие теории Большого Взрыва, а также водвергнуть серьезному испытанию струнную теорию.

Линзы и кольца Эйнштейна

Еще одним мощным средством исследования космоса могут служить гравитационные линзы и «кольца Эйнштейна». Уже в 1801 году берлинскому астроному Иоганну Георгу фон Зольднеру удалось вычислить возможное преломление звездного света солнечной гравитацией (хотя, поскольку Зольднер использовал исключительно законы ньютоновской механики, его результат был ошибочным и вдвое отличался от правильного. Эйнштейн написал: «Половина этого преломления вызвана ньютоновским полем притяжения Солнца, а вторая половина — геометрической трансформацией [«искривлением»] пространства, вызываемой Солнцем»).

В 1912 году, еще до окончания последней версии общей теории Относительности, Эйнштейн задумывался о возможности использования этого преломления в качестве «линзы» подобно тому, как

стекла ваших очков преломляют свет перед тем, как он достигнет ваших глаз. В 1936 году чешский инженер Руди Мандл написал Эйнштейну письмо, в котором спрашивал, может ли гравитационная линза преломлять свет, исходящий от близлежащей звезды. Ответ был утвердительным, но уловить такое преломление не представлялось возможным из-за несовершенства технологий того времени.

В частности, Эйнштейн понял, что мы бы увидели оптические иллюзии, такие, как двойные изображения самого объекта или кольцеобразное искажение света. Свет из очень далекой галактики, проходя, к примеру, мимо нашего Солнца, прошел бы слева и справа от него, прежде чем лучи соединились бы снова и достигли наших глаз. Когда мы вглядываемся в далекие галактики, мы наблюдаем кольцеобразные картины, оптические иллюзии, вызванные действием, которое объясняет общая теория относительности. Эйнштейн сделал вывод о том, что было «не много надежды на прямое наблюдение этого явления». В сущности, он написал о том, что эта работа «не имеет большой ценности, но доставляет радость бедняге [Мандлу]».

Больше чем через 40 лет, в 1979 году, Деннис Уолш из обсерватории Джодрелл-Бэнк получил первое частичное доказательство линзирования: он открыл двойной квазар Q0957+561. В 1988 году кольцо Эйнштейна впервые наблюдалось из источника радиоизлучения MG1131+0456. В 1997 году Космический телескоп Хаббла и сеть радиотелескопов MERLIN в Великобритании при изучении далекой галактики 1938+666 уловили первое кольцо Эйнштейна совершенно правильной формы, что в очередной раз подтвердило теорию великого ученого. (Это кольцо совсем крошечное, всего лишь в одну угловую секунду, то есть размером с маленькую монетку, наблюдаемую с расстояния в три километра.) Астрономы так описывают восторг, охвативший их при виде этого исторического события: «Сначала кольцо выглядело довольно искусственно и мы подумали, что это какой-то дефект изображения, но потом мы поняли, что перед нами кольцо Эйнштейна совершенно правильной формы!» — сказал Йен Браун из Манчестерского университета. Сегодня кольца Эйнштейна являются важным инструментом в арсенале астрофизиков. В открытом космосе было обнаружено около 64 двойных, тройных и других кратных квазаров (миражей, вызванных гравитационным линзирова-

нием Эйнштейна), что приблизительно составляет пятисотую часть всех известных квазаров.

Даже такие невидимые формы вещества, как темное вещество, можно наблюдать при помощи создаваемого ими преломления света. Таким способом можно получить «карты», на которых показано распределение темного вещества во вселенной. Поскольку гравитационное линзирование Эйнштейна преломляет свет больших галактических скоплений скорее в дуги (нежели в кольца), представляется возможным оценить концентрацию темного вещества в этих скоплениях. В 1986 году астрономы Национальной оптической астрономической обсерватории Стэнфордского университета и Обсерватории Пик-дю-Миди во Франции наблюдали первые гигантские галактические дуги. С тех пор было обнаружено около сотни галактических дуг, наиболее впечатляющей из которых является Абель 2218.

Линзы Эйнштейна можно также использовать в качестве объектного метода измерения количества массивных компактных объектов гало (МАСНО) во вселенной (которые состоят из обычного вещества, такого, как мертвые звезды, коричневые карлики и пылевые облака). В 1986 году Богдан Пачински из Принстона понял, что в кучае, если массивные компактные объекты гало проходят перед звездой, они тем самым увеличивают ее яркость и создают второе ее изображение.

В начале 1990-х годов несколько групп ученых (в частности, французская группа EROS, американо-австралийская группа МАСНО и польско-американская группа OGLE) воспользовались этим методом для изучения центра Галактики Млечный Путь и обнаружили более пятисот микролинзовых событий (этот результат превзошел ожидания, поскольку некоторое количество этого вещества состояло из звезд с малой массой и неистинных массивных компактных объектов гало). Этот же метод может применяться для обнаружения экстрасолнечных планет, вращающихся вокруг других звезд. Поскольку планета оказывала бы очень малое, но измеримое гравитационное воздействие на свет материнской звезды, линзирование Эйнштейна принципе могло бы их обнаружить. При помощи этого метода уже было выявлено небольшое количество кандидатов в экстрасолнечные планеты, некоторые из них располагаются у центра Млечного Пути.

При помощи линз Эйнштейна можно измерить даже постоянную Хаббла и космологическую константу. Постоянная Хаббла измеряется путем тщательного наблюдения. Квазары становятся ярче и тускнеют с течением времени. Можно было бы ожидать, что двойные квазары, будучи изображениями одного и того же объекта, мерцали бы в унисон. Используя имеющиеся данные о распределении вещества во вселенной, астрономы могут вычислить долю задержки во времени, потребовавшемся свету, чтобы достичь Земли. Измерив отставание во времени, когда двойные квазары становятся ярче, можно определить, на каком расстоянии от Земли они находятся. Зная же их красное смещение, можно вычислить постоянную Хаббла. (Именно такой метод был использован применительно к квазару Q0957+561, расстояние до которого оказалось равно приблизительно 14 млрд световых лет от Земли. С тех пор постоянная Хаббла была определена путем изучения семи других квазаров. В пределах погрешности полученные при таком изучении результаты совпали с уже имеющимися данными. Интересным отличием этого метода является то, что он совершенно не зависит от яркости звезд (таких, как цефеиды и сверхновые типа Ia), что подчеркивает объективность полученных результатов.)

Этим способом можно измерить и космологическую константу, в которой, возможно, заключен ключ к будущему нашей вселенной. Такой способ вычисления немного неточен, но в принципе, результаты совпадают с данными, полученными при применении других методов. Поскольку миллиарды лет тому назад суммарный объем вселенной был меньше, вероятность обнаружения квазаров, образующих линзу Эйнштейна, в прошлом также была большей. Таким образом, определив количество двойных квазаров на различных этапах эволюции вселенной, можно вычислить приблизительный объем вселенной, а отсюда — космологическую константу, которая движет расширением вселенной. В 1998 году астрономы из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра осуществили первое приблизительное вычисление космологической константы и пришли к выводу, что она, вероятно, составляет не более 62 % от суммарного содержимого вещества/энергии вселенной. (Действительный результат, полученный при помощи спутника WMAP, составляет 73 %.)

Темное вещество у вас в гостиной

Если вселенная заполнена темным веществом, то оно существует не только в холодном космическом вакууме. В сущности, темное вещество можно также обнаружить и у вас в гостиной. Сегодня несколько исследовательских групп соревнуются за первенство в поимке частицы темного вещества в лаборатории. Ставки высоки: ученые той группы, которой удастся поймать частицу темного вещества, пронесшуюся сквозь детектор, окажутся первыми, кто открыл новую форму вещества за две тысячи лет.

Основная идея этих экспериментов заключается в следующем: необходим большой кусок чистого материала (такого, как йодид натрия, оксид алюминия, фреон, германий или кремний), в котором может происходить взаимодействие частиц темного вещества. Время от времени частица темного вещества может сталкиваться с ядром атома, создавая характерную картину распада. Фотографируя следы частиц, участвующих в этом распаде, ученые смогут подтвердить присутствие темного вещества.

Экспериментаторы полны сдержанного оптимизма, поскольку находящееся в их распоряжении чувствительное оборудование предоставляет им наилучшую возможность для наблюдения темного вещества. Наша Солнечная система вращается по орбите вокруг черной дыры в центре Галактики Млечный Путь со скоростью 220 километров в секунду. В результате этого наша планета проходит сквозь значительное количество темного вещества. Согласно расчетам физиков, миллиард частиц темного вещества в секунду пролетает сквозь каждый квадратный метр нашего мира, в том числе сквозь наши тела.

Хотя мы живем в «ветре темного вещества», дующем сквозь нашу Солнечную систему, лабораторные эксперименты по обнаружению темного вещества чрезвычайно сложны из-за того, что частицы темного вещества вступают в столь слабое взаимодействие с обычным веществом. Так, ученые ожидают за год обнаружить от 0,01 до 10 событий, происходящих в килограмме материала, наблюдающегося в лаборатории. Иными словами, пришлось бы многие годы внимательно наблюдать за большими количествами материала,

чтобы увидеть события, имеющие отношение к столкновениям темного вещества.

До сих пор в ходе таких экспериментов, как UKDMC в Великобритании, ROSEBUD в Канфранке (Испания), SNRLE в Рустреле (Франция) и Edelweiss в городе Фрежус (Франция), подобных событий обнаружено не было. Эксперимент под названием DAMA (от *Dark Matter*— «темное вещество»), проводившийся неподалеку от Рима, вызвал шумиху в 1999 году, когда ученые заявили, что наблюдали частицы темного вещества. Поскольку в детекторе DAMA используется 100 килограммов йодида натрия, он является самым большим в мире. Однако попытки воспроизвести тот же результат при помощи других детекторов не увенчались успехом — не было обнаружено ничего; и это бросило тень сомнения на данные, полученные в ходе эксперимента DAMA.

Физик Дэвид Б. Клайн замечает: «Если детекторы уловят и подтвердят сигнал, то это станет одним из крупнейших достижений двадцать первого столетия... Вскоре может разрешиться величайшая загадка современной астрофизики».

Если надежды физиков оправдаются и темное вещество вскоре будет обнаружено, то оно может представить доказательство в пользу суперсимметрии (а вероятно, с течением времени и в пользу теории суперструн) без использования ускорителей частиц.

SUSY — суперсимметричное темное вещество

Беглый взгляд на частицы, существование которых предсказывает суперсимметрия, показывает, что есть несколько потенциальных претендентов на объяснение тайны темного вещества. Одним из них является нейтралино, семейство частиц, куда входит суперпартнер фотона. С теоретической точки зрения нейтралино, кажется, соответствует имеющимся данным. Нейтралино не только имеет нейтральный заряд, а потому невидимо, — оно также массивно (а потому на него воздействует только гравитация), а кроме того, оно стабильно. (Такая ситуация складывается потому, что нейтралино обладает наименьшей массой из всех частиц семейства, к которому оно принадлежит, а потому оно не может распасться до каких-то более легких частиц). И наконец, последним и, вероятно, важнейшим

моментом является то, что во вселенной должно быть полно нейтралито, что делает их идеальными претендентами на роль темного вещества.

У нейтралито есть одно веское преимущество: они, возможно, способны разрешить загадку, почему темное вещество составляет ≈ 3 % вещественно-энергетического содержимого вселенной, в то время как водород и гелий отвечают лишь за какие-то жалкие 4 %.

Вспомним о том, что когда Вселенной было 380 000 лет, температура продолжала снижаться до тех пор, пока атомы уже не разрывало на части при столкновениях, вызванных невероятным жаром Большого Взрыва. В то время изначальный огненный шар начал остывать, конденсироваться и образовывать устойчивые целые атомы. Общее количество атомов восходит приблизительно к тому временному отрезку. Вывод таков: относительное содержание вещества во Вселенной складывалось в то время, когда Вселенная достаточно остыла, чтобы это вещество могло стать стабильным.

Этот же самый аргумент можно использовать при подсчете относительного содержания нейтралито. Сразу после Большого Взрыва температура была настолько высока, что даже нейтралито уничтожались при столкновениях. Однако по мере остывания Вселенной, некоторое время спустя, температура снизилась достаточно, чтобы стало возможным образование нейтралито без их последующего уничтожения. Относительное содержание нейтралито во Вселенной надо искать именно в той ранней эпохе. Осуществляя это вычисление, мы обнаруживаем, что относительное содержание нейтралито намного выше содержания атомов и, в сущности, приблизительно соответствует процентному содержанию темного вещества в настоящее время. Таким образом, суперсимметричные частицы могут объяснить, почему настолько высоко относительное содержание темного вещества во Вселенной.

Слоановский обзор неба

Хотя многие из достижений двадцать первого столетия будут заключаться в усовершенствовании оборудования, такого, как спутники, это вовсе не означает, что прекратятся работы с оптическими телескопами и радиотелескопами, базирующимися на Земле. В сущности,

благодаря цифровому перевороту произошли изменения в использовании оптических телескопов и радиотелескопов; стал возможен статистический анализ сотен тысяч галактик. Сегодня благодаря этой новой технологии телескопы переживают второе рождение.

На протяжении всей истории астрономы воевали за то ограниченное время, которое им разрешалось проводить за наблюдениями у объективов величайших телескопов мира. Они ревностно отстаивали драгоценные часы, отведенные им на наблюдения, проводя долгие ночные часы за работой в холодных сырых помещениях. Этот устаревший способ наблюдения был чрезвычайно неэффективен и часто служил причиной ожесточенных споров среди астрономов, которые чувствовали себя ущемленными со стороны «верхушки», монополизировавшей время работы за телескопами. С появлением Интернета и высокоскоростных компьютеров такая ситуация меняется.

Сегодня многие телескопы полностью автоматизированы; их работой могут управлять астрономы с различных континентов, находящиеся за тысячи миль от самих телескопов. Результаты этих сложных звездных обзоров могут быть оцифрованы и размещены в Интернете, где полученные данные можно подвергнуть обработке с помощью суперкомпьютеров. Одним из примеров применения этого цифрового метода может служить SETI@home, проект, размещенный в Калифорнийском университете в Беркли и предназначенный для изучения сигналов, несущих признаки внеземного разума. Большое количество данных, полученных радиотелескопом Аресибо в Пуэрто-Рико, разбивается на маленькие части и через Интернет отсылается на персональные компьютеры по всему миру. Преимущественно эти данные попадают любителям, непрофессионалам. Программа, выполненная в форме скринсейвера, анализирует данные на предмет сигналов внеземного разума в те моменты, когда компьютер не задействуется пользователем. При помощи этого метода данная исследовательская группа создала величайшую компьютерную сеть в мире, связывающую около 5 миллионов персональных компьютеров во всех уголках земного шара.

Наиболее выдающимся примером современного исследования Вселенной при помощи цифровых технологий является Слоановский обзор неба — наиболее амбициозный из всех, когда-либо имевших

место. Подобно проведенному ранее Паломарскому обзору неба, при котором использовались фотопластинки старого образца, хранившиеся в громоздких стопках, Слоановский обзор неба ставит целью создание точной карты небесных объектов. При помощи данного обзора удалось построить трехмерные карты далеких галактик в пяти цветах, включая красное смещение более миллиона галактик.

Результатом Слоановского обзора неба является крупномасштабная карта строения Вселенной, в несколько сотен раз превосходящая все предыдущие. На карте будет в мельчайших деталях представлена четверть всего небосвода, а также определено положение и яркость 100 миллионов небесных объектов. Кроме того, в результате этого обзора будет определено расстояние до миллиона с лишним галактик и около 100 тысяч квазаров. Итоговое количество информации, выясненной в ходе Слоановского обзора, составит 15 терабайт (триллион байт), что вполне может соперничать с количеством информации в Библиотеке Конгресса.

Сердцем Слоановского обзора является 2,5-метровый телескоп на юге штата Нью-Мексико, к которому подсоединена одна из лучших в мире камер. Прибор снабжен тридцатью чувствительными электронными световыми сенсорами, называемыми ПЗС (прибор с зарядовой связью), с площадью 2 квадратных дюйма (ок. 13 см²) каждый, помещенными в вакуум. Каждый сенсор охлажден до -80°C при помощи жидкого азота и содержит 4 миллиона пикселей. Таким образом, весь свет, улавливаемый телескопом, может быть немедленно оцифрован при помощи ПЗС, после чего данные доступны для компьютерной обработки. Стоимость проекта составляет менее 20 миллионов долларов, что в сто раз меньше стоимости проекта телескопа Хаббла, но тем не менее при помощи такого обзора создается потрясающая картина Вселенной.

Итак, некоторые из оцифрованных данных выкладываются в Интернет с тем, чтобы астрономы по всему миру могли изучить их. Таким образом можно задействовать интеллектуальный потенциал ученых всего мира. Слишком часто в прошлом у ученых третьего мира не было возможности доступа к последним научным журналам и самым свежим данным, полученным при помощи телескопов. Сегодня благодаря Интернету эти ученые могут загружать данные обзоров неба, читать статьи по мере их появления в Интернете, а

также публиковать свои статьи во всемирной паутине со скоростью света.

Слоановский обзор уже меняет методы астрономических исследований. Полученные при помощи обзора результаты основаны на анализе сотен тысяч галактик, что было совершенно немыслимо всего лишь несколько лет назад. К примеру, в мае 2003 года команда ученых из Испании, Германии и Соединенных Штатов заявила, что они изучили 250 тысяч галактик на предмет доказательства существования темного вещества. Из этого огромного количества они выбрали три тысячи галактик, вокруг которых вращаются звездные скопления. Применяв законы механики Ньютона для изучения движения этих спутников, они рассчитали количество темного вещества, которое должно окружать центральную галактику. Уже одним этим они опровергли альтернативную теорию (последняя была впервые предложена в 1983 году; она пыталась объяснить звездные орбиты неправильной формы в галактиках путем корректировки самих законов Ньютона: возможно, темного вещества не существует вообще; возможно, своим предполагаемым существованием оно обязано всего лишь ошибке в законах Ньютона. Данные обзора ставят эту теорию под сомнение).

В июле 2003 года еще одна команда ученых из Германии и Соединенных Штатов заявила, что они изучили 120 000 близлежащих галактик, используя Слоановский обзор для раскрытия отношений между галактиками и черными дырами, находящимися в них. Вопрос заключается в следующем: что возникло раньше, черная дыра или галактика, в которой эта черная дыра находится? Результат проведенного исследования показывает, что образование галактик и черных дыр тесно связано и, вероятно, они образовались вместе. Исследование показало, что из 120 000 изученных в ходе обзора галактик целых 20 000 содержат черные дыры, которые продолжают расти (в отличие от черной дыры в Галактике Млечный Путь, которая, кажется, находится в состоянии покоя). Полученные результаты показывают, что галактики, содержащие черные дыры, которые все еще растут в размерах, намного больше Галактики Млечный Путь, а расширяются они путем поглощения относительно холодного газа из галактики.

Компенсация температурных флуктуации

Еще одним способом возрождения оптических телескопов является использование лазеров для компенсации атмосферного искажения. Звезды мерцают не потому, что они вибрируют, они мерцают главным образом из-за очень малых температурных флуктуации в атмосфере. Это означает, что в открытом космосе, вдали от нашей атмосферы, астрономы видят звезды, сияющие ровным, неизменным светом. Хотя красота ночного неба в большой степени связана с мерцанием звезд, для астрономов это просто кошмар: из-за этого явления снимки небесных тел получаются расплывчатыми. (*Я помню, как в детстве смотрел на размытые изображения Марса и мне очень хотелось каким-нибудь образом заполучить кристально четкие снимки красной планеты. Если бы только можно было исключить возмущения атмосферы путем перенаправления световых лучей, думал я, то, возможно, разрешилась бы загадка о существовании внеземной жизни.*)

Одним из способов компенсировать эту размытость является использование лазеров и высокоскоростных компьютеров для того, чтобы свести на нет это искажение. В этом методе используется «адаптивная оптика», которую впервые задействовала моя однокурсница по Гарварду Клер Макс из Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса, а также другие ученые, используя телескоп имени Уильяма Майрона Кека на Гавайях (самый большой в мире), а также меньший трехметровый телескоп Шейна в Ликской обсерватории в Калифорнии. Пустив, например, лазерный луч в открытый космос, можно измерить очень малые температурные флуктуации в атмосфере. Эта информация анализируется при помощи компьютера, который затем несколько корректирует положение зеркала телескопа, что позволяет компенсировать это искажение звездного света. Таким путем можно в значительной мере исключить возмущения атмосферы.

Этот метод был с успехом опробован в 1996 году, и с тех пор с его помощью удается получать кристально четкие изображения планет, звезд и галактик. Система пускает в небо свет из настраиваемого лазера на красителе мощностью в 18 Вт. Лазер крепится к трехметровому телескопу, деформируемые зеркала которого настраиваются для компенсации атмосферных искажений. Само изображение улав-

ливается камерой ПЗС и оцифровывается. При весьма скромном бюджете эта система позволяет получать изображения, четкость которых почти не уступает изображениям с космического телескопа Хаббла. При помощи этого метода астрономы получают снимки, на которых можно различить мелкие детали внешних планет и даже взглянуть в самое сердце квазара, что дает новую жизнь технологии оптических телескопов.

Этот метод позволил увеличить разрешение телескопа Кека в десять раз. Обсерватория имени Кека расположена на вершине гавайского спящего вулкана Мауна-Кеа, на высоте в 4201 м над уровнем моря, и состоит из двух телескопов-близнецов, каждый из которых весит 270 тонн. Зеркала имеют диаметр 10 метров (394 дюйма) и состоят из 36 шестиугольников, положение каждого из которых можно непосредственно регулировать при помощи компьютера. В 1999 году система адаптивной оптики была встроена в телескоп Кека II. Система состоит из маленького деформируемого зеркала, которое может менять форму 670 раз в секунду. При помощи этой системы уже удалось сделать снимки звезд, вращающихся вокруг черной дыры в центре нашей Галактики Млечный Путь, снимки поверхности Нептуна и Титана (луны Сатурна) и даже одной экстрасолнечной планеты, которая затмила свою материнскую звезду на расстоянии в 153 световых года от Земли. Свет звезды HD 209458 тускнел в точном соответствии с прогнозами по мере прохождения планеты перед материнской звездой.

Соединение радиотелескопов

Компьютерная революция возродила также и радиотелескопы. В прошлом возможности радиотелескопов ограничивались размерами их тарелки. Чем больше была тарелка, тем большее количество радиосигналов из космоса можно было уловить и проанализировать. Однако чем больше тарелка, тем она дороже. Одним из способов решения этой проблемы является соединение нескольких тарелок для того, чтобы получить потенциал улавливания радиосигналов сверхмощного радиотелескопа. (Самым большим радиотелескопом, который можно собрать на Земле, стал бы радиотелескоп размером

с саму Землю.) Предыдущие попытки связывания радиотелескопов в Германии, Италии и Соединенных Штатах удались только частично.

Одна из проблем такого метода заключается в том, что сигналы, получаемые с различных радиотелескопов, необходимо четко скомбинировать и затем заложить в компьютер. В прошлом эта задача представлялась невыполнимой. Однако появление Интернета и дешевых высокоскоростных компьютеров позволило существенно снизить затраты. В настоящее время создание радиотелескопов с действительным размером порядка самой планеты Земля уже не является фантастикой.

В Соединенных Штатах самым лучшим аппаратом, в котором применяется интерференционная технология, является сверхдальняя антенная решетка VLBA, которая представляет собой сеть из десяти радиоантенн, расположенных в различных точках: в штатах Нью-Мексико, Аризона, Нью-Гемпшир, Вашингтон, Техас, на Виргинских островах и на Гавайях. Каждая установка решетки VLBA снабжена огромной тарелкой диаметром ок. 25 метров, которая весит 240 тонн и расположена на высоте десятиэтажного здания. На каждой установке радиосигналы скрупулезно записываются на пленку и отправляются в Операционный центр в Сокорро (штат Нью-Мексико), где эти сигналы коррелируются и анализируются. Система была запущена в 1993 году, а стоимость ее составила 85 млн долларов.

С помощью корреляции данных с этих десяти установок мы получаем эффективный гигантский телескоп, размеры которого достигают 8 тысяч километров в ширину и который позволяет получать точнейшие изображения на Земле. Для сравнения можно представить, что вы находитесь в Нью-Йорке и читаете газету, которая сейчас в Лос-Анджелесе. При помощи решетки VLBA уже удалось заснять космические струи и взрывы сверхновых, а также осуществить точнейшие из когда-либо сделанных измерения расстояний до объекта, находящегося за пределами Галактики Млечный Путь.

В будущем даже в оптических телескопах можно будет использовать силу интерферометрии, хотя это представляется довольно сложным, учитывая короткую длину волны света. Существует проект, предполагающий сведение оптических данных с двух телескопов в Обсерватории имени Кека, что позволит создать гигантский теле-

скоп намного большего размера, чем представляет собой каждый из них в отдельности.

Измеряем одиннадцатое измерение

Наряду с поисками темного вещества и черных дыр одной из самых интригующих для физиков является загадка дополнительных высших измерений пространства и времени. Одна из наиболее смелых попыток подтверждения существования близлежащей вселенной была совершена в Университете Колорадо (город Боулдер)- Ученые этого университета попытались измерить отклонения от знаменитого закона обратных квадратов Ньютона.

Согласно теории гравитации Ньютона, сила притяжения между любыми двумя телами уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния, разделяющего их. Если мы удвоим расстояние от Земли до Солнца, то сила гравитации снизится в два в квадрате, то есть в четыре раза. Этот результат, в свою очередь, указывает на количество измерений пространства.

До сих пор закон гравитации Ньютона остается верным применительно к космическим расстояниям с большими галактическими скоплениями. Но еще никто не совершил адекватной проверки закона гравитации Ньютона для чрезвычайно малых расстояний — это представлялось чрезвычайно трудным. Поскольку гравитация — взаимодействие чрезвычайно слабое, даже малейшее возмущение может разрушить весь эксперимент. Даже проезжающие мимо машины создают достаточно сильные вибрации, чтобы загубить эксперименты, в ходе которых измеряется гравитационное взаимодействие между малыми объектами.

Физики в Колорадо сконструировали чувствительный прибор под названием «высокочастотный резонатор», который был способен проверить закон гравитации на расстояниях до одной десятой миллиметра. Впервые такие испытания совершались при столь, малых расстояниях. Эксперимент проводился с использованием двух тончайших вольфрамовых пластинок, помещенных в вакуум. Одна из пластинок вибрировала с частотой 1000 циклов в секунду, несколько напоминая трамплин после прыжка. Затем физики начали поиски всех вибраций, передаваемых сквозь вакуум второй пластинке.

Чувствительность аппарата была настолько велика, что он мог определить движение второй пластинки, вызванное одной миллионной долей веса песчинки. Если и вправду существовало отклонение от закона Ньютона, то должно было быть зафиксировано едва уловимое движение второй пластинки. Однако проведя эксперимент при расстояниях до 108 миллионных долей метра, физики не обнаружили такого отклонения. «Пока Ньютон еще держит свои позиции», — сказал Д. Хойл из Университета Тренто в Италии, который проводил анализ данного эксперимента для журнала «Нэйчер» (*Nature*).

Итак, полученный результат оказался отрицательным, но он лишь раздражил аппетит других физиков, которые хотят проверить закон Ньютона на предмет отклонения при расстояниях микроскопического масштаба.

Проведение еще одного эксперимента планируется в Университете Пердью. Там физики хотят измерить крошечные отклонения от закона Ньютона не на миллиметровом уровне, а в масштабах атома. Они рассчитывают провести такой эксперимент, используя нанотехнологию для измерения разницы между никелем-58 и никелем-64. Эти два изотопа обладают одинаковыми электрическими и химическими свойствами, но у одного изотопа на 6 нейтронов больше, чем у второго. В принципе, единственное, в чем различны эти изотопы, — это их вес.

Ученые планируют создать устройство Казимира, состоящее из двух наборов пластинок с нейтральным зарядом, сделанных из этих двух изотопов. Обычно, когда эти пластинки располагают близко друг к другу, ничего не происходит, поскольку они не имеют заряда. Но если их расположить чрезвычайно близко друг к другу, то имеет место эффект Казимира: пластинки слегка притягиваются друг к другу; этот эффект был измерен в лаборатории. Но поскольку наборы параллельных пластинок сделаны из двух различных изотопов, они будут притягиваться друг к другу с несколько различной силой.

Для того чтобы максимально увеличить эффект Казимира, пластинки должны располагаться очень близко друг к другу. (Этот эффект обратно пропорционален четвертой степени расстояния. Отсюда следует, что сила эффекта стремительно увеличивается при сближении пластинок.) Физики Университета Пердью воспользуются нанотехнологией для того, чтобы расстояние между пластинками

было сравнимо с размерами атома. Ученые используют новейшие микроэлектромеханические торсионные генераторы для измерения крошечных колебаний пластинок. Тогда любое различие между пластинками из никеля-58 и никеля-64 можно приписать действию гравитации. Таким образом, ученые надеются измерить отклонения от законов механики Ньютона на уровне атомарных расстояний. Если при помощи этого гениального устройства им удастся обнаружить отклонения от знаменитого закона обратных квадратов, это может сигнализировать о присутствии вселенной, существующей в дополнительных, более высоких измерениях, которая находится на расстоянии атома от нашей вселенной.

Большой адронный коллайдер

И все же устройством, которое окончательно решит многие из упомянутых вопросов, является Большой адронный коллайдер, строительство которого близится к завершению возле Женевы в Швейцарии в знаменитой ядерной лаборатории ЦЕРН (Европейской организации по ядерным исследованиям). В отличие от предыдущих экспериментов по обнаружению незнакомых форм вещества, в естественном виде существующего в мире, Большой адронный коллайдер, возможно, будет обладать достаточной энергией, чтобы создать эти формы вещества прямо в лаборатории. При помощи Большого адронного коллайдера можно будет исследовать малые расстояния до 10^{-19} м, что в 10000 раз меньше протона, а также создавать температуры, невиданные со времен Большого Взрыва. «Физики уверены, что у природы припасены новые фокусы, которые могут обнаружиться в ходе этих столкновений, — возможно, это будет экзотическая частица, известная под названием бозон Хиггса, возможно, доказательство такого чудесного явления, как суперсимметрия, а возможно, обнаружится что-либо неожиданное и поставит с ног на голову всю физику», — пишет Крис Ллевеллин Смит, бывший генеральный директор ЦЕРН, а теперь президент Университетского колледжа в Лондоне. Уже сейчас оборудованием ЦЕРН пользуются около 7 тысяч специалистов, что составляет более половины всех физиков планеты, экспериментирующих с частицами. И многие из них будут самым непосредственным образом

участвовать в экспериментах, проводимых при помощи Большого адронного коллайдера.

Большой адронный коллайдер представляет собой мощную конструкцию в виде кольца диаметром 27 километров. Размеры этого кольца достаточно велики, чтобы окружить многие города мира. Туннель коллайдера настолько длинен, что он фактически пересекает границу между Францией и Швейцарией. Большой адронный коллайдер представляет собой настолько дорогостоящее устройство, что для его строительства потребовались совместные усилия нескольких европейских стран. После запуска коллайдера в 2007 году мощные магниты, расположенные вдоль всего кругового туннеля, заставят пучок протонов циркулировать со все возрастающими энергиями, до тех пор, пока они не приблизятся к 14 триллионам электронвольт.

По мере прохождения частиц по кругу в туннель подается энергия, увеличивая скорость протонов. Когда пучок в конце концов попадает в цель, происходит колоссальный выброс излучения. Следы, образовавшиеся в результате этого столкновения, фотографируют при помощи группы детекторов с целью обнаружения новых экзотических субатомных частиц.

Большой адронный коллайдер — это поистине гигантское устройство. В то время как детекторы LIGO и LISA бьют все рекорды в плане чувствительности, Большой адронный коллайдер уникален уже благодаря своей колоссальной мощности. Его мощные магниты, искривляющие пучок протонов в изящную дугу, генерируют поле в 8,3 теслы, которое в 160 000 раз сильнее магнитного поля Земли. Для создания такого чудовищного по силе поля физики пропускают ток силой в 12000 ампер по ряду витков, охлажденных до температуры в -271°C , при которой витки теряют сопротивление и становятся сверхпроводниками. В целом на Большом адронном коллайдере установлено 1232 магнита, каждый из которых имеет 15 метров в длину. Таким образом, магниты расположены вдоль 85 % всей окружности коллайдера.

В туннеле протоны к моменту удара по цели ускоряются до скорости, равной 99,999999 % скорости света. Цели находятся в четырех местах по всей длине туннеля. Таким образом, каждую секунду происходят миллиарды столкновений. Там же расположены гигантские

детекторы (каждый из которых размером с семиэтажный дом), задачей которых является анализ следов столкновения и обнаружение неуловимых субатомных частиц.

Как было ранее замечено Смитом, в задачи Большого адронного коллайдера входит обнаружение неуловимого бозона Хиггса, представляющего собой последний элемент Стандартной модели, который до сих пор не удавалось обнаружить. Эта задача имеет большое значение, поскольку эта частица отвечает за спонтанное нарушение симметрии в теориях частиц и дает начало массам квантового мира. По предварительным оценкам, масса бозона Хиггса может быть 115-200 миллиардов электронвольт (для сравнения, масса протона около 1 миллиарда электронвольт). (Теватрон, устройство гораздо меньших размеров, размещенное в лаборатории Ферми на окраине Чикаго, станет, возможно, первым ускорителем, при помощи которого удастся заполучить неуловимый бозон Хиггса, при условии, что масса этой частицы не слишком велика. В принципе, Теватрон может произвести до 10 000 бозонов Хиггса, если все будет идти, как запланировано. Однако энергия генерирования частиц Большого адронного коллайдера будет в семь раз больше. При 14 триллионах электронвольт Большой адронный коллайдер вполне сможет стать «фабрикой» бозонов Хиггса, миллионы которых будут создаваться при столкновениях протонов.)

В задачи Большого адронного коллайдера входит также создание условий, невиданных со времен самого Большого Взрыва. В частности, физики полагают, что изначально Большой Взрыв состоял из хаотичного скопления чрезвычайно горячих кварков и глюонов, называемого кварк-глюонной плазмой. Большой адронный коллайдер сможет произвести такую кварк-глюонную плазму, которая преобладала во вселенной в первые десять микросекунд ее существования. В Большом адронном коллайдере можно будет столкнуть ядра свинца при энергии в 1,1 триллиона электронвольт. В ходе такого мощного столкновения могут «расплавиться» четыре сотни протонов и нейтронов, которые высвободят кварки в эту горячую плазму. Таким образом, космология постепенно сможет стать в меньшей степени наукой, основанной на астрономических наблюдениях, и точные эксперименты на кварк-глюонной плазме будут ставиться прямо в лабораториях.

Можно надеяться, что при помощи Большого адронного коллайдера удастся обнаружить черные мини-дыры среди остатков, образовавшихся в результате столкновения протонов при фантастически высоких энергиях, как уже было упомянуто в главе 7. Обычно образование квантовых черных дыр должно происходить при энергии Планка, что в квадриллион раз превышает энергию Большого адронного коллайдера. Но если в миллиметре от нашей вселенной существует параллельная вселенная, то энергия, при которой возможно измерение квантовых гравитационных эффектов, снижается, благодаря чему создание черных мини-дыр оказывается в пределах возможностей Большого адронного коллайдера.

И наконец, ученые возлагают надежды на то, что при помощи Большого адронного коллайдера удастся найти подтверждение суперсимметрии, что стало бы историческим прорывом в физике частиц. Считается, что эти частицы являются партнерами обычных частиц, которые мы можем наблюдать в природе. Хотя струнная Теория и суперсимметрия и предсказывают, что у каждой субатомной частицы есть «близнец» с отличающимся спином, суперсимметрия никогда не наблюдалась в природе, — вероятно, потому, что наши приборы не обладают достаточной мощностью для ее обнаружения.

Подтверждение существования суперчастиц помогло бы дать ответ на два наболевших вопроса. Во-первых, верна ли струнная теория? Несмотря на то что обнаружить струны прямым путем чрезвычайно сложно, может оказаться возможным обнаружить нижние октавы или резонансы струнной теории. Если будут открыты частицы, то это станет большим сдвигом в струнной теории, обеспечивая ее экспериментальное подтверждение (хотя все же это не будет прямым доказательством ее истинности).

Во-вторых, это предоставило бы наиболее вероятного претендента на роль темного вещества. Если темное вещество состоит из субатомных частиц, то они должны обладать стабильностью и нейтральным зарядом (иначе они были бы видимы), а также между ними должно быть гравитационное взаимодействие. Все эти три качества являются характерными для частиц, которые предсказывает струнная теория.

- Когда будет запущен Большой адронный коллайдер, он станет самым мощным ускорителем частиц. И все же для большинства физи-

ков это не предел мечтаний. В 1980-е годы президент Рональд Рейган одобрил проект постройки Сверхпроводящего суперколлайдера (SSC), гигантской конструкции, достигающей 80 км в окружности. Строительство этого ускорителя частиц планировалось произвести возле Далласа (штат Техас). По сравнению с Суперколлайдером Большой адронный коллайдер показался бы просто крошкой. В то время как Большой адронный коллайдер позволяет сталкивать частицы с энергией в 14 триллионов электронвольт, по проекту Суперколлайдер должен обеспечить столкновения частиц с энергией в 40 триллионов электронвольт. Первоначально проект получил одобрение, но в последние дни слушаний Конгресс Соединенных Штатов внезапно отклонил его. Это стало тяжелым ударом по физике высоких энергий и задержало развитие этой области на целое поколение.

Поначалу предметом спора являлись стоимость проекта, составляющая 11 миллиардов долларов, и научные приоритеты. Мнения представителей научного сообщества по поводу Сверхпроводящего суперколлайдера разделились: некоторые физики заявляли, что проект выкачает средства, которые могли бы пойти на их собственные исследования. Спор разгорелся настолько, что даже «Нью-Йорк тайме» опубликовала критическую редакционную статью, где говорилось об опасностях «большой науки», которая может задушить «малую науку». (Эти аргументы беспочвенны, поскольку средства на строительство Сверхпроводящего суперколлайдера должны были поступать из других источников, а не из бюджета «малой науки». Реальным соперником проекта была космическая станция, которая многими учеными рассматривалась поистине как пустая трата денег.)

Но оглядываясь назад, можно сказать, что суть спора сводилась к умению говорить с широкой общественностью на доступном языке. В некотором смысле, мир физики привык к тому, что строительство чудовищных ускорителей частиц получало одобрение со стороны Конгресса, поскольку русские строили свои ускорители. В сущности, русские строили свой ускоритель УНК (Ускорительно-накопительное кольцо. — *Прим. перев.*), соревнуясь со Сверхпроводящим суперколлайдером. На карту были поставлены честь и престиж нации. Но Советский Союз развалился⁽¹⁷⁾, строительство было остановлено, и

постепенно ветер перестал надувать паруса программы постройки Сверхпроводящего суперколлайдера.

Настольные ускорители частиц

С появлением Большого адронного коллайдера физики постепенно приближаются к верхнему пределу энергии, которую можно получить при помощи современного поколения ускорителей частиц. Стоимость этих ускорителей исчисляется в десятках миллиардов долларов, а по размеру они превосходят многие большие современные города. Они настолько грандиозны, что их строительство возможно лишь при совместной деятельности нескольких государств. Если мы хотим преодолеть барьер, ограничивающий возможности традиционных ускорителей, то нам необходимы принципиально новые идеи и подходы. Святой Грааль для физиков, занимающихся частицами, — это создание «настольного» ускорителя частиц, который сможет создать пучки с энергией в миллиарды электронвольт, существенно экономя на размерах и стоимости по сравнению с традиционными ускорителями.

Чтобы понять, в чем заключается проблема, представьте себе эстафету, участники которой расставлены по кругу вдоль длинной беговой дорожки. Соревнуясь в беге, участники передают друг другу палочку. Теперь представьте, что каждый раз, когда палочка переходит от одного бегуна к другому, участникам сообщается дополнительная энергия, то есть они начинают бежать все быстрее и быстрее.

Нечто похожее наблюдается в ускорителе частиц, где роль палочки выполняет пучок субатомных частиц, которые двигаются по кругу. Каждый раз, когда пучок переходит от одного участника к другому, в пучок инжектируется высокочастотная энергия, все больше и больше разгоняя его. По такому принципу строились ускорители частиц на протяжении последних пятидесяти лет. Проблема традиционных ускорителей частиц состоит в том, что мы подходим к пределу высокочастотной энергии, которую можно использовать для приведения ускорителя частиц в действие.

Для решения этой досадной проблемы ученые экспериментируют с кардинально новыми способами закачки энергии в пучок, например использованием мощных лазерных лучей, мощность которых

экспоненциально растет. Одним из преимуществ лазерного света является его «когерентность», то есть все световые волны вибрируют точно в унисон, благодаря чему возможно создание невероятно мощных лучей. Сегодня лазерные лучи могут генерировать мощный энергетический импульс в триллионы ватт (тераватты) мощности за короткий промежуток времени. (Для сравнения, атомная электростанция способна генерировать какой-то несчастный миллиард ватт мощности, но она стабильна). В настоящее время становится возможным использование лазеров, которые могут генерировать до тысячи триллионов ватт (квадриллион ватт, или петаватт).

Лазерные ускорители частиц работают по следующему принципу. Лазерный свет достаточно горяч, чтобы создать газ из плазмы (скопления ионизированных атомов), который затем движется с волнообразными колебаниями на высоких скоростях, подобно приливной волне. Затем пучок субатомных частиц ловит эту попутную волну плазмы. При инжектировании большего количества лазерной энергии движение волны плазмы ускоряется, сообщая дополнительную энергию пучку частиц на этой волне. Недавно ученым из Лаборатории Резерфорда-Эплтона в Англии удалось, направив лазер в 50 тераватт в твердую цель, произвести пучок протонов, несущий до 400 миллионов электронвольт (МэВ) энергии в коллимированном пучке. Физики из Парижской политехнической школы разогнали электроны до 200 МэВ на расстоянии в один миллиметр.

Созданные на данный момент лазерные ускорители частиц отличаются малыми размерами и небольшой мощностью. Но представим на секунду, что масштабы такого ускорителя частиц можно увеличить таким образом, чтобы он работал на расстоянии не миллиметра, а целого метра. Тогда он мог бы разогнать электроны до 200 ГэВ на расстоянии одного метра; тем самым была бы достигнута цель создания настольного ускорителя частиц. Еще одним важным этапом стало ускорение электронов на расстоянии 1,4 метра физиками из Стэнфордского центра линейного ускорителя (SLAC) в 2001 году. Вместо лазерного луча они создали плазменную волну путем инжектирования пучка заряженных частиц. Хотя полученная ими энергия была достаточно низкой, этот опыт продемонстрировал, что плазменные волны могут ускорять частицы на расстоянии метра.

Темпы исследований в этой перспективной области очень высоки: энергия, достигаемая при помощи этих ускорителей, возрастает в 10 раз каждые пять лет. При таком развитии событий уже не за горами создание прототипа настольного ускорителя частиц. Если это предприятие окажется успешным, то Большой адронный коллайдер будет смотреться как последний динозавр. Какой бы перспективной ни казалась эта затея, на пути ее реализации стоит множество преград. Подобно серфингисту, которому сложно не упасть, катаясь на предательской волне, очень сложно поддержать пучок так, чтобы он должным образом «ехал» на плазменной волне (в число проблем входит фокусировка пучка и поддержание его стабильности и интенсивности). Однако ни одна из этих проблем не представляется непреодолимой.

Будущее

Есть несколько задумок для доказательства струнной теории. Эдвард Виттен выражает надежду на то, что в момент Большого Взрыва вселенная расширилась столь стремительно, что, возможно, вместе с ней растянулась и струна, в результате чего в космосе образовалась струна астрономических размеров. Он размышляет: «Несмотря на то что это звучит несколько нереально, это мой любимый сценарий доказательства струнной теории, поскольку ничто не решит вопрос настолько радикально, как наблюдение струны в телескоп».

Брайан Грин перечисляет пять вероятных примеров экспериментальных данных, которые могли бы подтвердить струнную теорию или, по крайней мере, придать ей правдоподобие:

1. Крошечная масса неуловимого призрачного нейтрино может быть определена экспериментальным путем, и струнная теория могла бы объяснить ее.
2. Могут быть обнаружены незначительные нарушения Стандартной модели, которые противоречат физике точечных частиц, — такие, как распад определенных субатомных частиц.
3. Экспериментальным путем могут быть обнаружены новые силы дальнего действия (помимо гравитации и электромагнетизма), которые будут сигналом в пользу выбора определенного многообразия Калаби-Яу.

4. В лаборатории могут быть обнаружены частицы темного вещества. Их можно будет сопоставить с прогнозами струнной теории.
5. Струнная теория могла бы вычислить количество темного вещества во вселенной.

Моя собственная точка зрения состоит в том, что верификация струнной теории может осуществиться скорее благодаря чистой математике, нежели экспериментальным путем. Поскольку предполагается, что струнная теория — это теория всего, она должна быть также теорией повседневных энергий, равно как и космических. Таким образом, если мы в конце концов найдем решение этой теории, то, вероятно, сможем вычислить свойства обычных объектов, а не только экзотических, которые обнаруживаются в открытом космосе. Для примера, если струнная теория сможет вычислить массы протона, нейтрона и электрона исходя из первых принципов¹, то это стало бы достижением первой величины. Во всех физических моделях (за исключением струнной теории) массы этих известных частиц подставляются вручную. В некотором смысле, нам не нужен Большой адронный коллайдер для подтверждения этой теории, поскольку мы уже знаем массы огромного количества субатомных частиц, и все они должны быть определены струнной теорией без всяких настраиваемых параметров.

Как сказал Эйнштейн: «Я убежден, что посредством чисто математических построений мы можем определить концепции и законы... которые дадут нам ключ к пониманию естественных явлений. Опыт может подсказать нам нужные математические концепции, но они не могут быть выведены из него... Таким образом, в некотором смысле, я верю в то, что чистая мысль может охватить реальность, о чем мечтали древние».

Если М-теория (или любая другая теория, которая в конечном счете приведет нас к квантовой теории гравитации) окажется верной, то она сделает возможным последнее путешествие для всей разумной жизни во вселенной, побег из нашей умирающей вселенной в новый дом через триллионы и триллионы лет.

¹ То есть на основании признанных фундаментальных законов природы, а не моделей и предположений.

ЧАСТЬ III

ПОБЕГ

В ГИПЕРПРОСТРАНСТВО

ГЛАВА 10

Конец всего

[Рассматривая] точку зрения, которой придерживается большинство физиков, а именно, что Солнце, а также все остальные планеты с течением времени станут слишком холодными для жизни, если только какое-нибудь большое небесное тело не врежется в Солнце, дав ему тем самым новую жизнь, — при той вере, которую я испытываю в то, что человек в далеком будущем будет намного более совершенным существом, невыносима даже сама мысль о том, что он и все сознательные существа обречены на полное вымирание после такого продолжительного медленного прогресса.

Чарльз Дарвин

Согласно скандинавской легенде, конец света, или Рагнарек, Сумерки Богов, будет сопровождаться большими катаклизмами. Мидгард (Средиземье), а также небеса окажутся в тисках пробирающего до костей мороза. Пронизывающие ветра, ослепляющие метели, разрушительные землетрясения и голод охватят землю, а мужчины и женщины будут беспомощно вымирать в огромных количествах. Три такие зимы одна за другой парализуют землю, а ненасытные волки поглотят Солнце и Луну, и мир погрузится в беспросветную тьму. Звезды будут срывать с неба, земля будет дрожать, горы разрушатся. Вырвутся на свободу чудовища, а также бог хаоса Локи, сея войны, разрушение и раздоры в этих унылых землях.

Один, отец богов, соберет своих храбрых воинов для последней битвы в Валгалле. В конце концов, когда боги один за другим погиб-

нут, злой бог Сурт дохнет огнем и серой и нестерпимый жар охватит небо и землю. Когда вся вселенная утонет в языках пламени, земля погрузится в океаны, а само время остановится.

Но из мирового океана явится новое начало. Новая, не похожая на прежнюю земля постепенно поднимется из моря, а на плодородной почве в изобилии взойдут новые экзотические растения, плодовые деревья. Родится новая человеческая раса.

Легенда викингов о повсеместном холоде, за которым последуют языки пламени и финальная битва, представляет собой мрачную историю о конце света. Подобные мотивы можно обнаружить в мифологиях всего мира. Конец света обычно сопровождается серьезными климатическими катаклизмами, как правило, великим пожаром, землетрясениями или метелью, за которыми следует последняя битва Добра и Зла. Но присутствует также и идея надежды. Из пепла приходит возрождение.

Ученые, имеющие дело с «холодными» законами физики, сегодня вынуждены столкнуться с подобными мотивами. Точку зрения ученых на конец Вселенной определяют не мифы, шепотом передаваемые из уст в уста у походных костров, а достоверные данные. Однако мотивы, подобные мифологическим, могут доминировать и в научном мире. Среди решений уравнений Эйнштейна мы видим такие возможные варианты будущего, где также фигурируют великий колод, огонь, катастрофа и конец Вселенной. Но будет ли после всего витого возрождение?

Согласно картине, полученной при помощи спутника WMAP, загадочная антигравитационная сила ускоряет расширение Вселенной. Если это будет длиться миллиарды или триллионы лет, то вселенная неминуемо придет к состоянию Большого Охлаждения, похожего на метель, предшествующую сумеркам богов, что станет концом всякой известной нам жизни. Эта гравитационная сила, растягивающая вселенную в стороны, пропорциональна ее объему. Таким образом, чем больше становится Вселенная, тем больше сила антигравитации, расталкивающая галактики в стороны, что, в свою очередь, снова увеличивает объем Вселенной. Этот замкнутый цикл повторяется бесконечно, до тех пор, пока вселенная не начнет расширяться безудержно и расти экспоненциально быстро.

В конечном счете это означает, что тридцать шесть галактик в Местной Группе будут составлять всю видимую вселенную, в то время как миллиарды соседних галактик унесутся за пределы нашего горизонта событий. Когда пространство, разделяющее галактики, начнет расширяться быстрее скорости света, наша вселенная окажется ужасно одинокой. Температуры упадут, а оставшаяся энергия будет рассеяна в пространстве. Когда температуры опустятся почти до абсолютного нуля, разумным видам придется встретиться лицом к лицу со своей окончательной судьбой: замерзнуть насмерть.

Три начала термодинамики

Если весь мир — сцена, как сказал Шекспир, то в конце концов должен быть и заключительный, третий акт. В первом у нас были Большой Взрыв, зарождение жизни и сознания на Земле. Во втором мы, вероятно, начнем исследовать звезды и галактики. И, наконец, в третьем мы столкнемся с окончательной гибелью вселенной в Большом Охлаждении.

В конечном счете мы приходим к тому, что сценарий должен соответствовать законам термодинамики. В девятнадцатом веке физики сформулировали три начала термодинамики, которые управляют тепловой физикой, и начали размышлять о конечной смерти вселенной. В 1854 году великий немецкий физик Герман фон Гельмгольц понял, что начала термодинамики можно применить ко вселенной как к целому, а это означает, что всему, что нас окружает, в том числе звездам и галактикам, в итоге наступит конец.

Первое начало термодинамики гласит, что общее количество вещества и энергии остается неизменным. Хотя вещество и энергия могут превращаться друг в друга (с помощью знаменитого уравнения Эйнштейна $E = mc^2$), общее количество вещества и энергии создать или уничтожить нельзя.

Второе начало самое загадочное и глубокое. Оно гласит, что общее количество энтропии (хаоса, или беспорядка) во вселенной все время возрастает. Иными словами, в конце концов все должно состариться и прийти к своему завершению. Лесные пожары, ржавление машин, падение империй, старение человеческого тела — все эти процессы представляют возрастание энтропии в мире. К примеру,

легко сжечь клочок бумаги. Этот процесс представляет собой чистый прирост общего количества энтропии. Однако невозможно загнать дым обратно в бумагу. (Энтропию можно заставить снизиться при привлечении механической работы, наподобие того, как это сделано в холодильнике, но лишь для небольшой близлежащей области. Что касается общей энтропии всей системы — холодильник плюс все его окружение, — то она всегда возрастает.)

Артур Эддингтон однажды так сказал о втором законе: «Закон, согласно которому энтропия все время возрастает, — Второй закон термодинамики — занимает, по моему мнению, высшее положение среди всех законов Природы... Если обнаруживается, что ваша теория противоречит Второму закону термодинамики, я не думаю, что у нее есть какие-то шансы; этой теории остается лишь потерпеть унизительное поражение».

(Поначалу кажется, что существование сложных форм жизни на Земле противоречит Второму закону. Удивляет, что из хаоса ранней Земли появилось невероятное разнообразие жизненных форм, даже обладающих разумом и сознанием, что снижает количество энтропии. Некоторые принимают это чудо за подтверждение того, что к созданию приложил свою руку некий благожелательный творец. Но вспомним о том, что жизнь движется согласно законам эволюции и что Солнце бесконечно поставляет дополнительную энергию, питающую жизнь. Если рассматривать Землю и Солнце вместе, то общая энтропия системы все же возрастает.)

Третье начало гласит, что ни один холодильник не может достичь температуры абсолютного нуля. Можно подойти к температуре, на ничтожную долю выше абсолютного нуля, но никогда нельзя достичь состояния с нулевым движением. (А если мы включим квантовый принцип, то это подразумевает, что молекулы всегда будут обладать небольшим количеством энергии, поскольку нулевая энергия означает, что нам будут известны точное местонахождение и точная скорость каждой молекулы, а это противоречило бы принципу неопределенности.)

Если применить Второе начало в масштабах всей вселенной, то это означает, что вся Вселенная в конечном счете остановится. Звезды израсходуют свое ядерное топливо, галактики больше не будут освещать небо, а от Вселенной останется безжизненное ско-

пление мертвых звезд-карликов, нейтронных звезд и черных дыр. Вселенная погрузится в вечную темноту.

Некоторые космологи пытались обойти эту «тепловую смерть», выдвинув теорию пульсирующей Вселенной. В такой Вселенной энтропия постепенно возрастала бы по мере ее расширения, и в конечном счете — сжатия. Но после того, как произойдет Большое Сжатие, непонятно, что станет с энтропией во Вселенной. Некоторые поддерживают мысль о том, что Вселенная, возможно, могла бы просто-напросто в точности повторить самое себя в течение следующего цикла. Более реалистичной выглядит возможность того, что энтропия перенесется в следующий цикл, а это означает, что срок жизни Вселенной будет постепенно увеличиваться с каждым новым циклом. Но вне зависимости от того, как мы будем рассматривать этот вопрос, результатом развития пульсирующей Вселенной, так же как открытой и закрытой Вселенной, станет уничтожение всякой разумной жизни.

Большое Сжатие

Одной из первых попыток применения физики для объяснения конца вселенной стала работа, написанная в 1969 году сэром Мартином Рисом. Она называлась «Коллапс вселенной: эсхатологическое исследование». В те времена о значении Ω_0 было мало что известно, а потому из предположения Риса, что $\Omega_0 = 2$, вытекало, что вселенная в конечном счете прекратит свое расширение и погибнет не от Большого Охлаждения, а от Большого Сжатия.

Рис подсчитал, что расширение вселенной в конце концов прекратится, когда галактики будут находиться на расстоянии вдвое большем, чем сейчас: тогда гравитация наконец преодолеет первоначальное расширение вселенной. Красное смещение, которое мы наблюдаем в небе сегодня, превратится в синее, когда галактики ринутся по направлению к нам.

Согласно этой версии, приблизительно через 50 миллиардов лет, считая от настоящего времени, произойдут катастрофические события, которые явятся сигналом последней предсмертной агонии вселенной. За сто миллионов лет до Большого Сжатия галактики все-

ленной, в том числе и наша Галактика Млечный Путь, начнут сталкиваться друг с другом и в конце концов сольются. Как это ни странно, Рис обнаружил, что отдельные звезды прекратят свое существование еще до того, как начнут сталкиваться друг с другом, — по двум причинам. Во-первых, возрастут энергии излучения других звезд по мере того, как вселенная будет сжиматься; таким образом, звезды будут купаться в обжигающем, сместившемся в синюю сторону свете, исходящем от других звезд. Во-вторых, возрастет температура фонового микроволнового излучения, связанная с резким скачком температуры всей вселенной. Совместное действие этих двух эффектов создаст температуры, превосходящие температуры поверхности звезд, звезды будут поглощать тепло быстрее, чем смогут от него избавиться. Иными словами, звезды, вероятно, разрушатся и рассеются в сверхгорячие газовые облака.

Разумная жизнь при таких условиях неизбежно погибнет, сгорев в космическом жаре, изливающимся из близлежащих звезд и галактик. Спасения нет. Как написал Фриман Дайсон: «Как ни прискорбно, я вынужден согласиться, что в этом случае мы не избежим зажаривания. Как бы глубоко мы ни вкопались в Землю, чтобы защититься от фонового излучения с синим смещением, мы сможем лишь на несколько миллионов лет отсрочить свой жалкий конец».

Если вселенная стремится к Большому Сжатию, то остается проблема того, что, сжатая, она может затем снова расширяться, как в модели пульсирующей вселенной. Именно такой сценарий описывается в романе Пола Андерсона «Тау Ноль». Если бы вселенная была ньютоновской, то это было бы возможно при условии достаточного смещения в момент слияния галактик. В этом случае, может быть, звезды не сожмутся в одну точку, а пролетят мимо друг друга в момент максимального сжатия, так и не столкнувшись, и, таким образом, вселенная снова начнет расширяться.

Однако наша вселенная — отнюдь не ньютоновская; она подчиняется уравнениям Эйнштейна. Роджер Пенроуз и Стивен Хокинг показали, что при самых общих обстоятельствах сжимающееся скопление галактик обязательно придет к сингулярности. (Это произойдет потому, что поперечное движение галактик обладает энергией, а отсюда следует, что оно взаимодействует с гравитацией. Таким

образом, гравитационное притяжение для сжимающихся вселенных в теории Эйнштейна намного сильнее, чем то, которое дает теория Ньютона, и наша вселенная сжимается в одну точку.)

Пять этапов развития вселенной

Однако последние данные, полученные со спутника WMAP, свидетельствуют в пользу сценария Большого Охлаждения. Для анализа жизненного пути вселенной такие ученые, как Фред Адаме и Грег Лафлин из Мичиганского университета, попытались разделить срок жизни вселенной на пять этапов. Поскольку речь идет о поистине астрономических временных масштабах, мы примем логарифмическую систему временного отсчета. Таким образом, 10^{20} лет будут представлены как 20. (Эта временная шкала была составлена еще до того, как ученые полностью осознали все последствия, вытекающие из факта расширения вселенной. Но в целом разделение пути развития вселенной на этапы не изменилось.)

Этап 1: примордиальный период

На первом этапе своего развития, между -50 и 5 (т. е. между 10^{50} и 10^5 секунд), вселенная стремительно расширялась, но также и стремительно остывала. По мере ее остывания различные взаимодействия, прежде объединенные в единую основную «сверхсилу», постепенно отделялись друг от друга, а результатом этого распада являются четыре известных нам сегодня взаимодействия. Первой отщепилась гравитация, затем сильное ядерное взаимодействие, и наконец — слабое ядерное взаимодействие. Поначалу вселенная была непрозрачной, а небо — белым, поскольку свет поглощался слишком быстро после своего возникновения. Но спустя 380 000 лет после Большого Взрыва вселенная уже достаточно остыла для того, чтобы атомы образовались и больше не разбивались из-за невероятного жара. Небо стало черным. Микроволновое фоновое излучение восходит именно к этому временному отрезку.

В этот период происходил синтез первичного водорода с образованием гелия, в результате чего по вселенной распространилась современная смесь звездного топлива. На этом этапе развития

веселенной известная нам жизнь представлялась невозможной. Жар был слишком силен; любые образовавшиеся ДНК или другие аутокаталитические молекулы разрушились бы из-за беспорядочных столкновений с другими атомами, что делало невозможным создание устойчивых соединений, необходимых для существования жизни.

Этап 2: звездная эпоха

Сегодня мы живем во втором временном периоде (между 6 и 14, т. е. между 10 и 10 секунд), когда водород сжался и зажглись звезды, осветившие небо. В эту эпоху мы видим богатые водородом звезды, которые не перестают гореть на протяжении миллиардов лет, пока не истощится их ядерное топливо. Космический телескоп Хаббла сфотографировал звезды на всех этапах их развития, в том числе молодые звезды, окруженные вращающимся диском пыли и обломков, — вероятно, предшественников планет и солнечных систем.

На этом этапе развития условия для создания ДНК и жизни идеальны. Учитывая невероятно большое количество звезд в видимой вселенной, астрономы попытались обосновать с помощью известных научных законов аргументы в пользу возможности зарождения разумной жизни в других планетарных системах. Но любая форма разумной жизни будет вынуждена столкнуться с самыми разнообразными космическими препятствиями, многие из которых она сотворит сама, например, — загрязнение окружающей среды, глобальное потепление и ядерное оружие. Предположим, разумная жизнь не уничтожит себя сама, но она должна будет столкнуться с устрашающим количеством стихийных бедствий, каждое из которых может закончиться глобальной катастрофой.

Спустя десятки тысяч лет нас может ожидать ледниковый период, подобный тому, который похоронил Северную Америку под слоем льда в полтора километра, не давая развиваться там человеческой цивилизации. Более десяти тысяч лет тому назад люди жили стаями, как волки, добывая крохи пищи, сбиваясь в маленькие изолированные племена. Информация и знания не накапливались. Письменности не существовало. Перед человечеством стояла одна

цель — выжить. Затем, по причинам и доселе нам непонятым, ледниковый период закончился, и человечество начало свое стремительное восхождение «от льда к звездам». Однако этот краткий межгалактический период не может длиться вечно. Возможно, еще через десять тысяч лет новый ледниковый период покроет коркой льда большую часть мира. Геологи считают, что эффекты самых незначительных отклонений во вращении Земли вокруг ее оси в конечном итоге накладываются, позволяя потокам льда спускаться с полярных шапок в низкие широты, окутывая Землю ледяным пологом. В этот момент нам, возможно, придется уйти под землю, чтобы не замерзнуть. Когда-то Земля была полностью покрыта льдом, и это может случиться снова.

Спустя тысячи, а то и миллионы лет нам необходимо будет приготовиться к ударам метеоров и комет. Вероятнее всего, именно удар метеора или кометы стал причиной вымирания динозавров 65 миллионов лет назад. Ученые считают, что объект внеземного происхождения, возможно километров 15 в поперечнике, врезался в полуостров Юкатан в Мексике. В результате этого удара образовался кратер диаметром 300 км, а также произошел выброс в атмосферу достаточного количества обломков, чтобы закрыть солнечный свет, и на Земле стало темно. Следствием этого стали чрезвычайно низкие температуры, которые убили растительность и преобладающую в те времена форму жизни на Земле — динозавров. Менее чем за год динозавры, а также большинство других видов на Земле исчезли.

Судя по частоте столкновений с внеземными телами в прошлом, существует 1 шанс из 100 000, что в ближайшие пятьдесят лет столкновение с астероидом станет причиной коллизий мирового масштаба. Если рассматривать временной отрезок в миллионы лет, то вероятность серьезного столкновения возрастет почти до 100 процентов.

(Во внутренней части Солнечной системы, где находится Земля, вращается тысяча-полторы астероидов диаметром километр и более и около миллиона астероидов диаметром не менее 50 метров. Смитсоновская астрофизическая обсерватория в Кембридже производит около 15 000 наблюдений астероидов в день. К счастью, лишь для 42 из известных астероидов существует хоть и малая, но

конечная вероятность столкновения с Землей. В прошлом бывали ложные тревоги по поводу этих астероидов, самая известная из которых была связана с астероидом 1997XF11: тогда астрономы попали на первые страницы газет и журналов всего мира со своим ошибочным прогнозом о том, что этот астероид может столкнуться с Землей через 30 лет. Тем не менее, тщательно изучив орбиту астероида с номером 1950DA, ученые подсчитали, что существует малая — но не нулевая — вероятность его удара о Землю 16 марта 2880 года. (Компьютерное моделирование, проведенное в Калифорнийском университете в Санта-Круз, показывает, что в случае, если этот астероид попадет в океан, он создаст приливную волну около 120 метров высотой, которая затопит все прибрежные территории, нанеся колоссальный ущерб.)

Спустя миллиарды лет нам придется поволноваться о том, что Солнце может поглотить Землю. Солнце уже сегодня на 30 % горячее, чем на ранней стадии своего развития. Компьютерный анализ показывает, что через 3,5 миллиарда лет Солнце будет на 40 % ярче нынешнего, а это означает, что Земля будет постепенно разогреваться. Солнце будет светить на небосводе все ярче и ярче до тех пор, пока не заполнит большую часть неба от горизонта до горизонта. Через весьма небольшой срок живые создания, отчаянно пытающиеся спастись от палящего солнечного зноя, могут быть вынуждены вернуться обратно в океаны, обращая вспять историческое шествие эволюции на этой планете. В конце концов и сами океаны закипят, что сделает невозможным существование известной нам жизни. Приблизительно через 5 миллиардов лет ядро Солнца истощит весь свой запас водорода и мутирует в красную звезду-гигант. Некоторые красные гиганты настолько велики, что, будь они расположены на месте нашего Солнца, выходили бы за орбиту Марса. Однако Солнце, вероятно, расширится всего лишь до орбиты Земли, поглотит Меркурий и Венеру и расплавив земные горы. Поэтому весьма вероятно, что Земля погибнет в огне, а не во льду и на орбите Солнца останется лишь прогоревший уголек.

Некоторые физики утверждают, что перед тем, как это произойдет, мы сможем использовать передовые технологии для того, чтобы передвинуть Землю от Солнца на более далекую орбиту, если к тому времени мы уже не мигрируем с Земли на другие планеты в гигант-

ских космических ковчегах. «До тех пор, пока люди умнеют быстрее, чем разгорается Солнце, Земля будет процветать», — замечает астроном и писатель Кен Кросвелл.

Ученые предлагают несколько вариантов перемещения Земли с ее нынешней околосолнечной орбиты. Одним из простых способов является осторожное перенаправление астероидов из пояса астероидов таким образом, чтобы они ударили по Земле. Такое воздействие — которое можно сравнить с выстрелом из рогатки — «подстегнет» орбиту Земли, увеличив ее расстояние от Солнца. С каждым таким ударом орбита будет увеличиваться лишь на самую малость, но у нас будет полно времени, чтобы перенаправить сотни астероидов и завершить это предприятие. «В течение нескольких миллиардов лет до того, как Солнце раздуется в красного гиганта, наши потомки смогут поймать проходящую мимо орбиты Солнца звезду, а затем перебросить Землю с ее солнечной орбиты орбиту вокруг этой новой звезды», — добавляет Кен Кросвелл.

Что касается нашего Солнца, то ему угрожает другая судьба: оно умрет не в огне, а во льдах. В конце концов, просуществовав 700 миллионов лет в качестве красного гиганта, сжигающего гелий, Солнце израсходует большую часть своего ядерного топлива, и гравитация сожмет его в белого карлика размером примерно с Землю. Размеры нашего Солнца слишком малы, чтобы оно подверглось катастрофе под названием «сверхновая» и превратилось в черную дыру. Когда наше Солнце превратится в белого карлика, оно в конце концов остынет, светясь сначала слабым красным светом, затем коричневым, и наконец станет черным. Оно будет дрейфовать в космической пустоте как кусочек мертвого ядерного пепла. Будущее почти всех атомов, которые мы сегодня наблюдаем вокруг нас, — в том числе атомов наших собственных тел и тел наших близких — в том, чтобы закончить свое существование на прогоревшем угольке, вращающемся вокруг черной звезды-карлика. Поскольку масса этой звезды-карлика будет составлять всего лишь 0,55 солнечной массы, то, что останется от Земли, перейдет на орбиту, проходящую на 70 % дальше от Солнца, чем сегодня.

На этой шкале мы видим, что процветание животных и растений на Земле продлится всего лишь миллиард лет (и сегодня мы находимся на полпути через эту золотую эпоху). «Мать-Природа не

была спроектирована, чтобы сделать нас счастливыми», — говорит астроном Дэвид Браунли. В сравнении с жизненным сроком всей вселенной благополучие жизни длится лишь кратчайший миг.

Этап 3: эпоха вырождения

На третьем этапе (между 15 и 39) энергия звезд во вселенной наконец истощится. Кажущийся бесконечным процесс сжигания водорода, а затем гелия завершится, оставив после себя безжизненные куски мертвого ядерного вещества в виде звезд-карликов, нейтронных звезд и черных дыр. Звезды перестанут сиять в небе, вселенная постепенно погрузится во тьму.

Во время этого этапа температуры будут сильно падать, в то время как звезды останутся без своих ядерных двигателей. Любая планета, вращающаяся вокруг мертвой звезды, замерзнет. Если предположить, что Земля все еще будет цела и невредима, тогда то, что останется от ее поверхности, покроется коркой льда, заставляя тем самым разумную жизнь искать себе новый дом.

В то время как гигантские звезды могут продержаться несколько миллионов лет, а звезды, сжигающие водород, — такие, как наше Солнце, — миллиарды лет, крошечные красные карлики могут гореть триллионы лет. Вот почему попытка перенести орбиту Земли таким образом, чтобы она вращалась вокруг красного карлика, имеет смысл. Ближайшая звездная соседка Земли, Проксима Центавра, и есть красный карлик, который находится на расстоянии всего лишь 4,3 светового года от Земли. Масса нашей соседки составляет всего лишь 15 % массы нашего Солнца, которое в 400 раз ярче нее, а потому любая планета, вращающаяся вокруг этой звезды, должна находиться чрезвычайно близко к ней, чтобы использовать ее благотворный свет. Чтобы мы получали то же самое количество звездного света, Земля должна была бы вращаться по орбите, удаленной от этой звезды на расстояние в 20 раз меньшее, чем то, на которое сейчас наша орбита удалена от Солнца. Но находясь на орбите вокруг красного карлика, планета была бы обеспечена энергией на триллионы лет.

В конце концов единственными звездами, продолжающими сжигать ядерное топливо, станут красные карлики. Со временем, однако, даже они потемнеют. Через сотню триллионов лет наконец потухнут и последние красные карлики.

Этап 4: эпоха черных дыр

На четвертом этапе (между 40 и 100) единственным источником энергии останется медленное испарение черных дыр. Как доказали Джейкоб Бекенштейн и Стивен Хокинг, черные дыры — в действительности не черные: они испускают слабое количество энергии, этот процесс называется испарением. (В действительности это испарение черной дыры слишком мало, чтобы его можно было наблюдать экспериментально, но на больших отрезках времени оно в конечном счете определяет судьбу черной дыры.)

Срок жизни испаряющихся черных дыр различен. Черная мини-дыра размером с протон может излучать 10 миллиардов ватт в течение жизни всей вселенной. Черная дыра массой с Солнце испарится за 10^{66} лет. Черная дыра массой с гигантское галактическое скопление испарится за 10^{117} лет. Однако когда жизненный срок черной дыры подходит к концу, после медленного испускания излучения она внезапно взрывается. Возможно, разумная жизнь, подобно бездомным, теснящимся у затухающего костра, соберется рядом со слабым теплом, излучаемым испаряющимися черными дырами, пытаясь извлечь из них хоть немножко тепла, пока они не испарятся окончательно.

Этап 5: темная эпоха

На пятом этапе (101 и более) мы вступим в темную эпоху вселенной. В этот период все источники тепла истощатся. На этом этапе вселенная будет двигаться к окончательной тепловой смерти, температура приблизится к абсолютному нулю. К этому моменту и сами атомы остановятся. Возможно, даже протоны распадутся, оставив за собой море фотонов и жиденький суп частиц, участвующих в слабом взаимодействии (нейтрино, электронов и их античастиц — позитронов). Вселенная может состоять из нового типа «атома» под названием позитроний, состоящего из электронов и позитронов, вращающихся вокруг друг друга.

Некоторые физики предположили, что эти «атомы» могут стать новыми кирпичиками разумной жизни в темную эпоху. Однако трудности, встающие перед такой теорией, огромны. По размеру атом позитрония сравним с обычным атомом. Но атом позитрония

в темную эпоху был бы диаметром 10^{12} мегапарсеков, что в миллионы раз больше, чем вся видимая вселенная сегодня. Таким образом, образовавшиеся в темную эпоху «атомы» будут размером с целую вселенную. Поскольку сама вселенная в темную эпоху расширится на невероятные расстояния, она легко вместит в себя эти гигантские атомы позитрония. Но поскольку атомы позитрония настолько велики, это означает, что любые «химические реакции» с участием этих «атомов» длились бы чрезвычайно долго, коренным образом отличаясь от любой известной нам реакции.

Космолог Тони Ротман пишет: «Итак, в конечном счете по прошествии 10^{117} лет космос будет состоять из нескольких электронов и позитронов, замкнутых на огромных орбитах, нейтронов и фотонов, оставшихся после распада барионного вещества, а также блуждающих протонов, оставшихся после аннигиляции позитрония, и черных дыр. Ибо это также записано в Книге Судеб».

Может ли выжить разумная жизнь

Учитывая трудновообразимые условия в конце Большого Охлаждения, ученые ведут жаркие споры о том, сможет ли выжить какая-либо форма разумной жизни. Поначалу кажется совершенно бессмысленным говорить о разумной жизни на пятом этапе, во время которого температуры приблизятся к абсолютному нулю. Однако все же физики с большим воодушевлением обсуждают возможность выживания разумной жизни.

Споры крутятся вокруг двух ключевых вопросов. Первый из них таков: смогут ли разумные существа управлять своими машинами, когда температуры приближаются к абсолютному нулю? Согласно законам термодинамики, поскольку энергия перетекает от более высокой температуры к более низкой, это движение можно использовать для осуществления полезной механической работы. Например, механическая работа может быть получена при помощи теплового двигателя, соединяющего две области с различной температурой. Чем больше разность температур, тем выше эффективность двигателя. На этом были основаны машины, которые обеспечивали промышленную революцию, — такие, как паровой двигатель и локомотив. На первый взгляд кажется невозможным получить какую-либо работу из

теплового двигателя на пятом этапе развития вселенной, поскольку температуры везде будут одинаковы.

Второй вопрос заключается в следующем: сможет ли форма разумной жизни отправлять и получать информацию? Согласно теории информации, минимальная единица информации, которую можно отправить и получить, пропорциональна температуре. По мере того как температура приблизится к абсолютному нулю, способность обрабатывать информацию также будет серьезно повреждена. Биты информации, которые можно передавать, будут становиться все меньше и меньше по мере того, как вселенная остывает.

Физик Фриман Дайсон и другие ученые произвели пересмотр физики разумной жизни, пытающейся выжить в условиях погибающей вселенной. Эти ученые задаются вопросом, могут ли быть найдены оригинальные способы выживания для разумных форм даже в условиях снижения температур почти до абсолютного нуля.

Когда по всей вселенной начнет падать температура, поначалу существа могут попытаться снизить температуру своих тел при помощи генной инженерии. Этот путь намного более эффективен, чем сокращение потребления энергии. Но в конце концов температура тела достигнет точки замерзания воды. Тут уже разумные создания могут покинуть свои хрупкие тела из плоти и крови и перейти в роботизированные тела. Механические тела могут намного лучше плоти противостоять низким температурам. Но машины также должны повиноваться законам теории информации и термодинамики, что сделает жизнь чрезвычайно трудной и для роботов.

Даже если разумные существа оставят свои роботизированные тела и трансформируются, перейдя в область чистого сознания, все же остается проблема обработки информации. По мере того как температура будет опускаться все ниже и ниже, единственным путем выживания будет «мыслить» медленнее. Дайсон делает вывод, что развитая форма жизни все еще будет способна мыслить в течение неограниченного количества времени путем растягивания времени, необходимого для обработки информации, а также экономить энергию, замедляя жизненные процессы. Хотя физическое время, необходимое для процессов мышления и обработки информации, может растягиваться на миллиарды лет, «субъективное время», с точки зрения разумных существ, останется неизменным. Они так и не заметят

разницы. Они будут все еще способны мыслить глубоко, но будут затрачивать на этот процесс неизмеримо большее количество времени. Заключение, которое делает Дайсон, звучит странно, но оптимистично: таким образом формы разумной жизни смогут обрабатывать информацию и «мыслить» на протяжении неограниченного времени. На обдумывание одной-единственной мысли могут потребоваться триллионы лет, однако по отношению к «субъективному времени» процесс мышления будет проходить нормально.

Однако, если разумные существа будут думать медленнее, они, возможно, будут способны увидеть космические квантовые переходы, происходящие во вселенной. Обычно такие космические переходы, например создание дочерней вселенной или переход к другой квантовой вселенной, происходят на протяжении триллионов лет, а потому говорить о них можно чисто теоретически. Однако на пятом этапе триллионы лет «субъективного времени» будут сжиматься и могут показаться этим существам всего лишь несколькими секундами. Они будут мыслить настолько медленно, что, возможно, увидят непрерывно происходящие причудливые квантовые события. Возможно, они будут регулярно видеть, как нигде появляются пузырьки-вселенные или происходят квантовые скачки в другие вселенные.

Однако недавнее открытие того, что вселенная ускоряется, заставило физиков пересмотреть работу Дайсона, и разгорелись новые споры, результатом которых стали совершенно противоположные выводы: разумной жизни грозит неминуемая гибель в ускоряющейся вселенной. Физики Лоренс Краусс и Гленн Старкман пришли к следующему заключению: «Миллиарды лет назад вселенная была слишком горяча, чтобы в ней существовала жизнь. Спустя бесконечное количество эр вселенная станет такой холодной и пустой, что жизнь, какой бы изобретательной на выдумки она ни была, исчезнет».

В своей первоначальной работе Дайсон предположил, что температура микроволнового излучения продолжит снижаться бесконечно, благодаря чему разумные существа смогут получать полезную работу из этих крошечных разностей температур. Однако Краусс и Старкман указывают на то, что если у вселенной есть космологическая константа, то температуры не будут падать вечно, как предположил Дайсон, а в конце концов достигнут нижнего предела — температуры Гиббонса-Хокинга (около 10^{-29} градусов Кельвина). Когда

этот температурный предел будет достигнут, по всей вселенной установится одинаковая температура, а отсюда следует, что разумные существа не смогут получать полезную информацию путем использования разницы температур. Когда вся вселенная достигнет однородной температуры, всякая обработка информации прекратится.

(В 1980-е годы было обнаружено, что определенные квантовые системы, такие, как броуновское движение в жидкости, могут служить основой компьютера вне зависимости от того, насколько холодно снаружи. Поэтому, даже когда температуры резко упадут, такие компьютеры смогут продолжать работать, используя все меньшее и меньшее количество энергии. Для Дайсона это было хорошей новостью. Но была одна загвоздка. Система должна удовлетворять двум условиям: она должна находиться в равновесии с окружающей средой и никогда не должна отбрасывать информацию. Но если вселенная расширяется, то равновесие невозможно, поскольку излучение разрежается, а длина его волн растягивается. Ускоряющаяся вселенная меняется слишком быстро, чтобы система пришла в равновесие. А второе условие, то есть требование того, чтобы система никогда не отбрасывала информацию, означает, что разумное существо не должно никогда ничего забывать. В конечном счете разумное существо, будучи не в состоянии избавиться от старых воспоминаний, может начать переживать их снова и снова. «Вечность стала бы скорее тюрьмой, а не бесконечно расширяющимся горизонтом для творчества и исследований. Это могло бы быть нирваной, но будет ли это жизнью?» — спрашивают Краусс и Старкман.)

В целом, мы видим, что в случае, когда космологическая константа близка к нулю, разумная жизнь может «мыслить» бесконечно по мере остывания вселенной путем замедления жизненных процессов и замедленного мышления. Но в ускоряющейся вселенной, такой, как наша, подобный вариант развития событий невозможен. Согласно законам физики, вся разумная жизнь обречена на вымирание.

Рассматривая вселенную в таких грандиозных временных масштабах, мы, таким образом, видим, что условия известной нам жизни являются всего лишь микроскопическим штрихом на гигантском гобелене истории. Существует лишь крошечный просвет, в котором температуры «как раз» таковы, чтобы жизнь была возможна, — не слишком низки и не слишком высоки.

Уход из вселенной

Смерть можно определить как окончательное прекращение всякой обработки информации. Любой разумный вид во вселенной, начинающий понимать фундаментальные законы физики, будет вынужден столкнуться с окончательной смертью вселенной и всякой разумной жизни, которая может в ней находиться.

К счастью, еще полно времени для того, чтобы накопить энергию для такого путешествия, и существуют различные альтернативы, как мы увидим в следующей главе. Вопрос, который мы будем рассматривать, заключается в следующем: допускают ли законы физики наш побег в параллельную вселенную?

ГЛАВА 11

Побег из нашей вселенной

Любая достаточно развитая технология неотличима от магии.

Артур К. Кларк

Вромане «Эон» известного научного фантаста Грегга Бира представлена история бегства из опустошенного мира в параллельную вселенную. Земле угрожает приближающийся астероид колоссальных размеров; поднимается массовая паника и истерия. Однако вместо того, чтобы врезаться в Землю, этот астероид самым загадочным образом попадает на орбиту нашей планеты. В космос отправляются группы ученых с целью проведения исследований. Однако вместо того, чтобы обнаружить пустынную безжизненную поверхность, ученые видят, что астероид в действительности пустотел; он представляет собой гигантский космический корабль, оставленный прогрессивной технологической расой. Внутри покинутого корабля героиня книги, физик-теоретик по имени Патрисия Васкез, находит семь просторных комнат — входов в различные миры, с озерами, лесами, деревьями и даже целыми городами. Затем она натывается на гигантские библиотеки, в которых заключена вся история этой странной расы.

Взяв в руки старую книжку, Патрисия видит, что это «Том Сойер» Марка Твена, только переизданный в 2010 году. Она понимает, что астероид вовсе не был оставлен инопланетной цивилизацией, а происходит с самой Земли, только отстоящей на 1300 лет

во времени. Ей открывается невыносимая правда: в старых записях говорится о том, что в далеком прошлом разразилась ядерная война, погубившая миллиарды людей, в результате которой на Землю пришла ядерная зима, убившая еще миллиарды. Когда Патрисия находит дату этой ядерной войны, она с потрясением обнаруживает, что до нее осталось всего лишь две недели! Она не в силах предотвратить неминуемую войну, которая скоро поглотит всю планету и убьет всех ее близких.

Патрисия со страхом обнаруживает и свою собственную историю в этих старых записях и видит, что ее будущие исследования в юбласти пространства-времени помогут заложить фундамент просторного туннеля, носящего название «Путь», в астероиде, который поможет людям покинуть астероид и попасть в другие вселенные. Теории Патрисии доказали, что существует бесконечное множество квантовых вселенных, представляющих всевозможные варианты действительности. Более того, ее теории сделали возможным строительство врат на Пути, позволяющих попасть в различные вселенные, каждая из которых имеет иную собственную историю. В конце концов она входит в туннель, путешествует по Пути и встречает своих потомков, которые убежали на астероиде.

Это странный мир. Столетия назад люди оставили строго человеческий вид и теперь могут принимать различные формы и тела. Воспоминания и личности давно умерших людей хранятся в компьютерных базах данных, и их снова можно вызвать к жизни. Их можно -воскрешать по нескольку раз и загружать в новые тела. Имплантаты, помещаемые в их тела, наделяют их способностью получать доступ к практически неограниченному количеству информации. Хотя у этих людей есть почти все, что они могут пожелать, наша героиня чувствует себя несчастной и одинокой в этом раю технологий. Она скучает по своей семье, по своему возлюбленному, *своей* Земле, то есть по всему, что было уничтожено в ходе ядерной войны. Наконец она получает разрешение на сканирование многочисленных вселенных, расположенных на Пути, чтобы найти параллельную Землю, на которой ядерная война была предотвращена и ее родные живы. В конце концов она находит такую Землю и совершает скачок на нее. (К несчастью, крохотная математическая ошибка забрасывает ее во вселенную, где египетская империя так и не пала. Патрисия проводит

остаток дней в попытках покинуть эту параллельную Землю, чтобы найти свой настоящий дом.)

Несмотря на то что врата между измерениями, фигурирующие в «Эоне», являются объектом вымышленным, все же в связи с этим возникает вопрос, имеющий к нам самое прямое отношение: можно было бы найти пристанище в параллельной вселенной, если бы условия жизни в нашей собственной стали невыносимыми?

Окончательная дезинтеграция нашей вселенной в безжизненную дымку электронов, нейтрино и фотонов, кажется, предсказывает гибель всякой разумной жизни. Мы видели, как хрупка и мимолетна жизнь в космических масштабах. Эпоха, в которую возможен расцвет жизни, ограничена весьма узким временным диапазоном, скоротечным периодом в жизни звезд, освещающих ночное небо. Дальнейшее существование жизни по мере старения и остывания вселенной кажется невозможным. Законы физики и термодинамики достаточно ясно говорят о том, что если стремительное расширение вселенной будет продолжаться, то в конечном счете известный нам разум выжить не сможет. Но сможет ли высокоразвитая цивилизация попытаться спастись, когда температура вселенной будет продолжать опускаться все ниже и ниже? Сможет ли высокоразвитая цивилизация будущего избежать неминуемого Большого Охлаждения, объединив в стройную систему все свои технологические достижения, а также технологию любой другой цивилизации, которая, возможно, существует во вселенной?

Поскольку скорость смены этапов развития вселенной исчисляется в миллиардах и триллионах лет, у трудолюбивой и умной цивилизации в запасе полно времени, чтобы принять такой вызов. Хотя остается только догадываться, какие виды технологий может изобрести высокоразвитая цивилизация с целью продлить свое существование, есть возможность обсудить с помощью известных законов физики широкий «ассортимент» вариантов, которые могут оказаться доступными людям спустя миллиарды лет. Физика не в состоянии подсказать точно, какой план сумела бы разработать высокоразвитая цивилизация, но она может поведать нам о диапазоне параметров для подобного побега.

С точки зрения инженера, основной проблемой при побеге из вселенной будет наличие ресурсов для конструирования и постройки-

ки машины, которая позволила бы проделать столь сложный трюк. Однако для физика главный вопрос звучит иначе: допускают ли вообще законы физики существование таких машин? Физикам нужно «принципиальное доказательство» — мы хотим показать, что при наличии достаточно развитой технологии побег в другую вселенную не противоречил бы законам физики. Будет ли у нас достаточно ресурсов — это практическая деталь гораздо меньшего масштаба, рассмотрение которой придется оставить цивилизациям, которые убудут существовать через миллиарды лет после нас, ведь это им грозит Большое Охлаждение.

По Мартину Рису: «Порталы-червоточины, дополнительные измерения и квантовые компьютеры открывают новые гипотетические сценарии, по которым вселенную можно было бы трансформировать в "обитаемый космос"».

Цивилизации типа I, II и III

Для того чтобы понять, что будут представлять из себя технологии цивилизаций, отстоящих от нас на тысячи, а то и миллионы лет, физики классифицируют цивилизации на основе их энергопотребления и законов термодинамики. Сканируя небо на предмет признаков разумной жизни, физики ищут не маленьких зеленых человечков, а объекты с выработкой энергии, соответствующей цивилизациям типа I, II и III. Такая иерархия была предложена русским физиком Николаем Кардашевым в 1960-е годы для классификации радиосигналов от возможных цивилизаций в открытом космосе. Цивилизация каждого типа характеризуется тем, что испускает форму излучения, которую можно измерить и занести в каталог. (При помощи современного оборудования можно обнаружить даже высокоразвитую цивилизацию, которая пытается скрыть свое присутствие. Согласно Второму закону термодинамики, любая высокоразвитая цивилизация создаст энтропию в виде использованного тепла, которое неизбежно уйдет в Открытый космос. Даже если эта цивилизация попытается замаскировать свое присутствие, будет невозможно скрыть слабое свечение, создаваемое их энтропией.)

Цивилизация I типа — это цивилизация, которая использует планетарные формы энергии. Энергопотребление такой цивилизации

можно точно измерить: по определению, она использует все количество солнечной энергии, падающей на планету, или 10^{16} ватт. При помощи этой планетарной энергии такой цивилизации под силу контролировать или корректировать погоду, менять курс ураганов или строить города в океанах. Такие цивилизации являются настоящими хозяевами своей планеты и называются планетарными.

Цивилизация II типа исчерпала энергию одной планеты и использует мощность всей звезды, или приблизительно 10^{26} ватт. Такие цивилизации могут потреблять весь выброс энергии своей звезды и, вероятно, могли бы осуществлять контроль над солнечными вспышками и поджигать другие звезды.

Цивилизация III типа исчерпала энергию одной солнечной системы и колонизировала обширные участки своей родной галактики. Такая цивилизация может использовать энергию от 10 миллиардов звезд, мощность которой оценивается величиной порядка 10^{36} ватт.

Цивилизация каждого типа увеличивает энергию, используемую предыдущим типом, в 10 миллиардов раз. Хотя разрыв между тремя представленными типами цивилизаций может показаться астрономически большим, все же можно приблизительно подсчитать время, необходимое для перехода к цивилизации третьего типа. Допустим, потребление энергии цивилизацией растет в среднем на 2-3 % в год. (Это весьма правдоподобное предположение, поскольку экономический рост, который можно точно подсчитать, напрямую связан с потреблением энергии. Чем грандиознее экономика, тем больше энергии ей требуется. Поскольку рост валового внутреннего продукта (или ВВП) многих стран находится в пределах 1-2 % в год, можно ожидать, что потребление энергии растет приблизительно с такой же скоростью.)

При таких скромных темпах мы можем прикинуть, что современной нам цивилизации потребуется 100-200 лет для достижения статуса цивилизации первого типа. Нам потребуется от 1000 до 5000 лет, чтобы стать цивилизацией второго типа, и, вероятно, от 100 000 до 1 000 000 лет для достижения статуса цивилизации третьего типа. По такой шкале нашу цивилизацию можно отнести к нулевому типу, поскольку мы получаем энергию из мертвых растений (нефть и уголь). Даже управление ураганами, которые несут в себе силу сотен

ядерных бомб, находится за пределами наших технологических возможностей.

Для описания современной цивилизации астроном Карл Саган предложил создать для типов цивилизаций градации меньших масштабов. Мы видели, что цивилизации первого, второго и третьего типов генерируют общую мощность энергии порядка 10^{16} , 10^{26} и 10^{36} ватт соответственно. Саган ввел равномерную логарифмическую шкалу, по которой цивилизация, скажем типа 1,1, генерирует 10^{17} ватт мощности, цивилизация типа 1,2— 10^{18} ватт, и так далее. Разбив каждый тип на десять меньших подтипов, мы можем приступить к классификации нашей собственной цивилизации. По такой шкале наша современная цивилизация близка к типу 0,7, которому еще идти и идти до настоящей планетарной цивилизации первого типа. (В отношении выработки энергии цивилизация первого типа все же в тысячу раз превосходит цивилизацию типа 0,7.)

Хотя наша цивилизация все еще довольно примитивна, мы уже видим признаки начинающегося перехода на более высокий уровень. Газетные заголовки все время кричат (хоть и не напрямую) об этом историческом перевороте. В сущности, я чувствую даже гордость за Го, что жив и могу наблюдать все это:

- Интернет — это зарождающаяся телефонная система типа I. Интернет обладает возможностью стать основой универсальной планетарной коммуникационной системы.

- В экономике общества первого типа будут доминировать не отдельные нации, а большие торговые блоки, подобные Европейскому Союзу, который сформировался благодаря конкуренции со странами, подписавшими Североамериканское соглашение о свободной торговле (НАФТА).

- Языком нашего общества первого типа, вероятно, станет английский, который уже на данный момент доминирует на Земле как второй язык. В наше время во многих странах третьего мира среди представителей высших классов населения, а также тех, кто получил высшее образование, наблюдается тенденция к использованию английского языка наряду с местным. Все население цивилизации первого типа может оказаться говорящим на двух языках — локальном и планетарном

Нации, хотя, вероятно, они еще в течение столетий продолжат свое существование в какой-либо форме, будут понемногу терять свое значение по мере того, как будут разрушаться торговые барьеры, а мир обретать все большую экономическую независимость. (Современные нам нации были частично сформированы капиталистами, а также теми, кто хотел единой валюты, границ, налогов и законов, при помощи которых можно было бы вести торговое дело. По мере того как торговля становится все более международной, национальные барьеры несколько теряют свое значение.) Ни одна из наций на Земле не обладает достаточной мощностью, чтобы остановить это движение к цивилизации первого типа.

Войны, вероятно, не прекратятся, но сам их характер изменится с появлением планетарного среднего класса, представители которого будут больше заинтересованы в туризме и накоплении богатств и ресурсов, чем в захвате власти над другими народами и контроле рынков или географических регионов.

Проблемой загрязнения окружающей среды займутся во всемирном масштабе. Выбросы в атмосферу, кислотные дожди, уничтожение лесов и прочие подобные процессы не знают национальных границ, нарушители подвергнутся давлению со стороны соседствующих государств и будут вынуждены загладить последствия своих поступков. Проблемы глобальных масштабов касающиеся загрязнения окружающей среды, будут способствовать ускорению глобальных решений.

По мере того как ресурсы (такие, как улов рыбы, урожаи злаков, водные ресурсы) постепенно истощаются вследствие чрезмерного использования земельных площадей и чрезмерного потребления, возникнет все возрастающая потребность в распределении ресурсов в планетарных масштабах или же нам придется столкнуться с угрозой голода и полного краха.

Информация станет практически бесплатной, что подвигнет общество к намного большей демократичности, и это позволит угнетенным слоям населения обрести свой голос и оказать давление на диктаторские режимы.

Эти силы не поддаются контролю со стороны отдельных индивидов или государств. Интернет нельзя запретить законом. В сущности, любой подобный поступок вызвал бы скорее смех, нежели ужас, поскольку Интернет представляет собой путь к процветанию экономики и науки, равно как культуры и развлечений.

Но в переходе от нулевого типа к первому также содержится наибольшее количество опасностей, поскольку мы все еще продолжаем демонстрировать дикость, унаследованную еще от нашего животного состояния. В каком-то смысле развитие нашей цивилизации — это гонка со временем. С одной стороны, движение к планетарной цивилизации первого типа может сулить нам эпоху беспрецедентного мира и процветания. С другой стороны, силы энтропии (парниковый эффект, загрязнение, ядерная война, фундаментализм, болезни) все еще могут разорвать нас на части. Сэр Мартин Рис видит в этих угрозах, так же как и в тех, что возникают в связи с терроризмом, созданием бактерий и вирусов, освоением достижений биоинженерии и другими технологическими кошмарами, одну из сложнейших проблем, когда-либо встававших перед человечеством. Весьма отрезвляет его оценка наших шансов на успешное преодоление этой проблемы: пятьдесят на пятьдесят.

Это может быть одной из причин, почему мы не наблюдаем инопланетных цивилизаций в космосе. Если они действительно существуют, то, возможно, они настолько развиты, что им малоинтересно наше примитивное общество типа 0,7. А может быть, их погубили войны или свое собственное загрязнение в тот промежуток времени, когда они стремились достичь статуса цивилизации первого типа. (В этом смысле ныне живущее поколение может оказаться самым важным из всех, когда-либо ступавших по поверхности Земли, Именно это поколение решит, успешно ли мы совершим переход к цивилизации первого типа.)

Но, как когда-то сказал Фридрих Ницше, что не убивает, то укрепляет. Наш трудный переход от нулевого типа к первому наверняка станет испытанием огнем, которое будет сопровождаться большим количеством ужасающих аварийных ситуаций. Если мы сможем невредимыми выйти из всех этих передряг, мы станем сильнее — подобно тому, как закаляется сталь.

Цивилизация первого типа

Когда цивилизация достигает статуса первого типа, весьма маловероятно, что она потянется к звездам; более вероятно, что она еще в течение столетий будет оставаться на родной планете, чтобы преодолеть оставшиеся националистические, фундаменталистские, расистские и сектантские страсти своего прошлого. Научные фантасты зачастую недооценивают всей сложности космических путешествий и колонизации космоса. На сегодняшний день доставка на орбиту Земли 1 кг груза стоит от 20 000 до 80 000 долларов. (Представьте Джона Гленна, сделанного из чистого золота, и вы начнете понимать непомерно высокую стоимость космических путешествий.) Каждый полет космического шаттла обходится более чем в 800 миллионов долларов (если взять полную стоимость программы и разделить на количество полетов). Весьма вероятно, что стоимость космических путешествий снизится с появлением ракет-носителей многоразового применения, которые можно снова использовать сразу же после завершения полета, но не больше чем в 10 раз на протяжении нескольких десятилетий. В течение большей части XXI века космические путешествия останутся непомерно дорогим предложением для самых богатых людей и государств.

(Существует одно потенциальное исключение: разработка «космических лифтов». Последние достижения в области нанотехнологии сделали возможным производство сверхпрочных и сверхлегких углеродных нанотрубок. В принципе, возможно, что эти нити из атомов углерода окажутся настолько прочными, чтобы соединить Землю с геосинхронным спутником, вращающимся по орбите, отстоящей более чем на 30 000 километров от Земли. Как в детской сказке «Джек и бобовый стебель», можно будет воспользоваться этой углеродной нанотрубкой для того, чтобы попасть в открытый космос, а стоимость этого путешествия составит лишь малую часть обычных затрат. Исторически сложилось так, что ученые отбрасывали возможность применения космических лифтов, поскольку натяжение струны было бы настолько сильным, что разорвало бы любые известные волокна. Однако с появлением технологии производства углеродных нанотрубок такое положение вещей может измениться. НАСА финансирует предварительные исследования этой техноло-

гии, и в течение нескольких лет будет произведен тщательный анализ этого вопроса. Но даже если окажется такая технология возможной, космический лифт сможет в лучшем случае доставить кого-то или что-то на околоземную орбиту, но не к другим планетам.) Всякие мечтания о космических колониях упираются в тот факт, что затраты на пилотируемые полеты на Луну, а тем более на планеты Солнечной системы, во много раз превышают стоимость полетов в околоземное пространство. В отличие от морских путешествий Колумба и первых испанских исследователей столетия тому назад, когда стоимость корабля составляла крошечную долю валового внутреннего продукта, а потенциальное вознаграждение было огромным, размещение колоний на Луне и Марсе обанкротило бы практически любое государство, не принося никакого прямого дохода. Обычный запуск космического корабля с людьми на борту стоит от ста до пятисот миллионов долларов, а окупается он в весьма малой степени.

Необходимо также учитывать опасность, грозящую людям на борту. После полувека экспериментов с ракетами на жидком топливе вероятность катастрофического провала в полете составляет приблизительно один к семидесяти. (В сущности, под эту вероятность подпадают две трагические потери космических шаттлов.) Мы часто забываем, что космические полеты — это не обычный туризм. При таком количестве быстро испаряющегося топлива и угрозе человеческой жизни полеты в космос будут оставаться рискованным предприятием еще в течение десятилетий.

Однако спустя несколько столетий ситуация постепенно может измениться. По мере того как стоимость космических полетов будет медленно снижаться, несколько космических колоний могут потихоньку начать осваивать Марс. В таких временных масштабах некоторые ученые даже предложили оригинальные способы *терраформирования* Марса, — к примеру, перенаправить на него комету, которая, распавшись, добавит в атмосферу водяных паров. Другие предложили инжектировать метан в атмосферу Марса, чтобы искусственным образом создать парниковый эффект на Красной планете, благодаря чему поднимется температура и постепенно растает вечная мерзлота под поверхностью Марса. Таким образом, озера и реки Марса наполнятся водой впервые за миллиарды лет. Другие пред-

лагают более опасные экстремальные меры, например подземный взрыв ядерной боеголовки под ледяным покровом, чтобы растопить лед (что может создать угрозу для здоровья будущих космических колонистов). Однако все эти предложения никак не выходят за чисто гипотетические рамки.

Более вероятно, что в ближайшие несколько веков цивилизация первого типа сочтет космические колонии не самым срочным делом. Но для дальних межпланетных экспедиций, где время не является столь критическим фактором, создание солнечно-ионного двигателя может стать толчком для межзвездных полетов. Такие двигатели будут обладать малой тягой, зато они могут поддерживать эту тягу годами. Они будут концентрировать солнечную энергию, разогревать газ, например цезий, а затем выпускать его через сопло, что обеспечит умеренную тягу, которую можно будет поддерживать почти до бесконечности. Средства передвижения, приводимые в действие такими двигателями, могут стать идеальными претендентами на создание межпланетной «федеральной системы скоростных автострад».

И наконец, цивилизации первого типа могли бы отправить несколько экспериментальных зондов к ближним звездам. Поскольку скорость химических ракет в конечном счете ограничивается максимальной скоростью газов в ракетных соплах, физикам придется найти более экзотические виды двигателей, если они надеются покрыть расстояния в сотни световых лет. Одним из возможных вариантов может стать прямоточный воздушно-реактивный двигатель, основанный на реакции синтеза, — ракета, которая черпает водород из межзвездного пространства, использует его для синтеза, в результате которого высвобождается практически неограниченное количество энергии. Однако протон-протонный синтез трудно реализовать даже в условиях Земли, не говоря уже о корабле в открытом космосе. От разработки такой технологии нас отделяет, в лучшем случае, еще один век.

Цивилизация второго типа

Цивилизация второго типа может потреблять энергию целой звезды; она вполне может напоминать вариант Федерации планет в телесериале «Стар Трек», где фигурирует двигатель, работающий по принципу искривления пространства. Такие цивилизации колони-

ровали крошечную часть Галактики Млечный Путь и могут зажигать звезды, а потому могут претендовать на звание зарождающихся цивилизаций второго типа.

Физик Фриман Дайсон предположил, что для использования всей энергии Солнца цивилизации второго типа было бы можно сконструировать гигантскую сферу вокруг Солнца, позволяющую поглощать его лучи. Эта цивилизация могла бы, к примеру, разрушить планету размером с Юпитер и распределить образовавшуюся массу по сфере вокруг Солнца. В силу Второго закона термодинамики сфера в конечном итоге разогреется, испуская характерное инфракрасное излучение, которое можно наблюдать из открытого космоса. Джун Джугаку из Института исследований цивилизации в Японии вместе с коллегами внимательно изучила небесные дали до 80 световых лет от нас с целью нахождения других цивилизаций, но им не удалось обнаружить никаких признаков таких инфракрасных вспышек (хотя следует помнить, что диаметр нашей галактики составляет 100 000 световых лет).

Цивилизация второго типа могла бы колонизировать некоторые из планет ее солнечной системы и даже начать программу развития межзвездных полетов. Благодаря огромным ресурсам, которые будет иметь в своем распоряжении цивилизация второго типа, она потенциально может создать для своих космических кораблей такие экзотические виды движущей силы, как двигатель, основанный на веществе и антивеществе, который позволит совершать космические полеты с околосветовой скоростью. В принципе, такая форма энергии является энергосберегающей на все 100%. По меркам цивилизации первого типа, использование такой энергии является экспериментально возможным, но непомерно дорогостоящим (необходим ускоритель частиц для создания пучков антипротонов, которые можно использовать для создания антиатомов).

Мы можем лишь строить предположения о том, каким образом будет устроено общество второго типа. Однако в его распоряжении будут тысячи лет для разрешения споров по поводу собственности, ресурсов и власти. Вероятно, ничто известное науке не сможет уничтожить такую цивилизацию за исключением, возможно, глупости самих обитателей планеты. Кометы и метеоры можно будет направлять в другую сторону; ледниковые периоды можно будет предотвратить,

изменяя климатические условия; даже угрозы взрыва близлежащей сверхновой можно избежать, просто-напросто покинув родную планету и транспортировав цивилизацию от греха подальше, — может, даже задействовав термоядерную силу самой умирающей звезды.

Цивилизация третьего типа

К тому времени как общество достигает уровня цивилизации третьего типа, оно может задумываться над использованием фантастических энергий, при которых пространство и время становятся нестабильными. Мы помним, что энергия Планка представляет собой энергию, при которой преобладают квантовые эффекты, а пространство-время становится «пенистым», с мельчайшими пузырьками и порталами-червоточинами. Энергия Планка лежит далеко за пределами наших возможностей, однако такая ситуация сложилась благодаря тому, что мы рассматриваем энергию с точки зрения цивилизации типа 0,7. К тому времени, как цивилизация достигнет третьего типа, у нее появится доступ (по определению) к энергиям, в 10^{20} превышающим те, что существуют на Земле сегодня.

Астроном Иен Кроуфорд из Университетского колледжа в Лондоне так пишет о цивилизации третьего типа: «Предположим, расстояние между колониями составляет 10 световых лет, скорость корабля — 10 процентов скорости света, а период от основания колонии до начала отправления ею уже своих колонистов равен 400 годам; тогда фронт колонизационной волны будет продвигаться со средней скоростью 0,02 светового года в год. Поскольку наша Галактика имеет 100 000 световых лет в поперечнике, для ее полной колонизации потребуется не более пяти миллионов лет. Хотя для человека это долгий срок, он составляет всего лишь 0,05 % возраста Галактики».

Ученые предприняли несколько серьезных попыток уловить радиосигналы от цивилизаций третьего типа в пределах нашей Галактики. Гигантский радиотелескоп Аресибо в Пуэрто-Рико сканировал большую часть Галактики на предмет получения радиосигналов на частоте 1,42 ГГц, что близко к спектральной линии водорода. В ходе сканирования не было обнаружено никаких признаков радиосигналов в данном диапазоне от какой-либо цивилизации, излучающей от 10^{18} до 10^{30} ватт мощности (то есть от типа 1,2 до типа 2,4). Однако

это не исключает существования цивилизаций, которые несколько обогнали нас в технологическом отношении (от типа 0,8 до типа 1,1) или ушли далеко вперед — такие, как типа 2,5 и выше.

Это также не позволяет сбрасывать со счетов другие формы коммуникации. К примеру, высокоразвитая цивилизация могла бы посылать сигналы при помощи лазера, а не радио. А если они все же используют радио, частота сигналов может отличаться от 1,42 ГГц. К примеру, они могли бы передать свой сигнал на многих частотах, а затем скоррелировать этот сигнал при получении. Таким образом, проходящая мимо звезда или космическая буря не исказит содержания всего сообщения. Любой, кто попытается прослушать этот сигнал, услышит лишь неясный шум. (Наши собственные послания по электронной почте разбиваются на множество частей, каждая из которых передается по своему каналу, а затем эти части снова собираются воедино в вашем компьютере. Подобным образом и высокоразвитая цивилизация может решить использовать усовершенствованные методы для разбиения сигнала на части, а затем сборки его воедино на другом конце.)

Если во вселенной существует цивилизация третьего типа, то одной из безотлагательных ее забот будет создание коммуникационной системы, соединяющей различные части галактики. Это, конечно же, зависит от того, смогут ли представители этой цивилизации каким-то образом овладеть технологиями передвижений быстрее света, например посредством порталов-червоточин. Если предположить, что они не смогут этого сделать, то их расширение существенно замедлится. Фриман Дайсон, приводя цитату из работы Жан-Марка Леви-Леблона, предполагает, что такое общество может жить во «вселенной Кэрролла», названной в честь Льюиса Кэрролла. Дайсон пишет, что в далеком прошлом человеческое общество жило в такой вселенной: оно состояло из маленьких племен, в которых Пространство было абсолютным, а время — относительным. Это [означало, что общение между разрозненными племенами была невозможным и люди не осмеливались заходить далеко от места обитания на протяжении всей своей жизни. Каждое племя было изолировано от других обширными просторами абсолютного пространства. С наступлением промышленной революции мы вошли во вселенную • Ньютона, в которой время и пространство были абсолютны; у нас

появились корабли и колеса, которые связали разрозненные племена в государства. В XX веке мы вступили во вселенную Эйнштейна, в которой и время, и пространство относительны, и создали телеграф, телефон, радио и телевидение, что вылилось в мгновенное общение. Цивилизация третьего типа может снова вернуться ко вселенной Кэрролла, в которой существуют очаги космических колоний, разделенных огромными межзвездными расстояниями; эти группы колоний не имеют возможности общаться между собой из-за светового барьера. Чтобы предотвратить расщепление на фрагменты такой вселенной Кэрролла, цивилизации третьего типа, возможно, нужно будет создать порталы-червоточины, которые допускают коммуникацию со скоростью быстрее света на субатомном уровне.

Цивилизация четвертого типа

Однажды, когда я читал лекцию в лондонском планетарии, ко мне подошел десятилетний мальчик и стал настойчиво утверждать, что должна существовать и цивилизация четвертого типа. Когда я напомнил ему о том, что есть лишь планеты, звезды и галактики¹⁹, которые представляют собой единственные платформы для формирования разумной жизни, он заявил, что цивилизация четвертого типа могла бы использовать энергию континуума.

Я понял, что он был прав. Если существование цивилизации четвертого типа возможно, ее источник энергии мог бы быть экстрагалактическим, таким, как темная энергия, которая составляет 73 % всего вещественно-энергетического содержимого вселенной. Представляя собой огромный потенциальный резервуар для энергии — величайший во вселенной, — это антигравитационное поле растянуто по невероятным пустым просторам вселенной, а потому чрезвычайно слабо в любой точке космоса.

Никола Тесла, гений в области электричества и соперник Томаса Эдисона, много писал о получении энергии вакуума. Он считал, что в вакууме скрыты невероятные источники энергии. Тесла говорил, что, если бы нам удалось каким-либо образом залезть в этот источник, это произвело бы переворот во всем человеческом обществе. Однако извлечь эту сказочную энергию было бы чрезвычайно трудно. Представьте себе поиски золота на дне океанов. Вероятно, в оке-

анах больше золота, чем в Форт-Нокс и других сокровищницах мира. Однако затраты на извлечение золота с такой большой территории непомерно высоки. Именно поэтому никто и никогда не брался добывать золото со дна океанов.

Подобным образом и количество энергии, скрытой в темной энергии, превосходит все энергетическое содержимое звезд и галактик. Однако эта энергия рассеяна на миллиардах световых лет, а потому сконцентрировать ее довольно трудно. Но законы физики все же не возражают против вероятности, что высокоразвитая цивилизация третьего типа, исчерпав энергию звезд галактики, каким-либо образом попытается использовать эту «темную» энергию, чтобы совершить переход к четвертому типу.

Классификация информации

Благодаря новым технологиям можно произвести дальнейшие уточнения в классификации цивилизаций. Кардашев составил свою классификацию цивилизаций в 1960-е годы, еще до прорыва в миниатюризации компьютеров, достижений в нанотехнологии и осознания проблем разрушения окружающей среды. В свете последующих событий высокоразвитая цивилизация могла бы пойти несколько иным путем, использовав весь потенциал информационной революции, которую мы сейчас переживаем.

Поскольку развитие прогрессивной цивилизации происходит экспоненциально, обильная выработка лишнего тепла могла бы опасно повысить температуру атмосферы нашей планеты и нам пришлось бы столкнуться с климатическими проблемами. Рост колоний бактерий в чашке Петри также происходит экспоненциально до тех пор, пока они не съедят все запасы пищи и буквально не утонут в своих собственных отходах. Подобным образом, поскольку космические полеты будут еще в течение нескольких столетий непомерно дорогостоящим предприятием, а терраформинг близлежащих планет будет представлять собой гигантскую экономическую и научную проблему (если будет возможен вообще), то развивающаяся цивилизация I типа потенциально может задохнуться в своем собственном лишнем тепле, или же она может миниатюризировать и рационализировать обработку информации.

Чтобы увидеть всю эффективность подобной миниатюризации, рассмотрим человеческий мозг, в котором содержится около ста миллиардов нейронов (что приблизительно равняется количеству галактик в видимой вселенной) и который практически не выделяет тепла. Вообще-то, если бы компьютерному инженеру пришлось конструировать электронный компьютер, способный производить вычисления со скоростью в квадриллионы байт в секунду — задача, которую мозг выполняет без всякого напряжения, — то такой компьютер, вероятно, занимал бы несколько кварталов, а для его охлаждения потребовалась бы целое водохранилище. И все же наш мозг может размышлять над тончайшими материями и при этом мы совершенно не потеем.

Наш мозг способен на такие вещи благодаря своей молекулярной и клеточной структуре. Прежде всего, это вовсе не компьютер (в смысле обычной машины Тьюринга с входной и выходной лентами данных и центральным процессором). В мозгу нет операционной системы, нет центрального процессора, который мы обычно ассоциируем с компьютерами. Вместо этого мозг представляет собой высокопроизводительную сеть нейронов, самообучающуюся машину, в которой модели памяти и мышления распространены по всему мозгу, а не сосредоточены в центральном процессоре. Мозг не может даже совершать быстрые сложные вычисления, поскольку электрические сообщения, отправляемые нейронами, являются химическими по своей природе. Но мозг более чем компенсирует свою медленную работу тем, что способен на параллельную обработку данных и может фантастически быстро принимать новые задачи.

Для усовершенствования малой производительности электронных компьютеров и создания нового поколения миниатюризированных компьютеров ученые пытаются применить оригинальные идеи, многие из которых были позаимствованы у природы. Уже сегодня ученые в Принстоне могут производить вычисления на молекулах ДНК (при этом ДНК рассматривается как часть компьютерной ленты, основанной не на двоичных единицах и нулях, а на четырех нуклеиновых кислотах А, Т, С, G). При помощи этого компьютера им удалось решить задачу коммивояжера и нескольких городов (то есть вычислить кратчайший маршрут, проходящий через N городов). Так, в лабораториях были созданы молекулярные транзисторы и даже

сконструированы первые примитивные квантовые компьютеры (которые могут производить вычисления на отдельных атомах).

С учетом достижений в нанотехнологии весьма вероятно, что представители прогрессивной цивилизации окажутся способны найти намного более эффективные пути развития, нежели создание огромных количеств лишнего тепла, которое поставит под угрозу само их существование.

Типы от А до Z

Саган предложил еще один способ классификации высокоразвитых цивилизаций. Его идея заключается в применении критерия информационного содержания цивилизаций, необходимого любой цивилизации, размышляющей о побеге из вселенной. К примеру, к цивилизациям типа А относятся те, которые обрабатывают 10^6 бит информации. Такой тип представляет примитивные цивилизации, в которых еще нет письменности, но уже существует разговорный язык. Для того чтобы наглядно представить, сколько информации содержится в цивилизациях типа А, Саган воспользовался примером игры в «двадцать вопросов», в которой вы должны определить загаданный предмет, задав не более двадцати вопросов, ответами на которые могут служить лишь «да» или «нет». Одна из стратегий — задавать вопросы, делящие мир на две обширные части, — например, «Это живое?». Задав двадцать подобных вопросов, мы поделим мир на 2^{20} (или приблизительно 10^6) частей, что и представит суммарное содержание информации в цивилизации типа А.

После открытия письменности суммарное содержание информации резко возрастает. Физик Филипп Моррисон из Массачусетского технологического института оценивает суммарное письменное наследие древних греков приблизительно в 10^9 бит, что соответствует цивилизации типа С в классификации Сагана.

Саган произвел оценку содержания информации в современной нам цивилизации. Приблизительно оценив количество книг в библиотеках (которое измеряется в десятках миллионов) и количество страниц в каждой книге, Саган пришел к цифре порядка 10^{13} бит информации. Если мы включим в подсчет фотографии, она может подпрыгнуть до 10^{15} бит. При таком результате мы были бы

классифицированы как цивилизация типа N. Учитывая наше низкое энергопотребление и информационное содержание, нас можно классифицировать как цивилизацию типа $0,7 N$.

По оценке Сагана, наш первый контакт с внеземными цивилизациями произойдет по меньшей мере во времена цивилизации типа 1,5 J или 1,8 K, поскольку они уже овладеют динамикой межзвездных полетов. В развитии такая цивилизация отстоит от нашей как минимум на несколько столетий, а то и тысячелетий. Подобным образом, галактическая цивилизация третьего типа может быть классифицирована на основе информационного содержания каждой планеты, умноженного на количество планет в галактике, способных поддерживать жизнь. По оценке Сагана, такая цивилизация третьего типа будет соответствовать типу Q. Высокоразвитую цивилизацию, способную использовать информационное содержание миллиарда галактик, что представляет обширную часть видимой вселенной, можно было бы квалифицировать как цивилизацию типа Z, говорит Саган.

Это не пустые теоретические выкладки. Любой цивилизации, собирающейся покинуть нашу вселенную, непременно придется при помощи вычислений определить, каковы условия на другом конце вселенной. Уравнения Эйнштейна известны своей сложностью, поскольку для вычисления искривления пространства в какой-либо заданной точке необходимо точно знать местонахождение всех объектов во вселенной, каждый из которых вносит свою лепту в искривление пространства. Также необходимо знать квантовые поправки для черной дыры, вычислить которые в настоящее время представляется невозможным. Поскольку это чрезвычайно сложно для наших компьютеров, физики рассматривают черную дыру приближенно, изучая такую вселенную, единственным объектом в которой является сколлапсировавшая звезда. Чтобы получить более реальное представление о динамике происходящего в пределах горизонта событий черной дыры или возле устья портала-червоточины, нам обязательно нужно знать местонахождение и энергетическое содержание всех близлежащих объектов и вычислить квантовые флуктуации. И опять-таки это представляется непомерно трудным. Сложно решить уравнения даже для одной-единственной звезды во всей вселенной, не говоря уже о миллиардах галактик, летящих в расширяющейся вселенной.

Именно поэтому любая цивилизация, которая попытается совершить путешествие через портал-червоточину, должна располагать «вычислительной» мощностью, намного превосходящей ту, что доступна нашей цивилизации типа 0,7 Н. Возможно, минимальной цивилизацией с энергетическим и информационным содержанием, позволяющим всерьез рассматривать такой прыжок, будет цивилизация типа III (Q).

Также вероятно, что разум может пересечь границы, установленные классификацией Кардашева. Как говорит сэр Мартин Рис: «Весьма вероятно, что, даже если сейчас жизнь существует лишь здесь, на Земле, в конечном счете она распространится по всей галактике и за ее пределами. Так, жизнь может не всегда оставаться незаметным грязным следом во вселенной, хотя на данный момент дело обстоит именно так. В сущности, я нахожу эту точку зрения довольно привлекательной и считаю, что было бы весьма полезно, если бы ее разделяли многие». Однако он предостерегает: «Но если мы друг друга поубиваем, то уничтожим поистине космические возможности. Так что если кто-то верит, что жизнь на Земле — это явление уникальное, то это не означает, что жизни всегда предстоит быть незаметной деталью этой вселенной».

Как бы высокоразвитая цивилизация рассматривала оставление своей умирающей вселенной? Ей пришлось бы преодолеть ряд серьезных препятствий.

Шаг первый: создание и проверка теории всего

Следующим барьером для цивилизации, надеющейся покинуть нашу вселенную, стала бы необходимость завершения «теории всего». Неважно, будет это сделано при помощи струнной теории или нет, но у нас должен быть надежный способ вычисления квантовых поправок к уравнениям Эйнштейна или же все наши теории окажутся бесполезными. К счастью, ввиду стремительного развития М-теории, над которой работают лучшие умы планеты, мы довольно быстро узнаем, является ли она на самом деле теорией всего или же теорией ничего. Это произойдет в течение нескольких ближайших десятилетий, а то и быстрее.

Когда будет открыта теория всего, или теория квантовой гравитации, нам будет необходимо проверить следствия из этой теории при помощи новейших технологий. Существует несколько возможностей, среди которых постройка огромных ускорителей частиц для создания суперчастиц или даже огромных детекторов гравитационных волн, базирующихся в космосе или на различных лунах Солнечной системы. (Луны довольно стабильны в течение долгого периода времени, не подвержены эрозии и атмосферным возмущениям, благодаря чему планетарная система детекторов гравитационных волн сможет исследовать подробности Большого Взрыва, тем самым разрешив все вопросы, которые могут возникнуть по поводу квантовой гравитации и создания новой вселенной.)

Когда будет открыта теория квантовой гравитации и гигантские ускорители частиц или детекторы гравитационных волн подтвердят ее верность, мы можем начать отвечать на некоторые жизненно важные вопросы относительно порталов-червоточин и уравнений Эйнштейна:

1. Стабильны ли порталы-червоточины?

Проблема прохождения сквозь вращающуюся черную дыру Керра состоит в том, что само ваше присутствие нарушает равновесие черной дыры; она может коллапсировать еще до того, как вы завершите переход через мост Эйнштейна-Розена. Это вычисление стабильности необходимо произвести в свете квантовых поправок, которые могут полностью изменить этот подсчет.

2. Существуют ли отклонения?

Если мы попытаемся пройти сквозь проходимый портал-червоточину, соединяющий две временные эпохи, интенсивность окружающей портал радиации может стремиться к бесконечности— с катастрофическими последствиями. (Причина этого состоит в том, что излучение, проходя сквозь портал-червоточину, может вернуться назад во времени, а много лет спустя оно снова пройдет через эту черную дыру. Этот процесс будет повторяться бесконечное множество раз, что приведет к накоплению излучения. Однако проблему можно решить в том случае, если выстоит теория многих миров. Тогда вселенная

расщеплялась бы каждый раз, как излучение проходило бы сквозь портал-червоточину, и не произошло бы бесконечного накопления излучения. Для того чтобы найти ответ на этот деликатный вопрос, нам необходима «теория всего».)

3. Можем ли мы найти большие количества отрицательной энергии?

О существовании отрицательной энергии, представляющей собой ключевой ингредиент, при помощи которого можно открыть и стабилизировать порталы-червоточины, уже известно, но обнаружена она была лишь в малых количествах. Сможем ли мы найти достаточное количество такой энергии, чтобы открывать и стабилизировать порталы-червоточины?

При условии, что ответы на эти вопросы обнаружить возможно, передовая цивилизация может начать серьезно рассматривать варианты побега из вселенной — или же лицом к лицу столкнуться с перспективой неминуемого вымирания. Существует несколько возможных вариантов.

Шаг второй: обнаружить порталы-червоточины и белые дыры естественного происхождения

В открытом космосе возможно существование порталов-червоточин, врат в другие измерения и космических струн естественного происхождения. В момент Большого Взрыва произошел выброс гигантского количества энергии во вселенную, и порталы-червоточины и космические струны могли образоваться естественным путем. Последующее инфляционное расширение вселенной могло расширить эти порталы до макроскопических размеров. Кроме того, возможно, что в открытом космосе в естественном виде существует «экзотическая материя», или материя с отрицательной плотностью. Это невероятно облегчило бы все попытки покинуть умирающую вселенную. Однако нет никакой гарантии существования подобных объектов в природе. Никто никогда не наблюдал этих объектов, и было бы просто-напросто слишком рискованно ставить на карту су-

существование всей разумной жизни на основании одного лишь этого предположения.

Далее, существует вероятность обнаружения «белых дыр» при сканировании неба. Белая дыра представляет собой решение уравнений Эйнштейна, в котором время течет вспять таким образом, что из белой дыры объекты выбрасываются точно так же, как их засасывает в черную дыру. На другом конце черной дыры может быть обнаружена белая дыра, то есть вещество, попадающее в черную дыру, в конечном счете выйдет из белой. До сих пор все проведенные астрономические исследования не обнаружили доказательства существования белых дыр, которое, однако, может быть подтверждено (или же опровергнуто) с появлением следующего поколения детекторов, базирующихся в космосе.

Шаг третий: отправка зондов в черную дыру

Использование черных дыр в качестве порталов-червоточин имеет бесспорные преимущества. Как мы обнаружили, во вселенной существует достаточно много черных дыр. Если можно будет решить многочисленные технические проблемы, то любой высокоразвитой цивилизации придется серьезно рассматривать их в качестве аварийного люка для побега из нашей вселенной. Кроме того, при прохождении сквозь черную дыру мы не связаны тем ограничением, что невозможно вернуться во времени в момент раньше того, когда была построена сама машина времени. Портал-червоточина в центре кольца Керра может соединять нашу вселенную с совершенно иными вселенными или же другими точками в нашей вселенной. Единственный способ выяснить это — проведение эксперимента с зондами и использование суперкомпьютера для вычисления распределения масс во вселенных и обработки квантовых поправок к уравнениям Эйнштейна, которые вносит портал-червоточина.

В настоящее время большинство физиков считает, что путешествие сквозь черную дыру стало бы фатальным. Однако наше понимание физики черных дыр находится еще в младенческой стадии, и такое предположение до сих пор не было проверено. Представим, в качестве обратного аргумента, что путешествие через черную дыру и в особенности через вращающуюся черную дыру Керра возможно.

В таком случае любая высокоразвитая цивилизация серьезно задумалась бы об исследовании внутренней части черных дыр.

Поскольку путешествие через черную дыру стало бы путешествием в один конец, а также в силу невероятных опасностей вблизи черной дыры, вполне вероятно, что высокоразвитая цивилизация попыталась бы определить местонахождение ближайшей звездной черной дыры и сначала отправила зонд для ее исследования. Ценная информация могла бы быть отправлена с зонда еще до пересечения им горизонта событий и потери связи. (Путешествие за горизонт событий, скорее всего, окажется смертельным из-за жесткого радиационного поля, окружающего его. Лучи света, падающие на черную дыру, приобретают синее смещение и потому при приближении к центру будут обладать большей энергией.) Любой зонд, проходящий рядом с горизонтом событий, должен быть снабжен соответствующей защитой против этого барьера жесткой радиации. Кроме того, это может дестабилизировать саму черную дыру и горизонт событий превратится в сингулярность, тем самым закрывая портал. Зонд определил бы точный уровень радиации вблизи горизонта событий, а также то, может ли портал-червоточина оставаться стабильным, несмотря на весь этот поток энергии.

До момента пересечения зондом горизонта событий он должен передать собранные им данные на расположенные неподалеку космические корабли, но тут кроется еще одна проблема. Наблюдателю на каком-то из этих космических кораблей казалось бы, что зонд замедляется во времени при приближении к горизонту событий, после пересечения которого он, в сущности, казался бы застывшим во времени. Чтобы избежать этой проблемы, зондам необходимо было бы передать собранную информацию еще на каком-то расстоянии от горизонта событий, иначе радиосигналы были бы настолько искажены красным смещением, что прочесть данные было бы невозможно.

Шаг четвертый: построить медленно движущуюся черную дыру

После того как при помощи зондов удастся определить параметры у горизонта событий черных дыр, следующим шагом могло бы стать создание медленно движущейся черной дыры для эксперименталь-

ных целей. Цивилизация третьего типа могла бы попытаться воспроизвести результаты, полученные Эйнштейном, — а именно, что черные дыры не могут образоваться из кружащейся массы пыли и частиц, — и воспользоваться ими.

Эйнштейн пытался показать, что скопление вращающихся частиц не сможет достичь радиуса Шварцшильда само по себе (а потому существование черных дыр невозможно). Сами по себе кружащиеся массы могут и не сжаться в черную дыру, однако остается возможность (не забудем, что речь идет о цивилизации типа III) искусственного медленного вливания новой энергии и вещества во вращающуюся систему, что заставит массы постепенно сжаться и пересечь радиус Шварцшильда. Таким способом цивилизация могла бы управлять процессом образования черной дыры.

Например, можно представить, что цивилизация третьего типа соберет нейтронные звезды размером с Манхэттен, а массой с наше Солнце и образует вращающееся скопление этих мертвых звезд. Постепенно звезды притянутся друг к другу. Однако, как показал Эйнштейн, они никогда не пересекут радиус Шварцшильда. В этот момент ученые этой высокоразвитой цивилизации могут осторожно добавить новые нейтронные звезды в это скопление. Этого может оказаться достаточно, чтобы нарушить баланс, что вынудит эту вращающуюся массу нейтронного вещества сжаться до размеров меньше радиуса Шварцшильда. В результате этого скопление звезд сожмется во вращающееся кольцо, черную дыру Керра. Управляя скоростью и радиусами различных нейтронных звезд, такая цивилизация могла бы заставить черную дыру Керра вращаться настолько медленно, насколько она пожелает.

Или же высокоразвитая цивилизация могла бы попытаться собрать небольшие нейтронные звезды в единое неподвижное скопление, масса которого превысила бы три солнечных, что приблизительно составляет предел Чандрасекара для нейтронных звезд. Перейдя этот предел, звезда взорвется под воздействием собственной гравитации. (Высокоразвитой цивилизации придется быть очень осторожной, чтобы в процессе создания черной дыры не произошел взрыв сверхновой. Сжатие черной дыры должно будет осуществляться постепенно и с высокой точностью.)

Конечно же, для любого, кто пересечет горизонт событий, это гарантированно станет путешествием в один конец. Но для высоко-развитой цивилизации, столкнувшейся с угрозой неминуемого вымирания, путешествие в один конец может оказаться единственным выходом. Кроме того, при пересечении горизонта событий все еще остается проблема радиации. Световые лучи, следующие за нами за горизонт событий, набирают все больше энергии, и частота их все увеличивается. Весьма вероятно, что это вызвало бы радиационный дождь, который оказался бы смертельным для любого астронавта, прошедшего за горизонт событий. Любой высокоразвитой цивилизации придется вычислить точный уровень этой радиации и создать соответствующую защиту, чтобы не оказаться зажаренными.

И наконец, есть проблема стабильности: будет ли портал в центре Керрова кольца достаточно стабилен, чтобы можно было совершить полный переход? Математика данного вопроса не совсем ясна, поскольку для совершения правильного подсчета нам пришлось бы обратиться к квантовой теории гравитации. Может оказаться, что Керрово кольцо сохраняет стабильность лишь в весьма жестком диапазоне параметров при падении вещества в черную дыру. Этот вопрос требует внимательного рассмотрения при помощи математики квантовой гравитации и экспериментов на самой черной дыре.

В целом, переход через черную дыру несомненно окажется очень трудным и опасным путешествием. Теоретически нельзя исключать такую возможность до того, как будут проведены всесторонние эксперименты и выполнен правильный расчет всех квантовых поправок.

Шаг пятый: создание дочерней вселенной

Итак, до сих пор мы предполагали, что проход сквозь черную дыру возможен. Теперь давайте выдвинем обратное предположение: что черные дыры нестабильны, а уровень смертоносной радиации будет слишком высок. В таком случае можно будет попытаться пойти по еще более трудному пути — создать дочернюю вселенную. Концепция высокоразвитой вселенной, создающей люк аварийного выхода в другую цивилизацию, заинтриговала такого физика, как

Алан Гут. Поскольку теория инфляционного расширения в столь значительной мере основывается на создании ложного вакуума, Гут задался вопросом: сможет ли высокоразвитая цивилизация искусственно создать ложный вакуум и сотворить дочернюю вселенную в лаборатории.

На первый взгляд сама идея создания вселенной кажется абсурдной. В конце концов, как указывает Гут, для создания вселенной потребовались бы фотоны, электроны, позитроны, нейтрино, антинейтрино, протоны и нейтроны — каждая частица в количестве 10^{89} штук. Хотя задача на первый взгляд, выглядит нереальной, Гут напоминает нам, что, несмотря на то, что вещественно-энергетическое содержание вселенной довольно велико, оно уравновешено отрицательной энергией гравитации. Общее количество вещества/энергии может равняться и одной унции (28,3 граммам. — *Прим. перев.*). Гут предостерегает: «Означает ли это, что законы физики действительно позволяют нам создать новую вселенную по своей воле? Если бы мы попытались выполнить этот рецепт, то, к несчастью, столкнулись бы с досадным препятствием: поскольку сфера ложного вакуума диаметром в 10^{26} сантиметров обладает массой в одну унцию, ее плотность просто феноменальна и составляет 10^{80} граммов на кубический сантиметр!.. Если массу всей видимой вселенной сжать до плотности ложного вакуума, то размером она будет меньше атома!» Ложный вакуум был бы малой областью пространства-времени, где возникшая нестабильность привела к разрыву континуума. Для создания дочерней вселенной может понадобиться всего лишь несколько унций вещества в условиях ложного вакуума, но это небольшое количество вещества нужно сжать до фантастически малых размеров.

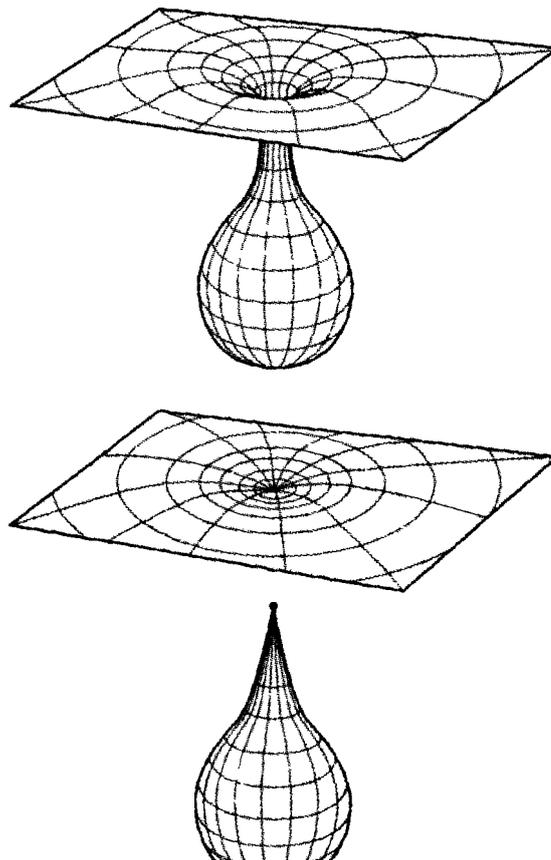
Могут быть и другие способы создания дочерней вселенной. Один из них состоит в разогревании малой области пространства до 10^{29} градусов Кельвина, а затем стремительном ее охлаждении. Предполагается, что при такой температуре пространство-время становится нестабильным; может начаться формирование крошечных пузырьков-вселенных и, возможно, образуется ложный вакуум. При такой температуре крошечные вселенные, которые непрерывно образуются и «лопаются», могут стать настоящими вселенными. Это явление уже знакомо по обычным электрическим полям. (Например,

если мы создадим достаточно сильное электрическое поле, виртуальные пары электронов и позитронов, постоянно появляющихся и исчезающих в вакууме, могут внезапно стать реальными, появившись словно бы ниоткуда. Таким образом, концентрация энергии в пустом пространстве может трансформировать виртуальные частицы в реальные. Подобным образом, если направить в одну точку достаточную энергию, очень может быть, виртуальные дочерние вселенные станут реальными, появившись словно бы ниоткуда.)

Если мы предположим, что действительно можно получить такую невероятную плотность или температуру, то образование дочерней вселенной может выглядеть следующим образом. В нашей вселенной для сжатия и разогрева крошечного количества вещества до фантастически высоких энергий и температур могут послужить лазерные лучи и лучи частиц. Мы бы никогда не увидели, как начинает образовываться дочерняя вселенная, поскольку она расширяется на «другой стороне» сингулярности, а не в нашей вселенной. Эта альтернативная дочерняя вселенная потенциально расширилась бы в гиперпространстве благодаря своей собственной силе антигравитации и «отпочковалась» бы от нашей вселенной. Таким образом, мы никогда не станем свидетелями того, как новая вселенная будет образовываться на другой стороне сингулярности. Но портал-червоточина, подобно пуповине, соединяет нас с дочерней вселенной.

Однако в создании вселенной в жару печи кроется определенная опасность. Пуповина, соединяющая нашу вселенную с дочерней, в конечном счете испарится и создаст излучение Хокинга, эквивалентное ядерному взрыву в 500 килотонн, что приблизительно в 25 раз превосходит хиросимскую бомбу. Так что за создание новой вселенной в печи предстоит заплатить свою цену.

Последней проблемой в этом сценарии с созданием ложного вакуума является то, что новая вселенная может легко коллапсировать в черную дыру, что, как мы помним, окажется смертельным. Причиной тому есть теорема Пенроуза, которая гласит, что при развитии событий по многим сценариям любое достаточно большое скопление массы неминуемо коллапсирует в черную дыру. Поскольку уравнения Эйнштейна инвариантны относительно времени, то есть могут выполняться как по его ходу, так и против, это означает, что любое выпадение вещества в дочернюю вселенную может быть реверсиро-



Высокоразвитая цивилизация может искусственно создать дочернюю вселенную несколькими способами. Небольшое количество вещества можно либо сжать до невероятно высокой плотности и энергий, либо разогреть до температуры, близкой к температуре Планка.

вано во времени, в результате чего образуется черная дыра. Таким образом, создание дочерней вселенной должно проводиться с большой осторожностью, чтобы избежать условий, при которых вступает в силу теорема Пенроуза.

Теорема Пенроуза основывается на предположении о том, что энергия падающего в черную дыру вещества положительна (так же как и энергия мира, который мы видим вокруг нас). Однако теорема

нарушается при введении отрицательной энергии или отрицательного вещества. Так, даже в теории инфляционного расширения нам (так же как и в случае с порталом-червоточиной) необходима отрицательная энергия.

Шаг шестой: создание гигантских ускорителей частиц

Каким же образом мы посуруем машину, способную покинуть нашу вселенную в условиях неограниченного доступа к высоким технологиям? В какой момент мы можем надеяться обуздать мощь энергии Планка? К тому времени, когда цивилизация достигнет статуса третьего типа, она по определению будет обладать достаточной мощью, чтобы управлять энергией Планка. Ученые смогли бы играть с порталами-червоточинами и собрать достаточно энергии, чтобы открывать проходы в пространстве и времени.

Существует несколько путей, которыми может пойти высокоразвитая цивилизация. Как я уже упоминал, наша вселенная может быть мембраной, на расстоянии всего лишь одного миллиметра от которой существует другая вселенная, парящая в гиперпространстве. Если это так, то при помощи Большого адронного коллайдера, возможно, удастся зафиксировать ее присутствие. К тому времени, когда мы совершим переход к цивилизации первого типа, у нас, возможно, даже появится технология для исследования природы этой вселенной-соседки. Поэтому концепция установления контакта с параллельной вселенной может оказаться вовсе не такой уж притянутой за уши.

Но предположим худший вариант развития событий, когда энергия возникновения квантовых гравитационных эффектов *и есть* энергия Планка, которая в квадриллион раз превосходит энергию Большого адронного коллайдера. Для исследования энергии Планка цивилизации третьего типа понадобится создать ускоритель частиц звездных масштабов. В ускорителях частиц субатомные частицы путешествуют по узкому туннелю. По мере того, как в туннель поступает все больше и больше энергии, частицы ускоряются до высоких энергий. Если мы воспользуемся гигантскими магнитами для искривления пути частиц и превращения его в круг, то частицы можно ускорить до триллионов электронвольт энергии. Чем больше радиус

окружности, тем выше энергия пучка. Диаметр Большого адронного коллайдера составляет 27 километров, что дает как раз верхний предел энергии, доступной цивилизации типа 0,7.

Но у цивилизации третьего типа появляется возможность создания ускорителя частиц размером с солнечную или даже звездную систему. Предполагается, что высокоразвитая цивилизация могла бы запустить пучок субатомных частиц в открытый космос и ускорить их до энергии Планка. Как мы помним, с приходом нового поколения лазерных ускорителей частиц за несколько десятилетий физики могут создать настольный ускоритель, способный достичь 200 ГэВ (200 миллиардов электронвольт) на расстоянии в один метр. При последовательном расположении этих ускорителей один за другим, возможно, получится достичь энергий, при которых пространство-время теряет стабильность.

Если мы предположим, что будущие ускорители частиц смогут разогнать их только на 200 ГэВ за метр, что само по себе является довольно сдержанным предположением, то для того, чтобы достичь энергии Планка, нам понадобился бы ускоритель частиц длиной в 10 световых лет. Хотя такие размеры невероятно велики для цивилизаций первого и второго типа, они вполне в пределах досягаемости цивилизации третьего типа. Для того чтобы построить ускоритель частиц таких колоссальных размеров, цивилизация третьего типа могла бы либо загнуть путь, по которому должны проходить частицы, в окружность, тем самым значительно сэкономя пространство, либо оставить путь прямым — тогда он протянется намного дальше ближайшей звезды.

Для примера, можно было бы построить ускоритель частиц, который разгоняет субатомные частицы по окружности внутри пояса астероидов. Тогда не пришлось бы конструировать дорогостоящие туннели, поскольку вакуум открытого космоса лучше любого вакуума, который мы можем создать на Земле. Но все же на далеких лунах и астероидах в Солнечной системе или в различных звездных системах пришлось бы построить гигантские магниты, расположенные с равными интервалами, которые от одного к другому изгибали бы направление движения пучка.

При приближении пучка к луне или астероиду гигантские магниты, расположенные на этой луне, притянули бы пучок, слегка

изменяя направление его движения. (Кроме того, лунные или астероидные станции должны будут производить новую фокусировку пучка, поскольку на столь далеких расстояниях он будет постепенно расходиться.) Пройдя мимо нескольких лун, пучок постепенно прижмет форму дуги. В конечном счете он будет путешествовать по почти правильной окружности. Теперь можно представить себе два пучка, несущихся по этой окружности навстречу друг другу, один по часовой стрелке, а другой — против. При столкновении двух пучков энергия, выделившаяся из вещества/антивещества, приблизилась бы к энергии Планка. (Можно подсчитать, что магнитные поля, необходимые для искривления такого мощного пучка, и во сне не виделись нашим современным технологиям. Однако весьма вероятно, что высокоразвитая цивилизация использует взрывчатые вещества для того, чтобы послать через катушки мощную волну энергии для создания гигантского магнитного импульса. Этот титанический выброс энергии будет одноразовым, поскольку, вероятнее всего, он уничтожит катушки; поэтому магниты должны быть быстро заменены, прежде чем пучок частиц возвратится для следующего прохода по кругу.)

Не говоря уже об ужасно сложных инженерных проблемах, с которыми придется столкнуться при постройке такого ускорителя частиц, остается еще довольно скользкий вопрос: существует ли предел энергии, набираемой пучком частиц? Любой энергетический пучок частиц в конце концов сталкивается с фотонами, из которых состоит фоновое излучение (с температурой 2,7 градуса), и потому потеряет энергию. Теоретически это может высосать из пучка так много энергии, что возникнет своеобразный потолок энергии, который нельзя превысить в открытом космосе. Этот результат еще не был проверен экспериментально. (В сущности, есть указания на то, что энергетика столкновений космических лучей превышает этот максимальный уровень, что ставит под сомнения все вычисления.) Однако если это правда, то понадобится еще более дорогостоящая модификация аппарата. Во-первых, можно заключить весь пучок в вакуумный туннель с защитой, чтобы не допустить воздействия фонового излучения. Или же, в случае если эксперимент будет проводиться в далеком гоудушем, возможно, что фоновое излучение снизится настолько, что уже не будет представлять проблему.

Шаг седьмой: создание взрывных механизмов

Можно также представить себе еще одно устройство, принцип работы которого основан на лазерных лучах и взрывных механизмах. В природе невероятно высокие температуры и давления достигаются при помощи взрывов, к примеру когда умирающая звезда внезапно коллапсирует под действием силы гравитации. Это возможно благодаря тому, что гравитация только притягивает, а не отталкивает, и потому коллапс происходит однородно и звезда сжимается равномерно до невероятных плотностей.

Такой взрывной метод очень сложно воссоздать на Земле. Для примера, водородные бомбы требуют точности, не уступающей швейцарским часам, чтобы дейтерид лития, активный компонент водородной бомбы, оказался сжат и разогрелся до десятков миллионов градусов, создавая условия, удовлетворяющие критерию Лоусона, при которых начинается процесс синтеза. (Это достигается путем взрыва атомной бомбы рядом с дейтеридом лития, а затем равномерного распределения рентгеновского излучения по поверхности куска дейтерида лития.) Однако в ходе такого процесса энергия выделяется путем неконтролируемого взрыва.

В условиях Земли ни одна из попыток использования магнетизма для сжатия обогащенного водорода не увенчалась успехом, в основном, потому, что магнитные силы не сжимают газ равномерно. Монополя в природе мы никогда не наблюдали; соответственно, магнитные поля биполярны, как и магнитное поле Земли. В результате этого они чрезвычайно неравномерны. Применение их для сжатия газа подобно попыткам сжать в руках воздушный шарик. Всякий раз, когда вы сжимаете его с одного края, второй раздувается.

Еще одним способом управления синтезом могло бы стать использование системы лазеров, расположенных по поверхности сферы таким образом, чтобы они могли одновременно ударить в крошечную частицу дейтерида лития в центре. Например, в Ливерморской национальной лаборатории есть мощная лазерная установка для синтеза, используемая для моделирования ядерного оружия. В ней ряд лазерных лучей горизонтально проходит по туннелю. Затем зеркала, расположенные в конце туннеля, отражают каждый луч таким образом, что все лучи радиально направляются на крошечный кусо-

чек вещества. Поверхность этого кусочка немедленно испаряется, в результате чего он взрывается и создаются невероятно высокие температуры. Таким образом, в действительности синтез происходит внутри кусочка вещества (хотя установка потребляет больше энергии, чем создает, а следовательно, является коммерчески нежизнеспособной).

Подобным образом можно представить, что цивилизация третьего типа построит батареи лазеров на астероидах и лунах различных звездных систем. Такая батарея лазеров выстрелила бы одновременно, выпустив ряд мощных лучей, сходящихся в одной точке, что создало бы температуры, при которых пространство и время стали бы нестабильными.

В теории предела количества энергии, которую можно поместить в лазерный луч, не существует. Однако при создании чрезвычайно мощных лазеров возникают проблемы практического характера. Одной из основных проблем является стабильность излучающего вещества, которое часто перегревается и разрушается при высоких энергиях. (Эту проблему можно преодолеть, используя для генерации лазерного луча силу одноразового взрыва, такого, как ядерный.)

Цель выстрела из такой группы сферически расположенных лазеров заключается в разогревании камеры, чтобы внутри создавался ложный вакуум, или же во взрыве и сжатии серии пластин для создания отрицательной энергии с помощью эффекта Казимира. Для создания такого приспособления с отрицательной энергией необходимо сжать набор сферических пластин до размеров длины Планка (10^{33} см). Поскольку расстояние между атомами составляет 10^8 см, а расстояние между протонами и нейтронами в ядре — 10^{13} см, ясно, что сжатие пластин должно быть колоссальным. Поскольку общая мощность, которую можно собрать в лазерном луче, в принципе не ограничена, основной проблемой становится создание устройства, которое обладает достаточной стабильностью, чтобы выдержать это невероятное сжатие. (Поскольку эффект Казимира создает между пластинами чистое притяжение, необходимо также сообщить пластинам заряд, чтобы предотвратить их коллапсирование.) В принципе, внутри сферических оболочек должен образоваться портал-червоточина, который соединит нашу умирающую вселенную с намного более молодой и горячей вселенной.

Шаг восьмой: построение гиперпространственного двигателя

Ключевой элемент для сборки описанных выше устройств — это возможность путешествий на далекие межзвездные расстояния. Один из возможных вариантов заключается в использовании машины времени Алькубьерре, в основе действия которой лежит принцип искривления пространства. Принцип этой машины был впервые описан физиком Мигелем Алькубьерре в 1994 году. Такая машина не изменяет топологию пространства — создавая дыру а затем совершая скачок в гиперпространство. Она просто сжимает то пространство, что находится перед вами, и растягивает то, что находится позади вас. Представьте, что вы идете к столу по ковру. Вместо того чтобы подходить к столу, можно набросить на него петлю и потихоньку подтянуть его к себе, что заставит ковер перед вами смяться. Таким образом, вы практически не сдвинетесь с места, зато пространство перед вами сожмется.

Вспомним о том, что само пространство может расширяться быстрее света (поскольку при расширении пустого пространства не передается никакой информации). Подобным образом может оказаться возможным путешествие со сверхсветовыми скоростями и путем сжатия пространства с такой скоростью. В сущности, совершая путешествие к близлежащей звезде, мы можем выйти совсем недалеко за пределы Земли; мы просто сожмем пространство впереди нас и расширим его позади нас. Вместо того чтобы лететь к Альфа Центавра, ближайшей к нам звезде, мы можем подтянуть ее к нам.

Алькубьерре показал, что это весьма жизнеспособное решение уравнений Эйнштейна, то есть оно не противоречит законам физики. Но за все нужно платить: чтобы обеспечить энергией свой космический корабль, вам понадобились бы колоссальные количества как положительной, так и отрицательной энергии. (Положительную энергию можно было бы использовать для сжатия пространства перед вами, а отрицательную — для удлинения расстояний позади.) Для того чтобы возник эффект Казимира и образовалась эта отрицательная энергия, пластинки должны находиться на расстоянии длины Планка друг от друга. Этот показатель слишком мал, чтобы мы могли достичь его, используя имеющиеся в нашем распоряжении

средства. Чтобы создать такой корабль, нужно построить большую сферу и посадить внутрь пассажиров. По бокам этой сферы вдоль экватора необходимо было бы пустить кольцо отрицательной энергии. Пассажиры внутри сферы так и не сдвинутся с места, зато пространство впереди сферы будет сжиматься быстрее скорости света, так что, выйдя из сферы, пассажиры уже достигнут близлежащей звезды.

В своей статье Алькубьерре показал, что его решение **Могло** бы не только отправить нас к звездам, но и помочь реализовать путешествия во времени. Спустя два года физик Аллен Эверетт показал, что при наличии двух таких космических кораблей путешествие во времени было бы возможно — в результате двух таких последовательных деформаций пространства. Как говорит принстонский физик Готт, «таким образом, выходит, что Джин Родденберри, создатель «Стар Трека», был совершенно прав, включив все эти эпизоды с путешествиями во времени!»

Однако более поздний анализ, проведенный русским физиком Сергеем Красниковым, выявил в этом решении технический дефект. Он показал, что внутренняя часть пространства корабля не соединена с пространством вне корабля, а потому послания не могут пересечь границу, то есть, оказавшись внутри корабля, вы уже не сможете изменить его маршрут. Маршрут должен быть заложен перед полетом. Это весьма неутешительно. Иными словами, вы не сможете просто повернуть руль и взять курс на ближайшую звезду. Но все же это означает, что такой теоретический космический корабль мог бы стать своего рода железной дорогой к звездам, некой межзвездной системой, в которой космические корабли следуют строго по расписанию. Так, можно построить станции, расположенные между звездами с определенным интервалом. А затем наш космический корабль сможет путешествовать между этими станциями на сверхсветовых скоростях по расписанию, то есть со строго определенным временем прибытия и отправления.

Готт пишет: «Будущая сверхцивилизация может захотеть построить такие пути, опираясь на искривление пространства, для путешествий с помощью космических кораблей, точно так же, как организовать межзвездную связь при помощи порталов-червоточин. Может оказаться, что сеть маршрутов на основе искривления пространства создать даже легче, чем порталы, поскольку для прокладки

таких маршрутов потребуется лишь изменить существующее пространство, а не создавать новые дыры, соединяющие далекие друг от друга области».

Но именно потому, что такой космический корабль может быть использован для передвижений по существующей вселенной, он не годится для того, чтобы с его помощью эту вселенную покинуть. И тем не менее механизм, предложенный Алькубьерре, может оказаться полезным при создании устройства, при помощи которого можно покинуть вселенную. Такой космический корабль мог бы пригодиться, к примеру, при создании сталкивающихся космических струн, упоминавшихся Готтом, которые могут унести высокоразвитую цивилизацию обратно в ее собственное прошлое, когда вселенная была намного теплее.

Шаг девятый: использование отрицательной энергии сжатых звезд

В пятой главе я упоминал о том, что лазерные лучи могут создавать «сжатые состояния», а их можно использовать для генерирования отрицательной энергии, которая, в свою очередь, может быть применена для открытия и стабилизации порталов. Когда мощный лазерный импульс ударяет по особому оптическому материалу, вследствие удара создаются пары фотонов. Эти фотоны попеременно то усиливают, то снижают квантовые флуктуации вакуума, выделяя импульсы как положительной, так и отрицательной энергии. Сумма двух этих энергетических импульсов всегда сводится к положительной энергии, то есть мы не нарушаем известных законов физики.

В 1978 году Лоуренс Форд из университета Тафта вывел и доказал три закона, которым должна подчиняться такая отрицательная энергия. С момента своего появления и по сей день эти законы остаются предметом активных исследований. Во-первых, Форд обнаружил, что количество энергии в импульсе обратно пропорционально его пространственной и временной величине — то есть чем сильнее импульс отрицательной энергии, тем меньше он длится. Поэтому если при помощи лазера мы создадим сильную вспышку отрицательной энергии для того, чтобы открыть портал, он может оставаться откры-

тым в течение лишь очень короткого времени. Во-вторых, за отрицательным импульсом всегда следует импульс положительной энергии большей силы (то есть сумма все равно будет положительной). В-третьих, чем дольше интервал между этими двумя импульсами, тем большим окажется положительный импульс.

Руководствуясь этими общими законами, можно рассчитать условия, при которых лазер или пластины Казимира смогут генерировать отрицательную энергию. Во-первых, можно было бы попытаться отделить импульс отрицательной энергии от последующего импульса положительной энергии путем свечения лазерным лучом в коробку, а затем немедленного закрытия крышки после прохождения в нее импульса отрицательной энергии. В результате в коробку попадет только импульс отрицательной энергии. В принципе, таким путем можно получить колоссальные количества отрицательной энергии, за которыми последуют еще большие импульсы положительной энергии (но их не пустит в коробку закрытая крышка). Интервал между двумя импульсами может быть довольно долгим, поскольку энергия положительного импульса высока. Теоретически кажется, что это идеальный способ сгенерировать неограниченные количества отрицательной энергии, необходимые для машины времени или портала. К несчастью, есть одна загвоздка. Сам акт закрытия крышки создает второй импульс положительной энергии внутри коробки. Если не принять чрезвычайных мер предосторожности, импульс отрицательной энергии внутри коробки сотрется. Этот вопрос — отделение мощного импульса отрицательной энергии от последующего импульса положительной энергии таким образом, чтобы не уничтожился импульс отрицательной энергии, — останется технологической Проблемой для высокоразвитой цивилизации будущего. Эти три закона могут быть применены для эффекта Казимира. Если мы хотим создать портал метром в диаметре, то необходимо располагать отрицательной энергией, сконцентрированной в кольце размером не более 10^{22} метра (миллионная часть протона). И снова лишь чрезвычайно высокоразвитая цивилизация может оказаться способной создать технологию, необходимую для управления такими невероятно малыми расстояниями или невероятно малыми интервалами времени.

Шаг десятый:

дождаться квантовых переходов

Как мы уже видели в главе 10, в условиях угрозы постепенного остывания вселенной разумные существа могут начать думать более медленно и бездействовать в течение долгих периодов времени. Этот процесс замедления процессов мышления может продолжаться триллионы и триллионы лет, чего будет вполне достаточно для того, чтобы произошли квантовые события. В нормальных условиях можно пренебречь спонтанным образованием вселенных-пузырьков и переходами в другие квантовые вселенные, поскольку это события чрезвычайно редкие. Однако на пятом этапе разумные существа могут мыслить настолько медленно, что такие квантовые события станут чуть ли не рядовыми. В рамках субъективного времени этих существ уровень их мышления может казаться им совершенно нормальным, даже если настоящие временные масштабы увеличатся настолько, что квантовые события станут весьма распространенными случаями.

Если дело обстоит именно таким образом, то для того, чтобы убежать в другую вселенную, этим существам придется всего лишь подождать до тех пор, пока не появятся порталы и не произойдут квантовые переходы. (Хотя с точки зрения таких существ квантовые переходы могут казаться обычным делом, проблема в том, что они совершенно непредсказуемы; было бы весьма сложно совершить переход в другую вселенную, не зная, где именно откроется портал и куда он ведет. Этим существам привелось бы воспользоваться возможностью покинуть нашу вселенную сразу же, как только открылся бы портал, еще до того, как они смогут полностью изучить все его свойства.)

Шаг одиннадцатый: последняя надежда

Представим на секунду, что все будущие эксперименты с порталами и черными дырами столкнутся с непреодолимой, казалось бы, трудностью: единственные стабильные порталы микроскопически малы — вплоть до субатомных размеров. Представим, что в ходе реального путешествия через портал наши тела могут испытывать недопусти-

мое давление даже в том случае, если мы будем находиться внутри защитного корабля. Различные препятствия, такие, как интенсивные приливные силы, поля излучения, падающие обломки небесных тел, могут оказаться смертельными. Если дело обстоит именно так, то у будущей разумной жизни на нашей планете останется только один вариант: «впрыснуть» достаточно информации в новую вселенную, чтобы воссоздать нашу цивилизацию по ту сторону портала.

В природе, когда живые организмы попадают в условия враждебной окружающей среды, они иногда изобретают хитрые способы выживания. Часть млекопитающих впадает в спячку. В крови некоторых рыб и лягушек циркулируют вещества, похожие на антифриз, что позволяет им оставаться живыми при замораживании. Грибы продолжают род, образуя споры. Подобным образом и люди могли бы найти способ изменить свое физическое состояние, чтобы пережить переход в другую вселенную.

Возьмем, скажем, клен, который разбрасывает свои крошечные семена во всех направлениях: а) семена эти маленькие, упругие и компактные; б) в них хранится вся ДНК-информация дерева; в) они спроектированы таким образом, чтобы пролететь определенное расстояние от материнского дерева; г) в них содержится достаточно питательных веществ для начала процесса регенерации при падении на землю; д) когда упадут, они пускают корни, потребляя питательные вещества и энергию из почвы, живя за ее счет. Подобным образом и цивилизация может попытаться симитировать действия природы и отправить свои «семена» сквозь портал, используя самую совершенную нанотехнологию, которая только будет доступна через миллиарды лет, для того, чтобы скопировать каждое из этих важных свойств. Стивен Хокинг сказал: «Кажется... что квантовая теория допускает путешествия во времени на микроскопической основе». Если Хокинг прав, то члены высокоразвитой цивилизации могли бы принять решение изменить свое физическое существование, приняв такую форму, которая могла бы выдержать тяжелое путешествие назад во времени или в другую вселенную (путем слияния углерода и кремния и сведения своего сознания к чистой информации). В конечном счете, наши построенные на основе углерода тела могут быть слишком хрупкими объектами для физических трудностей такого путешествия. В далеком будущем мы можем оказаться способны соединить

свое сознание с нашими робототехническими достижениями при помощи передовой ДНК-инженерии, нанотехнологии и робототехники. По современным меркам это может звучать весьма странно, но цивилизация, отстоящая от нашей на миллиарды и триллионы лет, может обнаружить, что это единственный способ выжить.

Разумным существам того времени может понадобиться срастить свои мозги и личности с машинами. Это можно сделать несколькими способами. Одним из них является создание сложной компьютерной программы, которая смогла бы имитировать все наши процессы мышления, то есть в ней содержалась бы личность, идентичная нашей. Более сложный способ описывает Ханс Моравек из Университета Карнеги-Меллона. Этот ученый утверждает, что в далеком будущем мы сможем нейрон за нейроном воспроизвести всю структуру нашего мозга на кремниевых транзисторах. Каждое нервное соединение в мозгу заменится соответствующим транзистором, который будет дублировать функцию этого нейрона внутри робота.

Поскольку приливные силы и поля излучения, скорее всего, будут весьма интенсивными, будущим цивилизациям придется взять с собой абсолютный минимум топлива, защиты и питательных веществ, необходимый для воссоздания нашего вида по ту сторону портала. При помощи нанотехнологии может оказаться возможным отправлять микроскопические цепи через портал в устройстве не больше клетки размером.

Если портал будет очень маленьким, в масштабах атома, то ученым придется отправить большие нанотрубки, собранные из отдельных атомов, в которых будет закодировано количество информации, достаточное для воссоздания всего нашего вида по ту сторону портала. Если портал будет размером всего лишь с субатомную частицу, то ученым придется найти способ отправки через портал ядер, которые по выходе из портала захватят электроны и сами собой реконструируются в атомы и молекулы. Если даже портал будет еще меньше, то, возможно, для отправки сложных кодов через портал можно использовать лазеры, испускающие рентгеновские лучи или гамма-лучи с малой длиной волны. В этих кодах будут содержаться инструкции для воссоздания цивилизации по ту сторону портала.

Цель такой передачи заключается в том, чтобы по ту сторону портала сконструировать микроскопического «нанобота», миссия

которого будет заключаться в том, чтобы найти подходящую среду, в условиях которой могла бы быть регенерирована наша цивилизация.

Поскольку это устройство будет иметь микроскопические размеры, ему не понадобятся огромные ракеты-ускорители или большое количество топлива для того, чтобы обнаружить подходящую планету. В сущности, нанобот может легко достичь околосветовой скорости, поскольку разогнать субатомные частицы до таких скоростей относительно легко при помощи электрических полей. Кроме того, этому устройству не потребуется система жизнеобеспечения и другие громоздкие запчасти, поскольку основной составляющей нанобота является чистейшая информация, необходимая для регенерации нашей расы.

Когда нанобот обнаружит новую планету, он при помощи доступного сырья построит большую фабрику для размножения копий самого себя, а также создаст большую лабораторию клонирования. Необходимые цепочки ДНК могут производиться прямо в этой лаборатории, а затем вводиться в клетки для начала процесса регенерации целых организмов и в конечном счете — всего вида. Затем эти клетки будут выращены в лабораториях до взрослых существ, несущих в себе изначально заложенные память и личность людей.

В некотором смысле этот процесс будет напоминать введение нашей ДНК (всего информационного содержимого цивилизации типа III и выше) в «яичную скорлупу», содержащую генетические инструкции, при помощи которых возможно воссоздание зародыша по ту сторону. «Яйцо с удобрениями» будет компактным, прочным и мобильным, содержа при этом весь объем информации, необходимый для воссоздания цивилизации третьего типа. В обычной человеческой клетке содержится всего лишь 30 000 генов, организованных в 3 миллиарда базовых пар, однако этого кусочка сжатой информации достаточно для воссоздания целостного человеческого существа, при помощи ресурсов, не содержащихся в сперме (питание, предоставляемое матерью). Подобным образом и «космическое яйцо» будет содержать количество информации, необходимое для воссоздания высокоразвитой цивилизации; ресурсы для этого (сырье, растворители, металлы и так далее) будут изыскиваться уже на той стороне. Таким путем высокоразвитая цивилизация, подобная цивилизации типа III (Q), сможет воспользоваться своей про-

грессивной технологией для отправки сквозь портал достаточного количества информации (около 10 бит), чтобы там воссоздать эту цивилизацию.

Позвольте подчеркнуть, что каждый из перечисленных мною шагов этого процесса лежит настолько далеко за пределами возможностей современной цивилизации, что, должно быть, это похоже на научную фантастику. Но спустя миллиарды лет может случиться так, что именно в этих действиях будет заключаться единственный путь спасения цивилизации типа III (Q), столкнувшейся с угрозой вымирания. Безусловно, это не противоречит никаким законам физики или биологии. Моя точка зрения такова: окончательная смерть вселенной совершенно не обязательно означает смерть разумной жизни. Конечно же, если перенос разумной жизни из одной вселенной в другую возможен, то существует вероятность и того, что жизненная форма из другой вселенной, которой грозит Большое Охлаждение, может попытаться открыть портал в какую-нибудь отдаленную часть нашей собственной вселенной, которая представится ей более теплой и гостеприимной.

Иными словами, вместо того чтобы быть бесполезной, но изящной диковинкой, единая теория поля может в конечном счете стать программой выживания разумной жизни во вселенной.

ГЛАВА 12

За пределами Мультивселенной

Библия учит нас, как попасть на небеса, а не как они устроены.

Кардинал Бароний
(слова, процитированные Галилеем во время суда)

Почему существует скорее все, нежели ничего? Волнение, благодаря которому не останавливаются вечно идущие часы метафизики, состоит в мысли о том, что несуществование мира так же возможно, как и его существование.

Уильям Джеймс

Самый прекрасный опыт, какой мы только можем испытать, — это опыт ощущения тайны. Это фундаментальное чувство, которое стоит у истоков подлинного искусства и подлинной науки. Любой, кому это чувство незнакомо и кто не может больше задаваться вопросами, не может восхищаться, все равно что мертв, и глаза его застилают туман.

Альберт Эйнштейн

В 1863 году Томас Хаксли писал: «Вопрос из всех вопросов для человечества, проблема, лежащая под поверхностью всех остальных и более интересная, чем любая из них, состоит в определении места человека в Природе и его отношения к Космосу».

Хаксли был известен как «бульдог Дарвина», то есть как человек, который рьяно отстаивал теорию эволюции в условиях глубоко консервативной викторианской Англии. В английском обществе

господствовало убеждение в том, что человечество гордо стоит в самом центре мироздания; не только Солнечная система была центром вселенной, но и само человечество считалось главным достижением творения Бога, вершиной его божественной созидательной деятельности. Бог создал нас по своему собственному подобию.

Открыто выступив против этой религиозной ортодоксальности, Хаксли вынужден был защищать теорию Дарвина от нападок религиозной организации и тем самым способствовать формированию более научного подхода к пониманию нашей роли в древе жизни. Сегодня мы признаем, что гиганты науки Ньютон, Дарвин и Эйнштейн проделали колоссальную работу, способствуя определению нашего места в космосе.

Каждый из них пытался преодолеть теологические и философские импликации своей работы по определению нашей роли во вселенной. В заключении к «Началам» Ньютон заявляет: «Самая прекрасная система Солнца, планет и комет может происходить лишь из мысли и веления разумного и могущественного Существа». Если сам Ньютон открыл законы механики, то должен же существовать и божественный законодатель.

Эйнштейн также был убежден в существовании того, кого он называл Стариной, но тот не вмешивался в человеческие дела. Целью Эйнштейна было не восхвалять Господа, а «прочитать Его замысел». Эйнштейн говаривал: «Я хочу знать, как Бог создал этот мир. Мне неинтересно то или иное явление. Я хочу знать мысли Бога. Все остальное — лишь детали». Эйнштейн оправдывал свой живой интерес к этим теологическим вопросам следующим заключением: «Наука без религии хромает. Но религия без науки слепа».

Что же касается Дарвина, то он находился на распутье, задавшись вопросом о роли человечества во вселенной. Хотя о нем часто говорят как о человеке, который свергнул человечество с трона, возвышавшегося посреди биологической вселенной, в своей автобиографии он признавался, что «ему было бы чрезвычайно сложно или практически невозможно помыслить о том, что эта невероятно большая и прекрасная вселенная, к которой принадлежит человек с его способностью заглядывать далеко в прошлое и далеко в будущее, есть не что иное, как результат слепого случая или необходимости». Он признавался другу: «Моя теология — всего лишь какая-то неразбериха».

К несчастью, «определение места человека в Природе и его отношения к Космосу» несло в себе опасность, особенно для тех, кто осмеливался бросить вызов суровой догме общепринятого в те времена мнения. Не случайно Николай Коперник написал свою революционную книгу «О вращении небесных сфер» (*De Revolutionibus Orbium Celestium*) только в 1543 году, на смертном одре, где до него не могла дотянуться зловещая инквизиция. Неизбежным оказалось и то, что Галилей, долгое время бывший под защитой могущественных Медичи, в конце концов навлек на себя гнев Ватикана популяризацией инструмента, который открыл нашим глазам вселенную, столь сильно противоречившую тогдашней церковной доктрине, — телескопа.

Комбинация науки, религии и философии являет собой поистине сильнодействующую смесь, столь изменчивую, что великий философ Джордано Бруно был сожжен на костре в 1600 году на улицах Рима за отказ отречься от убеждения в том, что в небе существует бесконечное множество планет, на которых обитает бесконечное множество живых созданий. Он написал: «Таким образом увеличивается могущество Господа и утверждается величие его царства; он прославляется не в одном, а в бесчисленном множестве солнц; не на одной Земле, не в одном-единственном мире, а в тысяче тысяч, я бы сказал, в бесконечном количестве миров».

Грех Галилея и Бруно состоял не в том, что они осмелились обожествить небесные законы; их истинный грех состоял в том, что они низвергли человечество с высокого трона в центре вселенной. Понадобилось более 350 лет, чтобы в 1992 году Ватикан опубликовал запоздалое прощение Галилея. Что же касается Бруно, то тот прощения так и не получил.

Взгляд в историю

Со времен Галилея наше представление о вселенной и нашей роли в ней претерпело ряд революционных переворотов. В Средние века вселенная виделась как темное, зловещее местечко. Земля была похожа на маленькую плоскую сцену, на которой царили грех и порок и которая была заключена в таинственную небесную сферу, где появлялись знамения, равным образом ужасавшие как королей, так и крестьян. И если мы недостаточно возносили хвалу Господу и церкви,

то нам предстояло испытать на себе гнев театральных критиков, самоуверенных инквизиторов и их страшных орудий пыток.

Ньютон и Эйнштейн освободили нас от религиозных предрассудков и мистицизма прошлого. Ньютон предоставил в наше распоряжение точные законы механики, согласно которым движутся все небесные тела, в том числе и наша Земля. В сущности, точность законов была настолько высока, что человеческие существа предстали больше похожими на попугаев, твердящих заученные слова. Эйнштейн перевернул наш взгляд на сцену жизни. Было не просто невозможно определить однородную меру времени и пространства — сама сцена была искривлена. Кроме того, эта сцена была не просто заменена резиновой простыней, она еще и расширилась.

Квантовая революция дала нам еще более причудливую картину мира. С одной стороны, падение детерминизма означало, что куклы получили разрешение обрезать свои ниточки и декламировать собственный текст. Состоялось возвращение свободной воли, но произошло это за счет многочисленных и неопределенных решений ситуации. Это означало, что актеры могли находиться в двух местах одновременно и могли исчезать и появляться. Стало невозможно сказать наверняка, в каком месте на сцене находился актер или какое было время.

Сейчас концепция Мультивселенной дает нам новый парадигматический сдвиг, где само слово «вселенная» является лишним. В концепции Мультивселенной существуют параллельные сцены, расположенные одна над другой, с люками и потайными туннелями, соединяющими их. В сущности, сцены дают начало другим сценам в непрекращающемся процессе генезиса. На каждой из сцен действуют свои законы физики. Вероятно, лишь на горсточке из этих сцен есть условия, необходимые для существования жизни и сознания.

Сегодня мы являемся актерами, играющими, то есть живущими, в первом действии — в самом начале исследования космических чудес на этой сцене. Во втором действии, если мы не уничтожим свою планету в ходе войны или загрязнения, мы можем оказаться способными покинуть Землю и исследовать звезды и другие небесные тела. Но сейчас мы начинаем осознавать, что нас ждет и последнее действие — третье, в котором представление заканчивается и все актеры исчезают. В ходе третьего действия сцена остывает настолько,

что жизнь становится невозможной. Единственный возможный путь спасения — покинуть сцену через люк и начать все сначала в новом представлении на новой сцене.

Принцип Коперника против антропного принципа

Очевидно, что в процессе перехода от мистицизма Средних веков к сегодняшней квантовой физике точка зрения на нашу роль, на наше место во вселенной менялась самым коренным образом с каждым научным переворотом. Наш мир экспоненциально расширяется, и этот факт заставляет нас изменить представление о самих себе. Когда я думаю об этом историческом развитии, глядя на бесконечное на вид количество звезд на небесном своде, или размышляю о мириадах жизненных форм на Земле, меня переполняют два противоречивых чувства. С одной стороны, я чувствую себя как бы уменьшенным небытием во вселенной. Размышляя о бескрайних пустых просторах вселенной, Блез Паскаль когда-то написал: «Вечная тишина этих бескрайних просторов приводит меня в ужас». С другой стороны, я не могу устоять перед очарованием великолепного многообразия жизни и изящной сложности нашего биологического существования.

Сегодня при рассмотрении вопроса о научно обоснованном установлении нашей роли во вселенной открываются две в некотором смысле крайние философские точки зрения, представленные в физическом сообществе: принцип Коперника и антропный принцип.

Принцип Коперника гласит, что наше место во вселенной ничем особенным не отличается (некоторые остряки окрестили это принципом усреднения). До сих пор каждое астрономическое открытие только подтверждало эту точку зрения. Не только Коперник сдвинул Землю из центра вселенной — Хаббл перенес целую Галактику Млечный Путь из центра вселенной, взамен дав нам расширяющуюся вселенную с миллиардами галактик. Недавнее открытие темного вещества и темной энергии подчеркивает тот факт, что высшие химические соединения, из которых состоят наши тела, составляют всего лишь 0,03 % всего вещественно-энергетического содержимого вселенной. Учитывая теорию инфляционного расширения вселенной, мы должны подумать о том факте, что видимая вселенная подобна

песчинке, заключенной в намного большую плоскую вселенную, а также о том, что эта вселенная может все время пускать почки новых вселенных. И наконец, если М-теория окажется успешной, то нам придется столкнуться с возможностью того, что даже знакомая размерность пространства и времени расширится до одиннадцати измерений. Нас не только сдвинули из центра вселенной — мы можем обнаружить, что даже видимая вселенная представляет всего лишь крохотную долю намного большей вселенной.

Столкнувшись лицом к лицу с необъятностью этого осознания, вспоминаешь стихотворение Стивена Крейна:

Сказал вселенной человек:

— Мадам, я существую!

— И что ж, — услышал он в ответ, —

Почувствовать себя должна

Перед тобой в долгу я?

(Тут опять вспоминается научно-фантастический фарс Дугласа Адамса «Автостопом по галактике», в котором рассказывается о приспособлении, называемом Тотальным Вихрем, которое гарантированно превращает любого здравомыслящего человека в сумасшедшего. В Вихре находится полная карта вселенной с крохотной стрелочкой, на которой написано: «Ты здесь».)

Но с другой стороны, мы видим антропный принцип, который заставляет нас осознать, что чудесный набор «случайностей» делает возможным существование разума в такой трехмерной вселенной, как наша. Существует до смешного узкий диапазон параметров, превращающих разумную жизнь в реальность, и случилось так, что мы «благоденствуем» в этом диапазоне. Стабильность протона, размер звезд, существование тяжелых элементов и так далее — все эти параметры кажутся тонко настроенными, чтобы сделать возможным существование сложных форм жизни и разума. Можно спорить о том, является ли такое неожиданное стечение событий спроектированным или просто случайным, но не возразишь, что для того, чтобы наше существование стало возможным, необходима была именно эта сложная настройка.

Стивен Хокинг замечает: «Если бы скорость расширения через секунду после Большого Взрыва была меньше всего лишь на одну сто-

тысячеллионную, то [вселенная] уже сжалась бы еще до того, как достигла своих нынешних размеров... Велики трудности, ожидающие вселенную, возникшую, подобно нашей, в Большом Взрыве. Я думаю, что здесь ясно просматривается религиозный подтекст».

Мы часто не понимаем всей ценности жизни и разума. Мы забываем о том, что такая простая вещь, как вода, является одним из ценнейших соединений во вселенной, что во всей Солнечной системе и, возможно, даже в этом секторе нашей Галактики жидкая вода есть только на Земле (и, вероятно, на Европе, спутнике Юпитера). Также весьма вероятно, что человеческий мозг является самым сложным объектом, какой только создавала природа в Солнечной системе, возможно, даже до ближайшей звезды. Когда мы глядим на четкие снимки безжизненной поверхности Марса или Венеры, поражает тот факт, что эти поверхности совершенно лишены больших городов и огней или даже сложных органических жизненных соединений. В открытом космосе существует бесчисленное множество миров, лишенных всякой жизни, тем более — разума. Это должно заставить нас оценить хрупкость жизни и то чудо, что она развивается на Земле.

Принцип Коперника и антропный принцип в каком-то смысле представляют противоположные взгляды, которые оценивают наше существование и помогают понять нашу истинную роль во вселенной. В то время как принцип Коперника сталкивает нас лицом к лицу с совершенной необъятностью вселенной, и, возможно, Мультивселенной, антропный принцип заставляет нас понять, как в действительности редки жизнь и разум.

Но в конечном счете спор между обоими принципами не может определить нашу роль во вселенной, если только мы не взглянем на этот вопрос с более широкой точки зрения — с точки зрения квантовой теории.

Квантовое значение

Мир квантовой науки проливает много света на вопрос о нашей роли во вселенной, но с иной точки зрения. Если мы присоединимся к интерпретации Вигнером проблемы кота Шрёдингера, то мы непременно увидим повсюду след разумных деяний. Бесконечная цепь

наблюдателей, каждый из которых созерцает предыдущего, в конечном счете ведет к космическому наблюдателю — возможно, самому Господу. В рамках такой картины вселенная существует потому, что существует божество, которое ее созерцает. И если верна интерпретация Уилера, то во всей вселенной преобладает разум и информация. Согласно такой картине разум является преобладающей силой, которая определяет природу существования.

Точка зрения Вигнера, в свою очередь, навела Ронни Нокса на мысль сочинить следующее стихотворение о реплике скептика в адрес Бога, в размышлении, стоит ли дерево во дворе тогда, когда на него никто не смотрит:

Один человек сказал: «Бог,
Видать, совсем занемог,
Считая, что этот вот яшень
Стоять будет, так же прекрасен,
Когда рядом нет никого».

Анонимный шутник затем написал следующий ответ:

Непонятен Мне, сэр, ваш щелчок:
Я везде, даже там, где ни глаз нет, ни ног.
И стоять будет яшень,
Все также прекрасен.
Я все вижу. С почтением, Бог.

Иными словами, деревья существуют во дворе потому, что всегда есть квантовый наблюдатель, разрушающий волновую функцию объекта, а именно сам Господь.

Интерпретация Вигнера ставит вопрос о разуме в самое средоточие основ физики. Он вторит словам великого астронома Джеймса Джинса, который однажды написал: «Пятьдесят лет назад на вселенную смотрели как на машину... Устремляем ли мы свой взор в космос или в глубины атома — механическая интерпретация Природы перестает работать. Мы сталкиваемся с объектами и явлениями, которые никоим образом не являются механическими. Мне они представляются скорее процессами ментального характера, нежели механического; кажется, вселенная больше похожа на гигантскую мысль, нежели на гигантскую машину».

Эта интерпретация принимает самую неоднозначную форму в теории Уилера о веществе из информации. «Не только мы приспособились ко вселенной. Вселенная также приспособилась к нам». Иными словами, в некотором смысле мы создаем свою собственную реальность, совершая наблюдения. Он называет это «Генезисом через наблюдение». Уилер заявляет, что мы живем во «вселенной, основанной на взаимном участии».

Эти слова перекликаются с мнением, которое высказал нобелевский лауреат, биолог Джордж Вальд, написавший: «Грустно было бы атому во вселенной, если бы не было физиков. А физики состоят из атомов. Физик представляет собой способ познания атомом самого себя». Священник церкви унитариев-универсалистов Гарри Ковальски выражает эту точку зрения таким образом: «Вселенная, можно сказать, существует ради прославления себя, наслаждаясь собственной красотой. Если человеческая раса — это одна грань космоса, которая тянется к самоосознанию, то тогда наша цель бесспорно состоит в том, чтобы сохранить в веках наш мир и изучать его, а не испортить или разрушить то, на создание чего ушло столько времени».

Если придерживаться такого хода рассуждений, в существовании вселенной есть смысл: *произвести разумные существа, подобные нам, которые могут ее наблюдать, чтобы она могла существовать*. В соответствии с такой точкой зрения само существование вселенной зависит от ее способностей к порождению разумных существ, которые будут наблюдать ее, разрушая тем самым ее волновую функцию.

Интерпретация Вигнера квантовой теории может показаться удобной. Однако существует и альтернативная интерпретация — интерпретация многих миров, которая дает нам совершенно иное представление о роли человечества во вселенной. В интерпретации многих миров кот Шрёдингера может быть как мертвым, так и живым одновременно, просто потому, что вселенная расщепилась на два отдельных мира.

Смысл в Мультивселенной

Легко потеряться в бесконечном множестве вселенных теории многих миров. Моральный подтекст этих параллельных квантовых вселенных рассматривается в рассказе Ларри Нивена «Все мириады

путей». В этом рассказе лейтенант уголовной полиции Джин Тримбл занимается делом о волне загадочных самоубийств. Внезапно по всему городу люди, никогда прежде не замеченные в психических расстройствах, начинают прыгать с мостов, вышибать себе мозги или даже совершают массовые самоубийства. История становится еще более таинственной, когда Амброуз Хармон, миллиардер, основатель Корпорации Временных Пересечений, выиграв пятьсот долларов в покер, выпрыгивает с тридцать седьмого этажа, где находится его роскошная квартира. Этот человек был богат, влиятелен; у него были хорошие связи — у него было все, ради чего стоило жить. В его самоубийстве нет никакого смысла. Но в конце концов Тримбл находит закономерность. Двадцать процентов пилотов Корпорации Временных Пересечений покончили жизнь самоубийством. В сущности, вся эпидемия самоубийств началась через месяц после основания Корпорации.

Тримбл копает все глубже, и ему удастся выяснить, что Хармон унаследовал от бабушки и дедушки огромное состояние, которое тратил на финансирование самых безумных идей. Он мог потерять все свое состояние, если бы не окупилась одна из его ставок. Он собрал горстку физиков, инженеров и философов для исследования возможности существования параллельных временных путей. В конце концов ученым удалось создать корабль, который мог войти в новую временную линию, и пилот привез новое изобретение из Конфедеративных Штатов Америки. Тогда Корпорация Временных Пересечений финансировала сотни полетов по параллельным временным линиям, где можно было обнаружить новые изобретения, привезти их домой и запатентовать. Вскоре Временные Пересечения стали корпорацией-миллиардером, которая владела патентами на важнейшие изобретения мирового масштаба для своего времени. Казалось, что Временные Пересечения станут самой успешной корпорацией своей эпохи, и во главе ее стоял Хармон.

Пилоты выяснили, что каждая временная линия немного отличалась от других. Они обнаружили Католическую Империю, Индейскую Америку, царскую Россию и множество мертвых радиоактивных миров, которые закончили свое существование в ядерной войне. Но в конечном счете они встретили нечто, что их весьма озаботило: точные копии самих себя, чья жизнь отличалась от их

собственной лишь каким-то причудливым поворотом судьбы. Что бы они ни делали, в этих мирах может случиться все что угодно: как бы они ни старались, они с равным успехом могли претворить в жизнь свои самые фантастические мечты или же пережить свои самые жуткие кошмары. Что бы они ни делали, в одних мирах они преуспевают, а в других — терпят полное поражение. Что бы они ни делали, существует бесчисленное множество их двойников, которые принимают противоположное решение и пожинают все возможные следствия. Почему бы не ограбить банк, если в какой-то из вселенных вам это сойдет с рук?

Тримбл думает: «Успеха нельзя было достигнуть ни в чем. Любое решение принимается в двух вариантах. Вместе с каждым мудрым выбором, во время обдумывания которого ваше сердце обливалось кровью, вы совершали и все остальные выборы. Так оно и продолжалось в течение всего хода истории». Тримбла переполняет глубочайшее отчаяние, когда он приходит к душераздирающему осознанию: во вселенной, где все возможно, ничто не имеет морального смысла. Он становится жертвой отчаяния, понимая, что в конечном итоге мы не управляем своими судьбами, что, какое бы решение мы ни приняли, результат не имеет значения.

В конце концов Тримбл решает пойти по пути Хармона. Он вытаскивает пистолет и приставляет его к своей голове. Но в тот самый момент, когда он нажимает на курок, существует бесконечное множество вселенных, в которых пистолет дает осечку, пуля попадает в потолок, пуля убивает детектива и так далее. Последнее решение Тримбла проигрывается в бесконечном множестве вариантов в бесчисленном множестве вселенных.

Представляя квантовую Мультивселенную, мы, подобно Тримблу из этого рассказа, сталкиваемся с вероятностью того, что, хотя наши параллельные двойники, живущие в различных квантовых вселенных, обладают идентичным генетическим кодом, в переломные моменты жизни наши возможности, наши наставники и наши мечты могут повести нас по различным дорогам, что повлечет за собой различные истории жизни и различные судьбы.

Мы уже почти столкнулись с одной из вариаций этой дилеммы. Генетическое клонирование людей станет обычным явлением уже буквально через несколько десятилетий, это всего лишь вопрос вре-

мени. Хотя клонировать человеческое существо чрезвычайно сложно (в сущности, еще никому не удалось создать клон примата, не говоря уже о человеке), а этические проблемы вызывают серьезное беспокойство, в какой-то момент это непременно произойдет. А когда это случится, возникнет вопрос: есть ли у наших клонов душа? Несем ли мы ответственность за их поступки? В одной из квантовых вселенных у нас было бы множество квантовых клонов. Поскольку некоторые из наших квантовых клонов могли бы совершать недобрые поступки, понесли бы мы в таком случае ответственность за них? Страдает ли наша душа из-за проступков наших клонов?

Существует решение этого квантового экзистенциального кризиса. Если мы взглянем на Мультивселенную бесконечных миров, нас может поразить головокружительная беспорядочность судеб, но в каждом мире все же сохраняются здравые правила причинно-следственной связи. Согласно предложенной физиками теории Мультивселенной, каждая отдельная вселенная в макроскопических масштабах повинуетя законам, подобным законам Ньютона, так что мы можем жить спокойно, зная, что наши действия имеют, в основном, предсказуемые последствия. В каждой вселенной законы причинно-следственной связи в среднем работают достаточно четко. В каждой из этих вселенных, если мы совершим преступление, то, вероятнее всего, попадем за решетку. Мы можем безмятежно заниматься своими делами, даже не подозревая о том, что все эти реальности существуют параллельно с нашей.

Мне это напоминает апокрифическую историю, которую иногда рассказывают друг другу физики. Однажды физик из России попал в Лас-Вегас. Он был ошеломлен изобилием в капиталистическом мире и развращенными нравами города грехов. Он немедленно направился в казино и поставил все свои деньги на первую попавшуюся ставку. Когда ему сказали, что это довольно глупая стратегия выигрыша, что его стратегия бросает вызов законам математики и вероятности, он ответил: «Да, это верно, но в одной из квантовых вселенных я буду богат!» Этот физик мог оказаться прав и в одном из параллельных миров мог бы обрести невообразимое богатство. Но в данной конкретной вселенной он проиграл и ушел полным банкротом. И именно ему приходится нести весь груз последствий.

Что физики думают о смысле вселенной

Спор по поводу смысла жизни еще более оживился после того, как Стивен Вайнберг в своей книге «Три первые минуты» выдвинул провокационное утверждение. Он пишет: «Чем более постижимой нам кажется вселенная, тем более она кажется лишенной смысла... Попытка понять вселенную является одной из тех немногих вещей, которые поднимают человеческую жизнь над уровнем фарса и придают ей некоторую трагическую изящность». Вайнберг признался, что из всего, что было им написано, данное высказывание вызвало самую бурную реакцию. Позднее он вызвал еще один спор своим комментарием: «С религией или без нее, хорошие люди могут вести себя хорошо, а плохие — плохо; но для того, чтобы хорошие люди поступали плохо, — нужна религия».

Вайнберг, похоже, получает некое дьявольское наслаждение, вызывая яростные прения и подшучивая над заявлениями тех, кто претендует на некоторое постижение космического смысла вселенной. «На протяжении многих лет я был жизнерадостным ханжой в философских вопросах», — признается он. Подобно Шекспиру, он считает, что весь мир — сцена, «но трагедия состоит не в том, что так написано в сценарии, а в том, что этого сценария нет вообще».

Вайнберг вторит словам своего коллеги, ученого из Оксфорда, биолога Ричарда Докинса, который заявляет: «Во вселенной, где правят слепые физические силы... одни будут страдать, а другие преуспевать, и вы не сможете обнаружить в этом ни ритма, ни причины, ни даже справедливости. Вселенная, которую мы наблюдаем, обладает именно теми свойствами, которых и следует ожидать в том случае, когда в основе ее нет ни проекта, ни цели, ни добра, ни зла — ничего, кроме слепого безжалостного равнодушия».

В сущности, Вайнберг бросает вызов ученому миру. Если люди считают, что в существовании вселенной есть некий смысл, то что это за смысл? Когда астрономы вглядываются в космические просторы, где гигантские звезды, намного больше нашего Солнца, рождаются и умирают во вселенной, которая продолжает стремительно расширяться на протяжении уже миллиардов лет, трудно понять,

каким образом все это может быть так точно организовано, чтобы дать смысл человечеству, обитающему на крошечной планетке, вращающейся вокруг малоизвестной звезды.

Хотя эти заявления вызвали много жарких споров, очень немногие ученые приняли вызов. Однако, когда Алан Лайтман и Роберта Броэр провели интервью с рядом выдающихся космологов, чтобы выяснить, согласны ли они с мнением Вайнберга, примечательно, что лишь единицы согласились с его суровой оценкой вселенной. Одной из ученых, твердо принявших сторону Вайнберга, оказалась Сандра Фабер из Ликской обсерватории и Калифорнийского университета в Санта-Круз. Она сказала: «Я не верю, что Земля была создана для людей. Эта планета сформировалась в результате естественных процессов, и жизнь и разумные существа появились как часть дальнейшего развития этих естественных процессов. Я считаю, что таким же образом — в результате какого-то естественного процесса — сформировалась и вселенная, а наше появление в ней было полностью естественным результатом действия физических законов в нашей конкретной ее области. Я думаю, здесь подразумевается существование некой движущей силы, которая имеет цель, выходящую за пределы человеческого существования. В это я не верю. Поэтому я считаю, что полностью согласна с Вайнбергом в том, что вселенная совершенно бессмысленна с точки зрения человека».

Но гораздо большее число космологов посчитало, что Вайнберг неправ, что вселенная все же обладает смыслом, даже если его нельзя выразить.

Маргарет Геллер, профессор Гарвардского университета, говорит: «Моя точка зрения заключается в том, что вы проживаете свою собственную жизнь и она коротка. Суть в том, чтобы набрать настолько богатый опыт, насколько это только возможно. Это то, что я пытаюсь сделать. Я пытаюсь заниматься чем-то созидательным. Я пытаюсь учить людей».

Для некоторых смысл вселенной действительно состоял в том, что это творение Божье. Дон Пейдж из Университета Альберты, бывший ученик Стивена Хокинга, сказал: «Да, я бы сказал, что определенно существует некая цель. Мне неизвестны все цели, но я считаю, что одной из них для Бога было создание человека, чтобы общаться с ним. Целью более крупного масштаба было то, что создание Бога прослав-

ляло бы самого Бога». Он видит творение Божье даже в абстрактных законах квантовой физики: «В некотором смысле эти физические законы кажутся аналогичными той грамматике и тому языку, которые избрал Бог».

Чарльз Мизнер из Мэрилендского университета, один из первых ученых, которые занялись анализом общей теории относительности Эйнштейна, разделяет мнение Пейджа: «Мне кажется, что религия трактует очень серьезные вещи, такие, как существование Бога и братства людей. Они представляют собой серьезные истины, которые мы когда-нибудь научимся воспринимать — возможно, на другом языке и, возможно, в других масштабах... Поэтому я считаю, что там скрыты подлинные истины, и в некотором смысле величие вселенной полно смысла, и нам на самом деле следует чтить ее Создателя и благоговеть перед ним».

Вопрос о Создателе поднимает следующий вопрос: может ли наука сказать что-либо о существовании Бога? Теолог Пауль Тиллих однажды сказал, что физики — единственные в мире люди, которые могут говорить слово «Бог» и при этом не краснеть. И действительно, физики выделяются из всех ученых тем, что занимаются одним из величайших вопросов человечества: существует ли великий проект? Если это так, то где же архитектор? Который из путей к истине является верным — рассудок или откровение?

Струнная теория позволяет нам рассматривать субатомные частицы как ноты, взятые на вибрирующей струне; законы химии соответствуют мелодиям, которые можно сыграть на этих струнах; законы физики соответствуют законам гармонии, которые управляют этими струнами; вселенная представляет собой струнную симфонию; а замысел Бога можно представить как космическую музыку в гиперпространстве. Если эта аналогия правомерна, то сразу же возникает следующий вопрос: есть ли композитор? Была ли эта теория создана кем-то таким образом, чтобы в нее вписалось все разнообразие возможных вселенных, которые мы видим в струнной теории? Если вселенная подобна точно настроенным часам, то где же часовщик?

В этом отношении струнная теория проливает некоторый свет на следующий вопрос: были у Бога выбор? Всякий раз, когда Эйнштейн подходил к созданию своей космической теории, он всегда задавался вопросом: каким образом я бы создал вселенную? Он склонялся к

мысли о том, что, возможно, у Бога не было выбора в этой ситуации. Струнная теория, кажется, подтверждает верность такого подхода. Когда мы пытаемся соединить теорию относительности с квантовой теорией, то приходим к теориям, которые наводнены скрытыми, но роковыми изъянами: расхождения, которые разрушают всю стройную систему, и аномалии, которые нарушают симметрии теории. Эти расхождения и аномалии можно преодолеть только путем привлечения мощных симметрии, и М-теория обладает самой мощной из них. Таким образом, возможно существование единой уникальной теории, которая отвечает всем требованиям, предъявляемым к такой теории.

Эйнштейна, который часто подробно писал о Старине Боге, спросили о существовании Господа. По его мнению, существовало два типа божеств. К первому типу относился персонифицированный Бог, который отвечает на молитвы: это Бог Авраама, Исаака, Моисея, Бог, по велению которого расступаются пучины и происходят чудеса. Однако это не тот Бог, в которого обязательно верит большинство ученых.

Однажды Эйнштейн написал, что верит в «Бога Спинозы, который проявляет Себя в упорядоченной гармонии всего сущего, а не в Бога, который обременяет себя судьбами и деяниями существ человеческих». Бог Спинозы и Эйнштейна — это бог гармонии, бог рассудка и логики. Эйнштейн пишет: «Я не могу представить себе Бога, который поощряет и наказывает объекты своего собственного творения... Точно также я не могу поверить в то, что личность переживает смерть собственного тела».

(В дантовском «Аде» первый круг у самого входа в ад населен людьми с доброй волей и характером, которые не смогли полностью постичь Иисуса Христа. В первом круге Данте встречает Платона и Аристотеля и других великих мыслителей и светочей науки. Как замечает физик Вильчек: «Мы подозреваем, что, возможно, большинство современных ученых окажется в этом первом круге ада».) Марка Твена тоже скорее всего можно встретить в этом знаменитом первом круге. Твен однажды определил веру как «веру в то, о чем даже полный дурак знает, что это не так».

Лично я, с чисто научной точки зрения, полагаю, что, вероятно, самый сильный аргумент в пользу существования Бога Эйнштейна

или Спинозы берет начало в теологии. Если в конце концов струнная теория найдет свое подтверждение как теория всего, то тогда нам придется задаться вопросом о том, откуда взялись сами уравнения. Если единая теория поля поистине уникальна, как считал Эйнштейн, то нам придется задаться вопросом о том, откуда взялась эта уникальность. Физики, которые верят в Бога, считают, что вселенная настолько прекрасна и проста, что ее основополагающие законы не могут быть случайными. Иначе вселенная могла бы быть полностью беспорядочной или состоящей из безжизненных электронов и нейтрино, неспособной создать какую-нибудь жизнь, не говоря уже о разумной.

Если же, как считают некоторые физики, в числе которых нахожусь и я, основополагающие законы реальности могут быть описаны в уравнении не больше дюйма длиной, тогда вопрос заключается в следующем: откуда взялось это уравнение?

Как сказал Мартин Гарднер: «Почему падает яблоко? Вследствие закона тяготения. Откуда закон тяготения? Из определенных уравнений, являющихся частью теории относительности. В случае если физики когда-нибудь добьются успеха и напишут конечное уравнение, из которого можно вывести все физические законы, все еще можно будет спросить: «откуда взялось это уравнение?»

Создание нашего собственного смысла

В конечном счете, я считаю, что существование единого уравнения, которое может описать всю вселенную в упорядоченном и гармоничном виде, предполагает существование некоего проекта. Однако я не верю, что этот проект имеет какой-то личный смысл для представителей человечества. Какой бы грандиозной или изящной ни была конечная формулировка физики, она не поднимет дух миллиардов людей и не даст им эмоционального наполнения. Никакая волшебная формула, предложенная космологией и физикой, не увлечет массы и не обогатит их духовную жизнь.

По моему мнению, истинный смысл жизни заключается в том, что мы сами выводим свой собственный смысл. Это наша судьба — лепить собственное будущее, а не получать его от вышестоящего начальства. Однажды Эйнштейн признался, что он не в состоянии

утешить сотни добропорядочных людей, приславших ему пачки писем, умоляя раскрыть им смысл жизни. Как сказал Алан Гут, «Вполне нормально задаваться такими вопросами, но не стоит ожидать более мудрого ответа от физика. Я сам чувствую, что в жизни есть некая цель: в конечном счете, я бы сказал, что речь идет о той цели, которую мы этой жизни задали, а не о той, которая определена каким-либо космическим проектом».

Я считаю, что Зигмунд Фрейд, со всеми его размышлениями о темной стороне подсознания, ближе всего подошел к истине, сказав, что именно труд и любовь являются теми вещами, которые дают стабильность и смысл нашему сознанию. Труд помогает нам обрести чувство ответственности и цели, которая представляет собой точку фокусировки наших стараний и мечтаний. Труд не только дисциплинирует и организует наши жизни, он еще дает нам чувство гордости, законченности, а также задает рамки нашей деятельности. Что же касается любви, то она является тем самым жизненно важным ингредиентом, благодаря которому мы вписываемся в структуру общества. Без любви мы потеряны, пусты и лишены корней. Мы превращаемся в странников на своей собственной земле, безучастных к тревогам других людей.

К труду и любви я бы добавил еще два компонента, которые наполняют жизнь смыслом. Во-первых, это реализация всех талантов, данных нам при рождении. Как бы ни облагодетельствовала нас судьба различными способностями и умениями, нам следует стараться развить их в полном объеме, не позволяя им атрофироваться и зачахнуть. Мы все знаем таких людей, которые не оправдали надежд, возлагавшихся на них в детстве. И не одного из них неотступно преследует образ того, кем он мог бы стать. Я считаю, что вместо того, чтобы винить судьбу, мы должны принимать себя такими, какие мы есть, и стараться реализовать все мечты, какие только можем.

Во-вторых, нам следует попытаться оставить мир в лучшем состоянии, нежели он был до нашего прихода. Будучи сознательными людьми, мы можем изменить мир, то ли проникая в тайны Природы) участвуя в очищении окружающей среды и работая на благо мира и социальной справедливости, то ли взращивая пытливого подвижного дух молодежи, будучи наставниками.

Переход к цивилизации первого типа

В пьесе Антона Чехова «Три сестры» во втором действии полковник Вершинин провозглашает: «Через двести-триста, наконец, тысячу лет — дело не в сроке — настанет новая, счастливая жизнь. Участвовать в этой жизни мы не будем, конечно, но мы для нее живем теперь, работаем, ну, страдаем, мы творим ее — и в этом одном цель нашего бытия и, если хотите, наше счастье».

Вместо отчаяния перед лицом необъятности этой вселенной меня охватывает глубокое волнение при мысли о том, что рядом с нами существуют совершенно новые миры. Мы живем в эпоху, когда только начинаем исследовать космос при помощи космических зондов и космических телескопов, теорий и уравнений.

Я считаю, что мне очень повезло в том, что я живу во время, когда наш мир проходит исторические вехи. Мы становимся очевидцами, возможно, величайшего перехода в истории человечества — перехода к цивилизации первого типа, может быть самого значимого в истории человечества, но также и наиболее опасного.

В прошлом нашим предкам довелось жить в жестоком и не прощающем ошибок мире. На протяжении большей части истории человечества жизнь людей была коротка и полна жестокости. Средняя продолжительность жизни составляла приблизительно двадцать лет. Люди жили в постоянном страхе перед болезнями, будучи игрушкой в руках судьбы. Изучение костей наших предков показывает, что им приходилось ежедневно носить большие тяжести; кроме того, на костях есть ясно различимые следы болезней и ужасных увечий. Даже в прошлом столетии наши прадеды жили, не пользуясь преимуществами современной санитарии, антибиотиков, реактивных самолетов, компьютеров и других чудес электроники.

Однако наши внуки будут жить на рассвете первой земной планетарной цивилизации. Если мы не дадим нашему жестокому инстинкту саморазрушения поглотить нас, то наши внуки смогут жить в эпоху, где нужда, голод и болезни не будут более омрачать судьбу людей. Впервые за всю историю человечества мы обладаем средствами, с помощью которых можно как уничтожить все живое на Земле, так и создать рай на нашей планете.

В детстве я часто задумывался над тем, каково было бы жить в далеком будущем. Сегодня я считаю, что, если бы мне дано было выбирать, в какой эпохе жить, я бы выбрал именно эту. Сейчас мы являемся свидетелями самого волнующего периода в истории человечества — точки соприкосновения некоторых величайших космических открытий и технологических достижений всех времен. Мы совершаем исторический переход, переставая быть пассивными наблюдателями танца природы, становимся хореографами этого танца, приобретаем способность управлять жизнью, веществом и разумом. Однако вместе с этой великой силой на нас ложится огромная ответственность — сделать так, чтобы плоды наших стараний были использованы мудро и на благо всего человечества.

Ныне живущее поколение, возможно, является самым важным из всех человеческих поколений, когда-либо ступавших по Земле. В отличие от предыдущих поколений в наших руках будущая судьба всего нашего рода: воспарим ли мы, оправдав ожидания, в качестве цивилизации первого типа или упадем в пропасть хаоса, загрязнения и войн. Принятые нами решения будут отдаваться эхом на протяжении всего этого столетия. От того, как мы разрешим проблему мировых войн, распространения ядерного оружия, религиозных и этнических конфликтов, зависит создание или разрушение основ цивилизации первого типа. Возможно, целью и смыслом жизни нынешнего поколения является именно обеспечение плавного перехода к цивилизации первого типа.

Выбор за нами. Это наследие ныне живущего поколения. Это наша судьба.

Примечания автора

1. Сжатие объектов, движущихся с околосветовой скоростью, в действительности было открыто Хендриком Лоренцом и Джорджем Френсисом Фитцджеральдом незадолго до Эйнштейна, но они не поняли этого эффекта. Они пытались анализировать этот эффект в рамках исключительно ньютоновской системы, предположив, что это сжатие представляет собой электромеханическое сжатие атомов, создающееся вследствие прохождения сквозь «эфирный ветер». Сила идей, предложенных Эйнштейном, состояла в том, что он не только получил всю специальную теорию относительности из одного принципа (постоянства скорости света), — он также интерпретировал его как универсальный природный принцип, противоречащий теории Ньютона. Таким образом, эти искажения являлись свойствами, присущими пространству-времени, а не электромеханическими искажениями вещества. Великий французский математик Анри Пуанкаре, вероятно, подошел ближе всех к выводу тех же уравнений, что получил Эйнштейн. Но лишь у одного Эйнштейна был полный набор уравнений и глубокое понимание физической подоплеку проблемы.
2. Когда газ расширяется, он охлаждается. Для примера, в вашем холодильнике внешнее и внутреннее пространство камеры соединяется трубкой. Когда газ попадает внутрь холодильника, он расширяется, охлаждая трубку и продукты. Когда он уходит из внутренней части холодильника, трубка сокращается и нагревается. Есть также механический насос, который закачивает газ через трубку. Таким образом, задняя стенка холодильника греется, а внутреннее пространство охлаждается. В звездах все происходит в обратном порядке. Когда сила гравитации сжимает звезду, та разогревается до достижения температур, при которых начинается синтез.
3. Ученые искали антивещество во Вселенной, и им удалось найти немного (за исключением потоков антивещества недалеко от центра Млечного Пути). Поскольку вещество и антивещество

практически неразличимы, поскольку они повинуются одним и тем же законам физики и химии, различить их довольно сложно. Однако одним из способов являются поиски характерного гамма-излучения в 1,02 млн электронвольт. Это отпечаток присутствия антивещества, поскольку это минимальная освобождаемая энергия при столкновении электрона с антиэлектроном. Но когда мы сканируем Вселенную, мы не находим больших количеств гамма-лучей в 1,02 млн электронвольт, что указывает на то, что антивещество во Вселенной встречается весьма редко.

4. Предел Чандрасекара можно вывести, рассуждая следующим образом. С одной стороны, действие гравитации сжимает белый карлик до невероятной плотности, все ближе и ближе придвигая электроны звезды друг к другу. С другой стороны, существует принцип исключения Паули, который гласит, что у двухэлектронов не может быть совершенно одинакового состояния. Это означает, что два электрона не могут занимать в точности одно и то же положение с одними и теми же свойствами, так что существует сила, расталкивающая электроны в стороны (в дополнение к электростатическому отталкиванию). Это означает, что существует давление, расталкивающее электроны, которое не дает им вжаться друг в друга. Таким образом, мы можем вычислить массу белого карлика, когда эти две силы (одна — отталкивающая, а вторая — притягивающая) в точности уравновешивают друг друга, именно это и будет пределом Чандрасекара в 1,4 солнечной массы.

В случае с нейтронной звездой мы имеем дело с гравитацией, которая сжимает шар из чистых нейтронов, так что здесь будет другой предел Чандрасекара, приблизительно равный 3 солнечным массам, поскольку нейтроны также отталкиваются друг от друга вследствие этого взаимодействия. Но когда нейтронная звезда превзойдет свой предел Чандрасекара, она коллапсирует в черную дыру.

5. Они были среди первых, кто привлек квантовую механику к физике черных дыр. Согласно квантовой теории, существует конечная вероятность того, что субатомная частица может вырваться из хватки черной дыры путем туннелирования, а отсюда следует, что черная дыра должна медленно испускать излучение. Это является примером туннелирования.

6. Один из широко известных примеров сексуального парадокса был описан английским философом Джонатаном Харрисоном в произведении, которое было опубликовано в 1979 году в журнале «Энелисиз» (*Analysis*). Читателям предлагалось найти смысл в этом парадоксе.

История начинается с того момента, как девушка по имени Джокаста Джоунс находит старую камеру глубокой заморозки. Внутри она обнаруживает привлекательного человека, которого заморозили заживо. Она отогревает его и узнает, что его зовут Дам. Дам рассказывает ей, что у него есть книга, в которой говорится, как построить камеру глубокой заморозки, которая может сохранять человека, а также как построить машину времени. Эти двое влюбляются друг в друга, женятся и вскоре у них рождается мальчик, которого они называют Ди.

Годы спустя, когда Ди вырастает, он решает пойти по стопам отца и построить машину времени. На этот раз путешествие в прошлое совершают и Ди, и Дам; при этом они берут книгу с собой. Однако это путешествие оканчивается трагедией — они оказываются в далеком прошлом в затруднительном положении и без всяких запасов пищи. Понимая, что конец близок, Ди совершает единственную вещь, которая может помочь ему выжить, — он убивает своего отца и съедает его. Тогда Ди решает построить камеру глубокой заморозки, следуя инструкциям, приведенным в книге. Чтобы спастись, он входит в эту камеру, его замораживает, и процессы его жизнедеятельности приостанавливаются.

Много лет спустя Джокаста Джоунс находит эту камеру заморозки и решает отогреть Ди. Для маскировки Ди называется Дамом. Они влюбляются друг в друга, а потом у них рождается ребенок по имени Ди... и цикл продолжает повторяться.

Предложение Харрисона вызвало с дюжину ответов. Один из читателей заявил, что «история была настолько экстравагантна в своем подтексте, что к ней придется относиться как к *reductio ad absurdum* сомнительного допущения, на котором основывается эта история: возможность путешествий во времени». Обратите внимание на то, что здесь не содержится дедушкиного парадокса, поскольку Ди ни в один из моментов прошлого не совершает ничего, что сделало бы настоящее невозможным. (Однако при-

существует информационный парадокс, поскольку книга, в которой содержатся секреты приостановления жизненных функций и путешествий во времени, появляется из ниоткуда. Однако не книга является самой важной частью истории.)

Другой читатель указал на присутствие странного биологического парадокса. Поскольку у каждого человека половина ДНК от матери и половина от отца, это означает, что Ди должен иметь половину ДНК от миссис Джоунс и половину от своего отца, Дама. Однако Ди — это Дам. Таким образом, Ди и Дам должны обладать одним и тем же набором ДНК, поскольку это один и тот же человек. Но это невозможно, поскольку по законам генетики половина их генов от миссис Джоунс. Иными словами, истории о путешествиях во времени, в которых человек возвращается в прошлое, встречает свою мать и себя в качестве своего же отца, противоречат законам генетики.

Кто-то может подумать, что в сексуальном парадоксе есть брешь. Если вы можете быть одновременно и своим отцом и своей матерью, то вся ДНК идет от вас самих. В произведении Роберта Хайнлайна «Все вы зомби» девушка идет на операцию по смене пола, а затем дважды возвращается во времени, чтобы стать своей же собственной матерью, отцом, сыном и дочерью. Однако даже в этом причудливом рассказе присутствует нарушение законов генетики.

В рассказе «Все вы зомби» девушка по имени Джейн воспитывается в сиротском приюте. Однажды она встречает привлекательного незнакомца и влюбляется в него. Она рождает девочку, которую таинственным образом похищают. У Джейн возникают осложнения после родов, и врачи вынуждены изменить ее пол, превратив в мужчину. Год спустя этот мужчина встречает путешественника во времени, который забирает его в прошлое, где он встречает Джейн в молодости. Они влюбляются друг в друга, Джейн беременеет. Затем мужчина похищает своего собственного ребенка — девочку — и возвращается еще дальше в прошлое, оставив девочку в приюте. Затем Джейн вырастает и встречает привлекательного незнакомца. Этой истории почти удается избежать сексуального парадокса. Половина генов принадлежит девушке Джейн и половина — Джейн-незнакомцу. И все же опе-

рация по изменению пола не может изменить вашу X-хромосому на Y-хромосому, а потому здесь все же присутствует сексуальный парадокс.

7. В конечном счете для разрешения этих сложных математических вопросов необходимо обратиться к физике нового рода. Например, многие физики, такие, как Стивен Хокинг и Кип Торн, пользуются так называемой полуклассической аппроксимацией — то есть гибридной теорией. Они предполагают, что субатомные частицы повинуются квантовому принципу, но они позволяют гравитации быть плавной и неквантованной (то есть они исключают гравитоны из своих расчетов). Поскольку все расхождения и аномалии происходят из-за гравитонов, полуклассический подход не испытывает никаких трудностей. Однако можно математически показать, что полуклассический подход содержит противоречия, — то есть, в конечном счете, он дает неверные ответы, а потому на результаты, полученные с привлечением полуклассического подхода, опираться нельзя, особенно в самых интересных областях, таких, как центр черной дыры, вход в машину времени, а также момент Большого Взрыва. Обратите внимание, что многие «доказательства», утверждающие, что путешествия во времени невозможны или что нельзя пройти сквозь черную дыру, были сделаны при использовании полуклассической аппроксимации, а потому полагаться на них нельзя. Именно поэтому нам приходится обратиться к квантовой теории гравитации, такой, как струнная теория и М-теория.
8. В принципе, можно было суммировать всю струнную теорию в условиях нашей струнной теории поля. Однако теория не была сформулирована в окончательном виде, поскольку была нарушена инвариантность относительно преобразований Лоренца. Позднее Виттену удалось построить изящную версию теории поля открытых бозонных струн, которая являлась ковариантной. Еще позже группа ученых из Массачусетского технологического института, группа Киото и я смогли построить ковариантную теорию замкнутых бозонных струн (которая, однако, была полиномиальной, а потому работать с ней было сложно). Сегодня с приходом М-теории интерес ученых сместился к мембранам, но

еще не ясно, может ли быть разработана истинная мембранная теория поля.

9. В действительности существует несколько причин, почему десять и одиннадцать являются предпочтительными числами в струнной теории и в М-теории. Во-первых, если мы изучим представления группы Лоренца во все высших и высших измерениях, то мы обнаружим, что в целом количество фермионов возрастает экспоненциально вместе с измерением, в то время как количество бозонов увеличивается в линейной зависимости от измерения. Таким образом, лишь для малого количества измерений мы можем вывести суперсимметричную теорию с равным количеством фермионов и бозонов. Если мы тщательно проанализируем теорию групп, то обнаружим, что идеальное равновесие достигается в десяти и одиннадцати измерениях (учитывая, что мы имеем дело с частицами с максимальным спином 2, а не 3 и выше). Так, на основании исключительно теории групп мы можем показать, что предпочтительными являются десять и одиннадцать измерений.

Существуют и иные способы показать, что десять и одиннадцать являются «волшебными числами». Если мы рассмотрим диаграммы высших циклов, то обнаружим, что в целом унитарность не сохраняется, что для теории является катастрофой. Это означает, что частицы могут появляться и исчезать, словно по волшебству. Обнаруживается, что унитарность восстанавливается для теории возмущений именно в этих измерениях.

Мы можем также показать, что в десяти и одиннадцати измерениях «призрачные» частицы можно заставить исчезнуть. Это частицы, которые не подпадают под обычные условия для физических частиц.

В целом мы можем показать, что в этих «волшебных числах» мы можем сохранить а) суперсимметрию; б) конечность теории возмущений; в) унитарность ряда теории возмущений; г) лоренцевскую инвариантность; д) ликвидацию аномалий.

10. Когда физики пытаются найти решение сложной теории, они часто используют «теорию возмущений», пытаясь сначала найти решение для более простой теории, а затем проанализировать небольшие отклонения от нее. Эти небольшие отклонения в свою

очередь дают нам бесконечное множество небольших поправочных коэффициентов к оригинальной идеализированной теории. Каждая такая поправка обычно называется диаграммой Фейнмана и может быть графически описана при помощи диаграмм, представляющих все возможные варианты столкновения частиц друг с другом.

Исторически сложилось так, что физиков беспокоило то, что члены теории возмущений стремились к бесконечности, что делало всю программу бесполезной. Однако Фейнман и его коллеги изобрели ряд ухищрений и манипуляций, при помощи которых можно было замести все эти бесконечности под ковер (за что они и получили Нобелевскую премию в 1965 году).

Проблема в случае с квантовой гравитацией состоит в том, что весь этот ряд квантовых поправок действительно бесконечен — каждый поправочный коэффициент равен бесконечности, даже если мы попытаемся использовать мешок ухищрений, изобретенных Фейнманом и его коллегами. Мы говорим, что квантовая гравитация «неперенормируема».

В струнной теории такое разложение по возмущениям, по сути, конечно, что является основной причиной, почему мы прежде всего изучаем именно струнную теорию. (Технически говоря, совершенно неоспоримого доказательства не существует. Однако можно показать конечность бесконечных классов диаграмм. Были представлены математические доказательства, подтверждающие, что теория, вероятнее всего, конечна на всех ее уровнях.) Однако само по себе это разложение по возмущениям не может представлять известную нам Вселенную, поскольку разложение по возмущениям сохраняет идеальную симметрию, которой в природе мы не наблюдаем. Мы видим, что симметрии во Вселенной грубо нарушены (к примеру, до сих пор не получено экспериментального доказательства существования суперчастиц). Отсюда следует, что физикам необходимо «непертурбационное» описание струнной теории, которое является чрезвычайно сложным. В сущности, в настоящем не существует единого способа рассчитать непертурбационные поправки к квантовой теории поля. В построении непертурбационного описания заложено множество проблем. Например, если мы хотим увеличить силу взаимодействий в

данной теории, то это означает, что каждый член в теории возмущений будет становиться больше и больше и теория возмущений лишится всякого смысла. Например, сумма $1+2+3+4+\dots$ не имеет никакого смысла, поскольку каждый член приобретает все большее и большее значение. Преимущество М-теории состоит в том, что впервые мы можем достичь непертурбационных результатов через дуальность. Это означает, что можно показать, что непертурбационный предел одной струнной теории эквивалентен другой струнной теории.

11. Струнная теория и М-теория представляют радикально новый подход к общей теории относительности. В то время как Эйнштейн создавал свою общую теорию относительности исходя из концепции искривленного пространства-времени, струнная теория и М-теория основаны на концепции протяженного объекта, такого, как струна или мембрана, движущегося в суперсимметричном пространстве. В конечном итоге может оказаться возможным связать эти две картины между собой, но ясное понимание в этом вопросе еще не достигнуто.
12. В конце 1960-х, когда физики впервые занялись поисками симметрии, которая включала бы в себя все природные частицы, гравитацию в эти поиски преднамеренно не включили. Объясняется это тем, что существует два типа симметрии. Одни относятся к физике частиц — они позволяют менять частицы местами между собой. Но существует также и другой тип симметрии, который превращает пространство во время, и эти пространственно-временные симметрии связываются с гравитацией. Теория гравитации основана не на симметриях меняющихся местами точечных частиц, а на симметриях вращений в четырех измерениях: группа Лоренца в четырех измерениях $O(3,1)$.

В то время Сидни Коулмен и Джеффри Мандула доказали знаменитую теорему, гласившую, что невозможно объединить пространственно-временные симметрии, которые описывают гравитацию, с симметриями, которые описывают частицы. Эта «непроходимая» теорема разбивала в пух и прах все попытки создания «основной симметрии» Вселенной. Например, при попытке объединения группы TBO $SU(5)$ с группой теории от-

носительности $0(3,1)$ получалась катастрофа. К примеру массы частиц внезапно становились непрерывными, а не дискретными. Это удручало, поскольку означало, что нельзя объединить гравитацию с другими взаимодействиями, уповая на существование симметрии высшего порядка. Это означало, что существование единой теории поля, скорее всего, было невозможно.

Однако струнная теория решает все эти противоречивые математические проблемы при помощи самой мощной симметрии из когда-либо обнаруженных в физике — суперсимметрии. В настоящее время суперсимметрия представляет собой единственный способ, которым можно обойти теорему Коулмена — Мандулы. (Суперсимметрия пользуется маленькой, но чрезвычайно важной брешью в этой теореме. Обычно когда мы вводим числа, такие, как a и b , мы предполагаем, что $a \times b = b \times a$. Это по умолчанию предполагалось в теореме Коулмена — Мандулы. Но в суперсимметрии мы вводим «суперчисла», такие, для которых $a \times b = -b \times a$. Эти суперчисла обладают весьма причудливыми свойствами. Например, если $a \times a = 0$, то тогда a может быть не нулем, что звучит нелепо для случая с обычными числами. Если мы подставим суперчисла в теорему Коулмена — Мандулы, то обнаружим, что она больше не работает.)

13. Во-первых, она решает проблему иерархии, которая обрекает на поражение ТВО. При построении единых теорий поля мы приходим к двум серьезно отличающимся шкалам масс. Некоторые из частиц, например протон, обладают той же массой, что и в повседневной жизни. Однако другие частицы довольно массивны и обладают энергиями, сравнимыми с теми, которые можно было обнаружить в момент Большого Взрыва, с энергией Планка. Эти две шкалы масс необходимо разделять. Из-за квантовых флуктуации эти два типа масс начинают смешиваться, поскольку существует конечная вероятность того, что один набор легких частиц превратится в другой набор тяжелых частиц, и наоборот. Это означает, что должен существовать континуум частиц с массами, плавно изменяющимися от привычных нам масс до невероятно больших, которые были характерны для момента Большого Взрыва и которых мы не видим в природе. Здесь вступает суперсимметрия.

Можно показать, что в суперсимметричной теории эти две шкалы масс не смешиваются. Происходит прекрасный процесс взаимной нейтрализации, благодаря которому две эти шкалы никогда не вступают во взаимодействие друг с другом. Фермионные члены полностью аннулируются бозонными членами, что в итоге дает конечные результаты. Насколько нам известно, в суперсимметрии может заключаться единственное возможное решение проблемы иерархии.

Кроме того, суперсимметрия решает проблему, впервые поставленную в 1960-х теоремой Коулмена — Мандулы, которая доказывает, что невозможно соединить группу симметрии, действующей в кварках, такую, как $SU(3)$, с симметрией, которая действует на пространство-время, как в теории относительности Эйнштейна. Таким образом, согласно теореме существование единой симметрии для двух этих видов представлялось невозможным. Однако суперсимметрия вскрывает крошечную брешь в этой теореме. Это один из многих теоретических прорывов, содержащихся в суперсимметрии.

14. Точнее, Малдасена показал, что струнная теория типа II, компактифицированная до пятимерного антидеситтеровского пространства, была дуальной по отношению к четырехмерной конформной теории поля, располагающейся в ее границах. Первоначально существовала надежда на то, что между струнной теорией и четырехмерной КХД (квантовой хромодинамикой) может быть установлена модифицированная версия этой причудливой дуальности, а именно теория сильных взаимодействий. Если можно построить такую дуальность, то это стало бы прорывом, поскольку тогда можно было бы вычислить свойства частиц, участвующих в сильном взаимодействии, таких, как протон, непосредственно из струнной теории. Однако по состоянию на сегодняшний момент эти надежды еще не оправдались.
15. Это смещение происходит в двух вариантах. Поскольку околоземные спутники движутся со скоростью приблизительно 29 000 километров в час, то в действие вступает специальная теория относительности и время на таком спутнике замедляется. Кажется, что часы на таком спутнике идут медленнее в сравнении с часами

на Земле. Но поскольку на спутник действует более слабое гравитационное поле в космосе, время также ускоряется согласно общей теории относительности. Таким образом, в зависимости от расстояния спутника от Земли, часы на нем либо замедлят свой ход (благодаря специальной теории относительности), либо ускорятся (благодаря общей теории относительности). В сущности, на определенном расстоянии от Земли эти два эффекта в точности уравновесят друг друга, и часы на спутнике будут идти с той же скоростью, что и на Земле.

16. Космическое фоновое излучение, измеренное спутником WMAP, датируется в 379 000 лет после Большого Взрыва, поскольку именно тогда атомы начали конденсироваться впервые после первоначального взрыва. Однако гравитационные волны, которые могла бы уловить LISA, могут восходить к тому времени, когда гравитация начала отщепляться от остальных взаимодействий, что произошло незадолго после Большого Взрыва. Отсюда следует, что некоторые физики считают, что LISA сможет подтвердить или опровергнуть многие из теорий, предлагаемых сегодня, в том числе и струнную теорию.
17. В последние дни слушаний по поводу дальнейшей судьбы Сверхпроводящего суперколлайдера один из конгрессменов задал вопрос: «Что мы обнаружим с помощью этого устройства?» К несчастью, в ответ прозвучал бозон Хиггса. Практически можно было слышать, как челюсти ударились об пол: 11 миллиардов всего лишь за еще одну частицу? Один из последних вопросов задал конгрессмен Хэррис У Фозелл (Иллинойс), который спросил: «Поможет ли нам это [устройство] обнаружить Бога?» Конгрессмен Дон Риттер (Пенсильвания) добавил: «Если это устройство поможет, то я поддерживаю этот проект». К сожалению, физики не дали конгрессменам четкого и убедительного ответа.

В результате этого, а также других ошибок в общественных отношениях строительство Сверхпроводящего суперколлайдера было отменено. Конгресс США выделил нам миллион долларов на то, чтобы выкопать котлован под устройство. Затем Конгресс отменил строительство и дал нам еще один миллион — на то, чтобы его засыпать. Так, с присущей ему мудростью, Конгресс дал

нам 2 миллиона долларов на то, чтобы выкопать дыру, а затем ее засыпать — она стала самым дорогим котлованом в истории.

(Лично я считаю, что бедному физику, которому пришлось отвечать на вопрос, нужно было сказать приблизительно следующее: «Ваша честь, мы можем найти Бога и не найти Его, но наше устройство перенесет нас к Богу, каким бы именем вы ни назвали бы это божество, настолько близко, насколько только позволяют человеческие возможности. Это может раскрыть нам секрет Его величайшего поступка — создания самой Вселенной».)

18. Это можно также отнести к культуре первого типа. Во многих странах третьего мира элита говорит как на местном языке, так и на английском, таким путем поддерживая связь с последними достижениями западной культуры и моды. Таким образом, цивилизация первого типа может быть бикультурной: планетарная культура охватит весь земной шар, сосуществуя с местными культурами и обычаями. Поэтому существование планетарной культуры не обязательно означает разрушение местных культур.
19. Вероятно, может существовать цивилизация, тип которой будет выше третьего. Она может использовать темную энергию, которая составляет 73 % всего вещественно-энергетического содержимого Вселенной. В телесериале «Стар Трек» такая цивилизация была бы определена как Q поскольку энергия Q охватывает галактики.

УИЛЬЯМ АРНЦ, БЕТСИ ЧЕЙС, МАРКВИСЕНТЕ



Что мы вообще знаем?

Наука, эзотерика и повседневная реальность

Каждый из нас сам творит свою реальность! О том, как это происходит, рассказывают современные ученые и мистики (в том числе духовный учитель по имени Рамта). На основе этих очень интересных бесед был снят фильм «Что мы вообще знаем?» (*What the Bleep Do We Know?*), побивший в западном прокате все рекорды популярности среди «нехудожественных» картин, а чуть позже издана эта прекрасно иллюстрированная книга.

Большинство великих открытий и изобретений, которыми так гордится наше общество, состоялись потому, что люди задавали вопросы. Весь учебный материал, все эти ответы, которые мы изучаем в школе, имеют своим источником вопросы. Вопросы — предпосылка, если не первопричина всех человеческих знаний. Индийский мудрец Рамана Махарши говорил, что путь к Просветлению сводится к поиску ответа на вопрос «Кто Я?». Физик Нильс Бор задавался вопросом: «Как может электрон переместиться из точки А в точку В, ни разу не оказавшись между ними?» Великий Вопрос — это приглашение в путешествие по дороге открытий. Новые приключения — это радость свободы и исследования новых территорий.

Ответы на Великие Вопросы можно получить только в ходе жизненного путешествия. Мы можем прийти к ответу только дорогой незнания — или, возможно, лучше сказать «пока еще не знания». Если человек думает, что знает все ответы, как он может расти? Как может открыться для обучения?

Научно-популярное издание

Мичио Каку

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МИРЫ

**Об устройстве мироздания,
высших измерениях и будущем Космоса**

Перевод: *М. Кузнецова*

Редактор *И. Вайсбурд*

Ответственный редактор А. *Костенко*

Редактор-консультант *Е. Введенская*

Корректор *Е. Ладикова-Роева*

Оригинал-макет: *Г. Булавко*

Обложка: *В. Миколайчук*

ООО Издательство «София»

107140, Россия, Москва, ул. Красносельская Нижняя, д. 5, стр. 1

Для дополнительной информации:

Издательство «София»

04073, Украина, Киев-73, ул. Фрунзе, 160

Подписано в печать 25.12.2007 г.

Формат 60х90/16. Усл. печ. л. 26.

Тираж 3000 экз. Зак. 7191.

Отделы оптовой реализации издательства «София»

в Киеве: (044) 492-05-10, 492-05-15

в Москве: (499) 317-56-22, 317-56-44

в Санкт-Петербурге: (812) 235-51-14

Книга — почтой

в России: тел.: (495) 476-32-58

e-mail: kniga@sophia.ru

в Украине: тел.: (044) 513-51-92; 01030, Киев, а/я 41

e-mail: postbook@sophia.kiev.ua

<http://www.sophia.kiev.ua>, <http://www.sophia.ru>

Отпечатано в ОАО "Тульская типография".

300600, г. Тула, пр. Ленина, 109.



Научно-популярное издание

Эта книга — не легкое чтение. Это то, что называется «интеллектуальный бестселлер». Чем, собственно, занимается современная физика? Какова нынешняя модель Вселенной? Как понимать «многомерность» пространства и времени? Что такое параллельные миры? Насколько эти понятия как объект исследования науки отличаются от религиозно-эзотерических идей? Автор этой книги, Мичио Каку, авторитетный ученый-физик. Поэтому в «Параллельных мирах» вы не найдете помпезной «псевдонауки». Мичио Каку — опытный литератор. Он умеет писать просто. И в этой книге вы не найдете сложных математических формул. Наконец, Мичио Каку — японец, воспитывавшийся в буддийской религии. И он умеет передать читателю свое чисто восточное спокойное восхищение совершенством нашего огромного Мироздания.



СОФУЯ



