

КЭТИ МАК

КОНЕЦ ВСЕГО

5 СЦЕНАРИЕВ
ГИБЕЛИ
ВСЕЛЕННОЙ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
АСТРОФИЗИКИ





Вы смогли скачать эту книгу бесплатно на законных основаниях благодаря проекту **«Дигитека»**. [Дигитека](#) — это цифровая коллекция лучших научно-популярных книг по самым важным темам — о том, как устроены мы сами и окружающий нас мир. Дигитека создается командой научно-просветительской программы [«Всенаука»](#). Чтобы сделать умные книги доступными для всех и при этом достойно вознаградить авторов и издателей, «Всенаука» организовала всенародный сбор средств.

Мы от всего сердца благодарим всех, кто помог освободить лучшие научно-популярные книги из оков рынка! Наша особая благодарность — тем, кто сделал самые значительные пожертвования (имена указаны в порядке поступления вкладов):

Дмитрий Зимин
Алексей Сейкин
Николай Кочкин
Роман Гольд
Максим Кузьмич
Арсений Лозбень
Михаил Бурцев
Ислам Курсаев
Вадим Мельников
Павел Дорожкин
Артем Шевченко
Валерий Окулов
Евгений Шевелев
Александр Анисимов
Роман Мойсеев
Евдоким Шевелев

Мы также от имени всех читателей благодарим за финансовую и организационную помощь:

Российскую государственную библиотеку
Компанию «Яндекс»
Фонд поддержки культурных и образовательных проектов «Русский глобус».

Этот экземпляр книги предназначен только для вашего личного использования. Его распространение, в том числе для извлечения коммерческой выгоды, не допускается.

БН

**БОЛЬШАЯ
НАУКА**

KATIE MACK

THE END OF EVERYTHING:

ASTROPHYSICALLY
SPEAKING

КЭТИ МАК

КОНЕЦ ВСЕГО

5 СЦЕНАРИЕВ
ГИБЕЛИ
ВСЕЛЕННОЙ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
АСТРОФИЗИКИ

БОМБОРА™

Москва 2021

УДК 52:53
ББК 22.63
М15

The End of Everything: (Astrophysically Speaking)

by Katie Mack

Copyright © 2020 by Dr. Katie Mack

Мак, Кэти.

М15 Конец всего : 5 сценариев гибели Вселенной с точки зрения астрофизики / Кэти Мак ; [перевод с английского М. А. Райтман]. — Москва : Эксмо, 2021. — 304 с. — (Большая наука).

ISBN 978-5-04-117189-6

Астрофизик Кэти Мак рассматривает пять возможных сценариев конца Вселенной, опираясь на новейшие исследования в области физики и космологии. С одной стороны, признание конца Вселенной — это мрачное предположение. Но через юмор, метафоры, личные исследования автор создала восхитительную книгу, в которой большие идеи современной астрофизики объясняются через призму конца времен.

УДК 52:53
ББК 22.63

ISBN 978-5-04-117189-6

© Райтман М.А., перевод на русский язык, 2020
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Знакомство с космосом	9
Конец времен	11
Взгляд вверх	14
Прогнозирование судьбы космоса	15
Предупреждение о спойлере	24
Глава 2. От Большого взрыва до наших дней	27
Наблюдение Большого взрыва	35
Космическое микроволновое фоновое излучение	38
Самое начало	49
Эпоха великого объединения	55
Космическая инфляция	58
Эпоха кварков	64
Первичный нуклеосинтез	67
Поверхность последнего рассеяния	69
Космический рассвет	71
Эпоха галактик	73
Глава 3. Большое сжатие	75
Что однажды взлетело...	87
Очарование невидимого	96
Глава 4. Тепловая смерть	101
Создание карты грозного неба	102
Геометрия космоса	105
Не такое уж пустое пространство	109
Бесконечная космическая беговая дорожка	116
Медленное погружение во тьму	125
Максимальная энтропия	135

Глава 5. Большой разрыв	147
Космологическая непостоянная	149
За пределами карты	155
Большой разрыв	157
Лестница в небо	162
Термоядерно-яркий звездный свет	167
Квантовая куча	170
Космический попкорн	174
Расширение несоответствия	176
Глава 6. Распад вакуума	181
Состояние Вселенной	187
Пугливая симметрия	191
Шаткое положение космоса	198
Квантовый пузырь смерти	202
Нарываясь на неприятности	205
Туннелирование в бездну	207
Маленькая, но смертоносная	211
Радость неведения	216
Глава 7. Большой отскок	219
Невыносимая слабость гравитации	221
Освобождая место	227
Космические аплодисменты	231
И так по кругу, снова и снова	236
Глава 8. Будущее будущего	247
Прикосновение к пустоте	258
Взгляд под другим углом	265
Машины для совершения открытий	268
Сквозь тусклое стекло	276
Долгосрочная перспектива	281
Глава 9. Эпилог	283
Благодарности	291
Об авторе	295
Предметный указатель	296

*Посвящается моей матери,
которая была со мной с самого начала*

Автор выражает благодарность Фонду Альфреда Слоуна
и программе по общественному пониманию
науки за поддержку в проведении исследований
и написании этой книги.

ГЛАВА 1

ЗНАКОМСТВО С КОСМОСОМ

Кто говорит, мир от огня
Погибнет, кто — от льда.
А что касается меня,
Я за огонь стою всегда.
Но если дважды гибель ждет
Наш мир земной, — ну что ж,
Тогда для разрушенья лед
Хорош,
И тоже подойдет.

Роберт Фрост, 1920 год
(пер. М. Зенкевича)

Вопрос о том, чем все закончится, был предметом спекуляций и споров среди поэтов и философов на протяжении всей истории человечества. Разумеется, теперь, благодаря науке, мы знаем ответ: мир погибнет в огне. Определенно, в огне. Примерно через пять миллиардов лет Солнце перейдет в фазу красного гиганта, погло-

КОНЕЦ ВСЕГО

тит Меркурий и, возможно, Венеру, а Землю превратит в обугленную, безжизненную, покрытую магмой каменную глыбу. И, вероятно, даже этому бесплодному тлеющему остатку суждено в итоге угодить во внешние слои Солнца и распастся на атомы в бушующей атмосфере умирающей звезды.

Итак: огонь. Это уже ясно. Первое предположение Фроста было правильным.

Однако он мыслил недостаточно масштабно. Как космолог я изучаю Вселенную в целом. С этой точки зрения наш мир лишь пылинка, затерянная в обширном и разнообразном космосе. Меня как человека и профессионала гораздо больше волнует вопрос о конце самой Вселенной.

Мы знаем, что у нее было начало. Примерно 13,8 миллиарда лет назад Вселенная превратилась из точки невообразимой плотности в расширяющийся огненный шар, а затем в остывающий гудящий океан вещества и энергии, в котором образовались зачатки звезд и галактик, наблюдаемых сегодня. Формировались планеты, галактики сталкивались между собой, свет заполнял космос. На одной из таких планет, вращающихся вокруг обычной звезды на окраине спиральной галактики, возникла жизнь, появились компьютеры, политология и высокие двуногие млекопитающие, читающие книги по физике ради развлечения.

Но что дальше? Чем же закончится вся эта история? Смерть планеты и даже звезды, в принципе, можно пе-

резать. Человечество способно просуществовать еще миллиарды лет, возможно, в иной форме, найдя для себя пристанище в удаленном уголке космоса и создав новую цивилизацию. Однако смерть Вселенной является абсолютным концом. Что же это означает для нас и для всего остального?

КОНЕЦ ВРЕМЕН

Несмотря на существование некоторых классических (и очень занимательных) статей в научной литературе, впервые с термином «эсхатология» я столкнулась, читая о религии.

Эсхатология, или учение о конце мира, позволяет многим мировым религиям контекстуализировать богословские идеи и донести до людей их смысл. Несмотря на все теологические различия между христианством, иудаизмом и исламом, эти религии разделяют общее видение конца времен, предполагающее полное преобразование мира, победу добра над злом и вознаграждение угодных Богу людей*. Вероятно, обещание последнего суда как-то компенсирует тот печальный факт, что для наделения существования смыслом и облегчения жизни праведников мы не можем полагаться на наш несовершенный и несправедливый физический мир. Подобно роману, который может быть оправдан или перечеркнут заключительной

* Однако в вопросе распределения этих наград религии расходятся. (Здесь и далее — прим. автора, если не указано иное.)

КОНЕЦ ВСЕГО

главой, многие религиозные философии, похоже, нуждаются в идее «справедливого» конца мира для придания смысла его существованию.

Разумеется, не все версии эсхатологии предполагают искупление, и не все религии предсказывают конец времен. Несмотря на ажиотаж по поводу декабря 2012 года, народы майя придерживались циклического взгляда на Вселенную, свойственного индуистской традиции и не предусматривающего какого-либо определенного «конца». Циклы, о которых говорится в подобных традициях, предполагают не обычное повторение, а возможность улучшения. Согласно этому взгляду, вся несправедливость и страдания в современном мире могут привести к улучшению мира грядущего. С другой стороны, светские взгляды на конец времен варьируются от нигилистской точки зрения, согласно которой смысла нет ни в чем (и в конечном счете все обратится в ничто), до опрометчивого предположения о вечном возвращении, когда все, что однажды происходило, повторяется на протяжении вечности*. На самом деле обе эти, казалось бы, противоположные теории обычно приписываются Фридриху Ницше, который, провозгласив смерть любого Бога, способного привести во Вселенную порядок и наделить ее существование смыслом, был вынужден иметь дело с жизнью в космосе, не предполагавшей окончательного искупления.

* Эта точка зрения также поддерживается, хоть и не получает исчерпывающего философского осмысления, в классическом сериале начала 2000-х годов «Звездный крейсер "Галактика"».

ГЛАВА 1. ЗНАКОМСТВО С КОСМОСОМ

Разумеется, Ницше был далеко не единственным человеком, размышлявшим над смыслом существования. Каждый человек, начиная от Аристотеля, Лао-Цзы и Симоны де Бовуар и заканчивая капитаном Кирком и Баффи, истребительницей вампиров, задавался вопросом о том, что все это значит. И на момент написания данной книги мы по-прежнему очень далеки от консенсуса.

Независимо от того, каких религиозных или философских взглядов мы придерживаемся, было бы трудно отрицать, что знание судьбы нашего космоса может повлиять на то, что мы думаем о нашем существовании, и даже на наш образ жизни. Если мы хотим осмыслить свое существование, то в первую очередь нам следует задаться вопросом о том, как все это закончится. Если мы найдем на него ответ, то неминуемо возникнет вопрос, что это значит для нас сейчас. Нужно ли нам по-прежнему регулярно выбрасывать мусор, если Вселенная так или иначе обречена?

Я и сама потратила некоторое время на изучение теологических и философских текстов, и хотя в ходе этих исследований я узнала много интересных вещей, смысл существования, к сожалению, не был одной из них. Возможно, я просто отношусь к иному типу людей. На протяжении всей моей жизни меня больше всего занимали вопросы, на которые можно ответить с помощью научных наблюдений, математики и физических доказательств. Какой бы привлекательной мне ни казалась идея, что история всего мира и смысл жизни могут быть описаны в книге в форме вечной истины, я знала, что по-настоящему смогу принять лишь ту истину, которую можно доказать математически.

ВЗГЛЯД ВВЕРХ

За тысячелетия, прошедшие с того момента, как человек впервые задумался о своей смертности, философская точка зрения по этому поводу не изменилась, чего нельзя сказать об инструментах, которые мы используем, чтобы ответить на такой вопрос. Сегодня вопрос о будущем и конечной судьбе всей реальности является абсолютно научным, а задача нахождения ответа на него кажется вполне реализуемой. Однако так было не всегда. Во времена Роберта Фроста среди астрономов все еще бушевали споры о том, может ли Вселенная находиться в устойчивом состоянии, не меняясь на протяжении вечности. Идея о том, что наш космический дом является стабильным, гостеприимным и безопасным местом, в котором можно спокойно состариться, казалась очень привлекательной. Однако она была опровергнута открытием Большого взрыва и расширения Вселенной. Наша Вселенная меняется, и мы еще только начинаем разрабатывать теории и способы наблюдения, которые помогут понять, как именно. Открытия последних нескольких лет и даже месяцев наконец позволяют нам получить представление о далеком будущем космоса.

Именно этим представлением я и хочу поделиться с вами. Лучшие из имеющихся у нас измерений согласуются с несколькими апокалиптическими сценариями, часть которых может быть подтверждена или исключена в результате наблюдений, проводимых прямо сейчас. Изучение этих возможностей позволяет нам получить представление о работе на передовом крае науки и увидеть человечество

в новом контексте. В том, который, на мой взгляд, может доставить некоторую радость даже перед лицом полного уничтожения. Мы принадлежим к тому виду, который балансирует между осознанием своей ничтожности и способностью выйти далеко за пределы обыденной жизни, заглянуть в пустоту и разгадать фундаментальные тайны космоса.

Перефразируя Толстого, все счастливые Вселенные счастливы одинаково; каждая несчастливая Вселенная несчастлива по-своему. В этой книге я описываю, как небольшие изменения в нашем текущем, неполном понимании космоса могут привести к совершенно разным прогнозам на будущее, начиная от Вселенной, которая коллапсирует внутрь себя или разрывается на части, и заканчивая той, что медленно умирает, превратившись в непрерывно расширяющийся пузырь. Исследуя эволюцию нашего понимания Вселенной и разбираясь с тем, что это значит для нас, мы познакомимся с некоторыми важнейшими физическими концепциями и увидим, как они связаны не только с возможными вариантами космического апокалипсиса, но и с нашей повседневной жизнью.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУДЬБЫ КОСМОСА

Для некоторых из нас размышление на тему космического апокалипсиса уже является повседневным делом.

Я хорошо помню момент, когда узнала о том, что Вселенная может исчезнуть в любую секунду. Я сидела на полу в гостиной профессора Финни среди своих сокурсников во время нашего еженедельного чаепития. Расположившись в кресле и держа на коленях свою трехлетнюю дочь, профессор объяснил, что внезапное расширение пространства ранней Вселенной, или космическая инфляция, представляет собой настолько загадочное явление, что мы не понимаем, почему оно началось и почему закончилось, а также не можем утверждать, что оно никогда больше не повторится. Не было никаких гарантий, что стремительное и смертоносное расширение пространства не начнется прямо в тот момент, когда мы пили чай с печеньем в гостиной профессора.

Это меня ошеломило. Я почувствовала, что уже не уверена в твердости пола подо мной. В моей памяти навсегда запечатлелся образ маленького ребенка, беспокойно ерзающего во внезапно ставшем нестабильным космосе. Но профессор только слегка усмехнулся и переключился на обсуждение другой темы.

Теперь я уже признанный ученый и понимаю ту усмешку профессора. Размышление над такими мощными и неудержимыми, но математически описываемыми процессами может вызвать болезненный интерес. Возможное будущее нашего космоса было определено и рассчитано с учетом вероятности на основании лучших из доступных нам данных. Мы не знаем наверняка, может ли в следующую секунду начаться новая космическая инфляция, но на случай, если это все-таки произойдет, у нас есть гото-

ГЛАВА 1. ЗНАКОМСТВО С КОСМОСОМ

вые уравнения. В некотором роде эта мысль хорошо успокаивает: даже если у нас, слабых и беспомощных людей, нет шансов повлиять на конец Вселенной, мы, по крайней мере, можем приблизиться к его пониманию.

Многие физики со временем начинают равнодушно относиться к необъятности космоса и силам, которые слишком мощны для нашего понимания. Ученые могут свести все это к математике, скорректировать уравнения и вернуться к своим делам. Однако потрясение и головокружение от осознания хрупкости мироздания и моего собственного бессилия произвели на меня неизгладимое впечатление. В этой космической перспективе есть что-то одновременно пугающее и обнадеживающее. Это все равно что держать новорожденного младенца, ощущая тонкий баланс между хрупкостью жизни и еще не осознанным потенциалом. Говорят, что у человека, побывавшего в космосе, изменяется взгляд на мир. Это называется «эффектом обзора», когда, увидев Землю сверху, человек может в полной мере ощутить, насколько хрупок наш маленький оазис и насколько дружными нам следует быть как представителям, вероятно, единственного во Вселенной мыслящего вида.

Для меня подобным опытом стало размышление о неизбежной гибели Вселенной. В способности рассуждать о самом отдаленном будущем и в наличии инструментов, позволяющих делать это последовательно, заключается определенная интеллектуальная роскошь. Задавая вопрос, может ли все это продолжаться вечно, мы неявным образом подтверждаем собственное существование, проецируя его в отдаленное будущее, подводим итоги

КОНЕЦ ВСЕГО

и изучаем свое наследие. Признание конечности Вселенной дает нам контекст, смысл, даже надежду и позволяет, как бы парадоксально это ни звучало, отвлечься от мелких повседневных забот и одновременно жить более полной жизнью в настоящем моменте. Возможно, это и есть тот смысл, который мы ищем.

Мы определенно приближаемся к ответу. Несмотря на политическую нестабильность мира, с точки зрения науки мы живем в золотом веке. Последние открытия в области физики, а также новые технологические и теоретические инструменты позволяют нам совершать прорывы, которые раньше были невозможны. Мы совершенствовали свое понимание возникновения Вселенной на протяжении десятилетий, однако вопрос о ее возможном конце начинают исследовать только сейчас. Результаты, полученные с помощью мощных телескопов и ускорителей частиц, предоставили нам удивительные (хоть и ужасающие) новые возможности и изменили наш взгляд на то, что может или не может произойти в космосе в далеком будущем. Это область, в которой наблюдается невероятный прогресс, позволяющий нам стоять на самом краю бездны и вглядываться в абсолютную тьму. Правда, лишь путем вычислений.

Космология как область физики на самом деле занимается не поиском смысла, а раскрытием фундаментальных истин. Точно измеряя структуру Вселенной, распределение материи и энергии, а также силы, управляющие ее эволюцией, мы находим подсказки, говорящие нам о глубинных законах космоса. Люди склонны ассоциировать прорывы в области физики с экспериментами в лабораториях, од-

ГЛАВА 1. ЗНАКОМСТВО С КОСМОСОМ

нако многое из того, что мы знаем о фундаментальных законах, управляющих природой, является результатом не самих экспериментов, а понимания их связи с наблюдениями за небом. Для понимания структуры атома, например, потребовалось связать результаты экспериментов в сфере радиоактивности с рисунками спектральных линий солнечного света. Согласно закону всемирного тяготения, сформулированному Ньютоном, Луна и планеты удерживаются на своих орбитах той же силой, которая заставляет блок скользить вниз по наклонной плоскости. В конечном счете это привело к появлению общей теории относительности Эйнштейна, впечатляющему пересмотру теории гравитации, обоснованность которого была подтверждена не измерениями, проведенными на Земле, а исследованием отклонения орбиты Меркурия и видимого положения звезд во время полного солнечного затмения.

Сегодня, наблюдая за небом, мы обнаруживаем, что модели физики элементарных частиц, разрабатываемые на протяжении десятилетий в ходе тщательных исследований в лучших лабораториях мира, неполны. Изучение движения и распределения других галактик — скоплений миллиардов или триллионов звезд, подобных нашему Млечному Пути, — позволило выявить основные пробелы в теориях физики элементарных частиц. Мы пока не знаем, каким будет решение этой проблемы, однако можно с уверенностью сказать, что исследование космоса сыграет свою роль в его нахождении. Объединение космологии и физики элементарных частиц уже позволило нам определить базовую структуру пространства-времени, провести инвентаризацию компонентов реальности и заглянуть

в далекое прошлое, в эпоху, предшествующую возникновению звезд и галактик, чтобы проследить происхождение не просто живых существ, но самой материи.

Разумеется, этот подход работает в обе стороны. Не только современная космология способствует нашему пониманию микромира, но и теории элементарных частиц и эксперименты в этой области помогают нам постичь устройство Вселенной на макроуровне. Комбинация подходов «сверху вниз» и «снизу вверх» представляет собой самую суть физики. Несмотря на попытки поп-культуры свести науку к моментам озарения и впечатляющих концептуальных сдвигов, прорывы в понимании чаще всего происходят благодаря доведению существующих теорий до крайности и выявлению их слабых мест. Когда Ньютон скатывал шары вниз по склону холма или наблюдал за планетами в небе, он не мог предположить, что нам понадобится теория гравитации, которая также объясняла бы искривление пространства-времени вблизи Солнца или невообразимые гравитационные силы внутри черных дыр. Он никогда бы не подумал, что мы однажды заговорим об измерении влияния гравитации на отдельный нейтрон*. К счастью, Вселенная, будучи по-настоящему огромной, предоставляет нам множество сред с экстремальными условиями для проведения наблюдений. Бо-

* Для этого мы заставляем его подпрыгивать. В самом деле. Сначала мы охлаждаем нейтроны практически до абсолютного нуля, потом замедляем, а затем заставляем их подпрыгивать, подобно шарикю для пинг-понга на ракетке. В результате мы узнаем кое-что и о таинственной темной энергии, которая заставляет нашу Вселенную расширяться все быстрее и быстрее. Да, физика — удивительная наука.

лее того, мы даже имеем возможность изучать раннюю Вселенную, когда весь космос представлял собой среду с экстремальными условиями.

* * *

Краткое примечание по поводу терминологии. Общепринятый научный термин «космология» относится к изучению Вселенной в целом и ее истории, включая ее компоненты, эволюцию и управляющие ею фундаментальные физические законы. В астрофизике космологом называют того, кто изучает по-настоящему удаленные от нас объекты, поскольку (1) это предполагает исследование довольно обширной части Вселенной и (2) в астрономии удаленные объекты также находятся в далеком прошлом, поскольку их свету порой требуются миллиарды лет, чтобы достичь Земли. Некоторые астрофизики изучают именно эволюцию или раннюю историю Вселенной, другие специализируются на исследовании удаленных объектов (галактик, их скоплений и т. д.) и их свойств. Как область физики космологию можно отнести, скорее, к теоретическому направлению. Например, некоторые космологи, работающие на физических факультетах (в отличие от сотрудников астрономических факультетов), изучают альтернативные формулировки моделей физики элементарных частиц, которые можно было бы применить к первой миллиардной миллиардной доли секунды существования Вселенной. Другие изучают модификации теории гравитации Эйнштейна, относящиеся к таким гипотетическим объектам, как черные дыры, которые могут существовать

лишь в более высоких измерениях пространства. Третьи моделируют целые гипотетические Вселенные, полностью отличные от нашей, — Вселенные с совершенно иным устройством космоса, числом измерений и историей, чтобы понять математическую структуру теорий, которые однажды могут оказаться нам полезными*.

В результате под термином «космология» разные люди подразумевают совершенно разные вещи. Космолог, изучающий эволюцию галактик, может совершенно растеряться в разговоре с космологом, выясняющим, как квантовая теория поля объясняет испарение черных дыр, и наоборот.

Лично мне космология нравится в любом виде. Впервые я поняла, что это стоящая наука, лет в десять благодаря книгам и лекциям Стивена Хокинга. Он говорил о черных дырах и искривлении пространства-времени, о Большом взрыве и многих других вещах, заставлявших мои мозги буквально шевелиться. Я никак не могла насытиться знаниями. Когда я узнала, что Хокинг называет себя космологом, я поняла, чем хочу заниматься. На протяже-

* Теоретики струн создают множество таких теорий. (Теория струн — это общий термин для теорий, которые пытаются по-новому объединить физику гравитации и элементарных частиц, однако большая часть работы, направленной на ее развитие, в настоящее время основывается, скорее, на математических аналогах, нежели на том, что имеет отношение к «реальному» миру.) Иногда в ходе лекции по теории струн мне приходится сдерживать себя, чтобы не поднять руку и не сказать о том, что ни одно из представленных вычислений не имеет отношения к *нашей* Вселенной, на тот случай, если кто-то из присутствующих ощущал такое же замешательство, какое испытала я, начав посещать лекции, посвященные данной теме.

ГЛАВА 1. ЗНАКОМСТВО С КОСМОСОМ

нии многих лет я проводила исследования в нескольких областях физики и астрономии, изучая черные дыры, галактики, межгалактический газ, нюансы Большого взрыва, темную материю и возможность внезапного исчезновения Вселенной*. Я даже какое-то время баловалась экспериментальной физикой элементарных частиц, проводя юношеские годы в лаборатории ядерной физики, играясь с лазерами (что бы ни было написано в отчетах, тот пожар устроила не я) и плавая на надувной лодке по заполненному водой баку подземного детектора нейтрино (тот взрыв тоже произошел не по моей вине).

В настоящее время я занимаюсь в основном теорией, что, вероятно, лучше для всех. Это означает, что я не провожу наблюдений и экспериментов и не анализирую данные, хотя я часто делаю прогнозы относительно результатов будущих наблюдений или экспериментов. В основном я работаю в области, называемой феноменологией: она находится на границе между разработкой новых теорий и той сферой, в которой эти теории подвергаются фактической проверке. То есть я ищу новые пути объединения гипотез, выдвигаемых теоретиками относительно структуры Вселенной, с тем, что надеются обнаружить в своих данных астрономы-наблюдатели и физики-экспериментаторы. А это значит, что я должна знать кое-что обо всем**, и это чертовски весело.

* Это одна из самых забавных вещей, над которыми я когда-либо работала, результатом чего и стала эта книга. Не могу точно сказать, почему мне так нравится данная тема. Не исключено, что это плохой знак.

** А поскольку речь идет о Вселенной, выражение «обо всем» следует понимать буквально.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ О СПОЙЛЕРЕ

Когда я писала книгу, я смогла углубиться в вопрос о том, куда мы движемся, что все это значит и что мы можем узнать о нашей Вселенной, задавая подобные вопросы. Общепринятых ответов на них пока нет, вопрос о судьбе всего сущего остается открытым, и в этой области активно проводятся исследования, выводы которых могут резко измениться из-за небольших корректировок в интерпретации полученных данных. В этой книге мы рассмотрим пять сценариев, чаще всего обсуждаемых профессиональными космологами, и изучим лучшие из современных аргументов за и против каждого из них.

Каждый сценарий представляет собой совершенно особый вид апокалипсиса, обусловленного различными физическими процессами, однако все они сходятся в одном: конец неизбежен. Изучая современную космологическую литературу, я не обнаружила ни одного серьезного предположения о том, что Вселенная может существовать вечно без каких-либо изменений. Как минимум предполагается некий переход, который в любом случае уничтожит все, и в результате по крайней мере наблюдаемая часть космоса станет непригодной для существования какой бы то ни было организованной структуры. Учитывая вышесказанное, я буду называть это концом (приношу свои извинения читающим эти строки спонтанным квантовым флуктуациям, на время

обретшим сознание)*. Некоторые из этих сценариев намекают на возможность обновления космоса и даже на повторение тех или иных событий, однако вопрос о сохранении какой-либо памяти о предыдущих итерациях по-прежнему остается предметом жарких споров, равно как и вопрос о принципиальной возможности избежать космического апокалипсиса. Наиболее вероятной представляется точка зрения, согласно которой конец нашего небольшого островка жизни, называемого наблюдаемой Вселенной, будет абсолютным. И в этой книге, помимо всего прочего, я расскажу вам, как именно это может произойти.

Чтобы восполнить возможные пробелы в знаниях, мы начнем с краткого обзора истории Вселенной с момента ее зарождения вплоть до сегодня. А затем мы поговорим о ее гибели. Каждая из пяти глав будет посвящена различным сценариям конца Вселенной, тому, как это может произойти, как это будет выглядеть и как изменение наших знаний о физическом устройстве реальности ведет нас от одной гипотезы к другой. Мы начнем с обсуждения так называемого Большого сжатия, впечатляющего коллапса Вселенной, который может произойти в том случае, если процесс ее расширения повернется вспять. В последующих двух главах будут описаны апокалиптические сценарии, обусловленные темной энергией. Один из них предполагает бесконечное расширение Вселенной, в ходе которого она будет становиться все более пустой и темной. В другом

* Потерпите до главы 4, в которой мы подробно поговорим о «больцмановском мозге».

КОНЕЦ ВСЕГО

Вселенная буквально разрывается на части. Затем мы поговорим о распаде вакуума — спонтанном возникновении *квантового пузыря смерти**, пожирающего космос. Наконец мы зайдем на спекулятивную территорию циклической космологической модели: она допускает существование дополнительных пространственных измерений и уничтожение нашего космоса в результате столкновения с параллельной Вселенной... которое происходит снова и снова. В заключительной главе мы подведем итоги и познакомимся с последними новостями от нескольких экспертов, узнаем, какой из сценариев в настоящее время кажется наиболее правдоподобным и какие наблюдения, и эксперименты могли бы способствовать окончательному разрешению данного вопроса.

Какой смысл все это имеет для нас как для людей, живущих в необъятном и равнодушном пространстве, — уже совсем другой вопрос. В эпилоге будет представлен ряд толчков зрения на возможность сохранения каких-либо следов существования сознания после нашего исчезновения**.

Мы пока не знаем, что станет причиной уничтожения Вселенной, — огонь, лед или что-то экстраординарное. Однако бесспорным остается тот факт, что это огромное, красивое и потрясающее место, которое стоит исследовать. Пока это еще возможно.

* Технически он называется «пузырем истинного вакуума», что, надо признать, звучит не менее зловеще.

** Еще один спойлер: шансы невелики.

ГЛАВА 2

ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

Начала подразумевают и требуют завершения.

Энн Леки, «Слуги правосудия»

Мне нравятся истории о путешествиях во времени. Несмотря на то что физика машины времени вызывает споры и порождает парадоксы, есть нечто очень привлекательное в идее о том, что мы можем как-то узнать и вмешаться в прошлое и будущее, чтобы сойти с поезда, состоящего из череды моментов «сейчас», неумолимо приближающего нас к какому-то неизвестному исходу. Линейное время кажется слишком ограничивающим и даже расточительным. Почему мы должны навсегда потерять все эти возможности лишь потому, что стрелка часов отсчитала несколько секунд? Может быть, мы

КОНЕЦ ВСЕГО

и привыкли к хронологическому диктату, но это не значит, что он нас устраивает.

К счастью, космология способна помочь. Разумеется, не в практическом смысле, — мы по-прежнему говорим об относительно эзотерической отрасли физики, которая никоим образом не позволит вам вернуть зонт, если вы забыли его в поезде накануне. Скорее, речь идет о том, что после знакомства с ней ваша жизнь будет прежней, но все остальное изменится для вас навсегда.

Для космолога прошлое не является каким-то недостижимым, навсегда утраченным царством. Это реальное место, наблюдаемая область космоса, в которой мы проводим большую часть своего рабочего дня. Сидя за столом, мы можем наблюдать за развитием астрономических событий, которые имели место миллионы и даже миллиарды лет назад. И это не просто особенность, присущая лишь космологии, но свойство структуры Вселенной, в которой мы живем.

Это обусловлено тем фактом, что свет распространяется не мгновенно, а с конечной скоростью, хоть и очень высокой — примерно 300 миллионов метров в секунду. В повседневной жизни это означает, что свет от фонарика преодолевает около одной трети метра за наносекунду, и столько же времени требуется отраженному свету, чтобы достичь вас. На самом деле, когда вы смотрите на какой-то объект, изображение, которое вы видите, слегка устаревает к тому моменту, когда свет, отраженный от объекта, достигает ваших глаз. Человек, сидящий в другом углу кафе, с вашей точки зрения, находится на не-

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

сколько наносекунд в прошлом, что может частично объяснить его отсутствующее выражение лица и устаревший костюм. Все, что вы видите, находится в прошлом относительно вас. Когда вы смотрите на Луну, вы заглядываете в прошлое чуть больше, чем на секунду. Солнце вы видите с задержкой более чем в восемь минут. А созерцая звезды в ночном небе, вы заглядываете в глубокое прошлое, от которого вас отделяет от нескольких лет до тысячелетий.

Благодаря этой задержке, обусловленной конечной скоростью распространения света, астрономы могут смотреть в небо и наблюдать за эволюцией Вселенной от самого ее начала вплоть до сегодня. В астрономии мы используем такую единицу измерения, как «световой год», не только потому, что она представляет собой удобный способ обозначения огромного расстояния (около 9,5 триллиона километров, или 5,9 триллиона миль), но и потому, что она говорит нам, сколько времени потребовалось свету от объекта, чтобы достичь нас. Глядя на звезду, находящуюся на расстоянии 10 световых лет от нас, мы смотрим на 10 лет в прошлое. А рассматривая галактику, удаленную от нас на 10 миллиардов световых лет, мы заглядываем в прошлое на 10 миллиардов лет. Поскольку возраст нашей Вселенной составляет около 13,8 миллиарда лет, эта галактика может рассказать нам о состоянии Вселенной на ранних этапах ее развития. В этом смысле взгляд в космос равносителен взгляду в прошлое.

Здесь есть важный нюанс, о котором я не могу не упомянуть. Технически мы не можем видеть собственное прошлое. Задержка, обусловленная конечной скоростью

КОНЕЦ ВСЕГО

света, означает, что чем сильнее от нас удален объект, тем в более глубоком прошлом он находится, и это работает в обе стороны: мы не только не способны увидеть собственное прошлое, но и не можем узнать, что происходит с этими далекими галактиками в настоящем. Чем сильнее от нас удален объект, тем дальше он находится на космической временной шкале.



Рис. 1. *Время прохождения света.* Иногда мы выражаем расстояние в световых секундах, световых минутах и световых годах, поскольку это позволяет нам понять, сколько времени потребовалось свету, чтобы достичь нас, и, следовательно, насколько далеко в прошлое мы заглядываем (на представленных иллюстрациях масштаб не соблюден)

Так как же мы можем узнать что-то о собственном прошлом, глядя на прошлое далекой галактики? Все сводится к основному положению космологии, которое называется «космологическим принципом». В соответствии с этим положением для всех наблюдателей, где бы они ни находились, Вселенная выглядит примерно одинаково. Очевидно, в человеческих масштабах это не так, — поверхность

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

Земли существенно отличается от глубокого космоса или центра Солнца, однако когда речь идет о космических масштабах, в которых целые галактики представляются отдельными незначительными пятнышками, Вселенная выглядит одинаково во всех направлениях и состоит из одних и тех же компонентов*.

Эта идея тесно связана с принципом Коперника, еретическим мнением, высказанным в XVI веке. Николай Коперник считал, что мы не занимаем какого-то «особенного положения» в космосе, а находимся в совершенно обычном месте, которое могло быть выбрано абсолютно произвольно. Поэтому, когда мы смотрим на галактику, удаленную от нас на миллиард световых лет, и видим ее такой, какой она была миллиард лет назад во Вселенной на миллиард лет моложе той, в которой мы находимся, мы можем с уверенностью полагать, что в то время здесь имелись примерно такие же условия. На самом деле это предположение можно проверить с помощью наблюдений. Исследование распределения галактик по всему космическому пространству показало, что единообразие, подразумеваемое космологическим принципом, наблюдается во всех направлениях.

Таким образом, если мы хотим узнать об эволюции самой Вселенной и условиях, в которых развивалась наша

* Научная фантастика предпочитает игнорировать этот факт. В одном из ранних эпизодов сериала «Звездный путь: следующее поколение» герои случайно преодолевают миллиард световых лет за несколько секунд и оказываются в некоей бездне, наполненной мерцающей голубой энергией, которую, существуя она в реальности, мы могли бы увидеть в телескоп.

КОНЕЦ ВСЕГО

галактика Млечный Путь, все, что нам нужно сделать, это посмотреть на очень удаленный от нас объект.

Это также означает, что в космологии на самом деле нет четко определенного понятия «сейчас». Иными словами, переживаемый вами «настоящий момент» сильно зависит от того, где вы находитесь и что делаете*. Как можно говорить, что «взрыв сверхновой происходит сейчас», когда мы наблюдаем, как она взрывается, в настоящий момент, но свет от нее шел к нам миллионы лет? То, что мы видим, по сути, принадлежит прошлому, однако «настоящее» этой взорвавшейся звезды нами ненаблюдаемо, и мы не получим о нем никаких сведений на протяжении миллионов лет, что делает ее «настоящее» нашим будущим.

Когда мы воспринимаем Вселенную как существующую в пространстве-времени — всеобъемлющей универсальной сетке, в которой пространство имеет три измерения, а время является четвертым, мы можем думать о прошлом и будущем как об отдаленных точках единого полотна, тянущегося по всему космосу от его зарождения до самого конца. Для наблюдателя, находящегося в другой точке этого полотна, событие, принадлежащее нашему будущему, может быть далеким прошлым. И свет (или любая другая информация об этом событии), который мы не увидим на протяжении еще нескольких тысячелетий, прямо «сейчас» несется к нам сквозь пространство-время.

* За это мы должны благодарить относительность. Согласно специальной теории относительности, время для нас замедляется, когда мы движемся быстро. Общая теория относительности говорит о том, что оно замедляется вблизи массивного объекта.

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

Так принадлежит ли это событие будущему, прошлому или, может быть, и тому, и другому? Все зависит от положения наблюдателя.

У человека, привыкшего мыслить в терминах трехмерного мира*, от этого голова может пойти кругом, однако для астрономов конечная скорость света представляет собой фантастически полезный инструмент. Благодаря этому мы можем изучать историю космоса не по косвенным подсказкам и следам, а непосредственно наблюдая за тем, как он изменяется с течением времени. Мы можем увидеть Вселенную в возрасте всего трех миллиардов лет, когда в ней формировались звезды и вспыхивали галактики, а также как их блеск потускнел за прошедшие зоны. Мы можем заглянуть еще дальше в прошлое и увидеть, как материя втягивалась в сверхмассивные черные дыры спустя менее 500 миллионов лет после зарождения Вселенной, когда звездный свет еще только начинал заполнять межгалактическую тьму.

Совсем скоро благодаря новым космическим телескопам мы сможем рассмотреть некоторые из самых ранних галактик, которые сформировались, когда возраст Вселенной составлял всего несколько сотен миллионов лет. Но можно ли заглянуть еще дальше в прошлое, когда никаких галактик не было? У нас есть такие планы. Разрабатываемые в настоящее время радиотелескопы, возможно, помогут нам увидеть материал, из которого сформировались

* Когда Док Браун из фильма «Назад в будущее» сказал: «Ты забываешь про четвертое измерение!», он имел в виду именно таких людей.

КОНЕЦ ВСЕГО

первые галактики, благодаря особому взаимодействию света и водорода. Глядя на водород, вещество, из которого однажды сформируются звезды и галактики, мы можем наблюдать за возникновением самых первых структур во Вселенной.

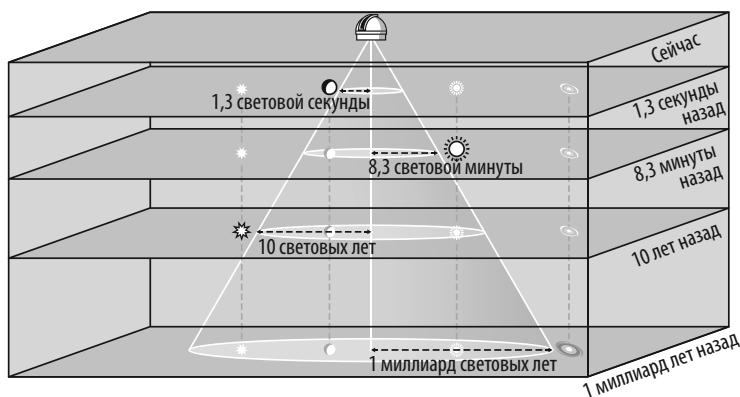


Рис. 2. Движение света в пространстве-времени.

На этой диаграмме ход времени направлен снизу вверх и показано только два пространственных измерения вместо трех. Позиции четырех стационарных объектов соединены вертикальными пунктирными линиями, обозначающими их положение в разное время. «Световой конус» — это область прошлого, которую мы можем наблюдать из обсерватории. Он охватывает все объекты, свет от которых уже успел до нас дойти. Мы можем увидеть галактику, удаленную от нас на миллиард световых лет, такой, какой она была миллиард лет назад, но мы не можем узнать, как она выглядит «сейчас», поскольку эта версия галактики находится за пределами нашего светового конуса

Но что если мы заглянем еще дальше в прошлое, в то время, когда не было ни звезд, ни галактик, ни водорода? Можем ли мы увидеть сам Большой взрыв?

Да, можем.

НАБЛЮДЕНИЕ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

Как правило, под Большим взрывом понимается некий пожар, внезапно разгоревшийся из одной точки и заполнивший Вселенную светом и веществом. Однако все было совсем не так. Это был не взрыв *во* Вселенной, а расширение *самой* Вселенной. И произошел он не в одной, но в *каждой* точке пространства. Все существующие сегодня точки Вселенной — место на краю далекой галактики, область межгалактического пространства, комната, в которой вы родились, — в начале времен находились в тесном соседстве, а в первый момент Большого взрыва начали стремительно удаляться друг от друга.

Логика теории Большого взрыва довольно проста. Вселенная расширяется, — мы видим, что расстояние между галактиками увеличивается с течением времени, а это означает, что в прошлом галактики находились ближе друг к другу. Мы можем провести мысленный эксперимент, перемотав наблюдаемое сейчас расширение на миллиарды лет назад до того момента, когда расстояние между галактиками было равно нулю. Наблюдаемая Вселенная, охватывающая

КОНЕЦ ВСЕГО

все, что мы видим сегодня, в момент своего зарождения должна была занимать несопоставимо меньший объем и представлять собой гораздо более плотный и горячий сгусток вещества. Однако наблюдаемая Вселенная ограничена той частью космоса, которую мы видим сейчас. Мы знаем, что космос простирается намного дальше. На самом деле, исходя из того, что нам известно, вполне вероятно, что Вселенная бесконечна. А это значит, что она была бесконечна и в самом начале. Просто намного плотнее.

Такое сложно себе представить. Бесконечности в этом смысле вызывают большие трудности. Что такое бесконечное пространство? Что означает его расширение? Как может бесконечное пространство становиться еще более бесконечным?

Боюсь, я не смогу ответить на эти вопросы.

Конечному мозгу чрезвычайно сложно осмыслить идею бесконечного пространства. Я лишь могу сказать, что в математике и физике существуют способы обращаться с бесконечностью, которые не нарушают законов логики. Как космолог я исхожу из того, что Вселенная может быть описана математически, и если эта математика работает и оказывается полезной при решении новых задач, я ее использую*.

* Несмотря на кажущуюся легкомысленность этого заявления, в нем заключена довольно важная идея. До сих пор мы, физики, в основном занимались описанием Вселенной с помощью математических конструкций, которые называются *моделями*, а также проведением экспериментов и наблюдений с целью проверки и уточнения этих моделей вплоть до нахождения той, которая лучше всего соответствует результатам наблюдений. Затем мы пытаемся сломать эту

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

Точнее, если математика работает, а несколько иное предположение (например, о том, что Вселенная не бесконечна, но настолько велика, что мы никогда не сможем отыскать ее пределы) никак не влияет на наш опыт или измерения, мы можем придерживаться более простого предположения. Итак, Вселенная бесконечна. С этим можно работать.

В любом случае, говоря о теории Большого взрыва, мы на самом деле имеем в виду, что, судя по текущей скорости расширения и его истории, когда-то давно Вселенная была намного горячее и плотнее, чем сегодня*. Иногда весь промежуток времени, на протяжении которого Вселенная была горячей и плотной (примерно 380 000 лет), называют «Горячим Большим взрывом»**.

Мы даже можем количественно определить, насколько «горячим и плотным» было это состояние, и проследить историю Вселенной в обратном направлении от того прохладного и приятного космоса, каким мы наслаждаемся сейчас, до адской скороварки, условия в которой были

модель. Дело не в том, что мы верим, будто математика является чем-то фундаментальным для Вселенной, а в том, что у нас просто нет другого осмысленного подхода к решению подобных задач.

* «ВСЯ наша Вселенная находилась в горячем плотном состоянии, а затем почти 14 миллиардов лет назад она начала расширяться...» Да, участники группы *Varennaked Ladies* все правильно поняли: начало заглавной песни для сериала «Теория Большого взрыва» на самом деле очень хорошее изложение самой теории.

** Разумеется, это было еще задолго до появления понятия «год», поскольку отсутствовала планета, вращающаяся вокруг звезды и определяющая эту единицу измерения. Однако для удобства мы можем использовать собственные единицы для отсчета времени, прошедшего с момента зарождения Вселенной.

настолько экстремальными, что они не вписываются в наше понимание законов физики.

Тем не менее речь идет не о простом теоретизировании. Одно дело вычислять более высокие значения давления и температуры, экстраполируя процесс расширения в прошлое, и совсем другое — наблюдать этот ад воочию.

КОСМИЧЕСКОЕ МИКРОВОЛНОВОЕ ФОНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

История о том, как мы перешли от размышлений о Большом взрыве к его наблюдению, представляет собой классический пример счастливого открытия в космологии. В 1965 году физик по имени Джим Пиблс из Принстонского университета произвел расчеты расширения космического пространства и сделал поразительный вывод о том, что излучение Большого взрыва должно пронизывать Вселенную и сегодня. Более того, оно должно быть обнаруживаемо. Он рассчитал ожидаемую частоту и интенсивность этого излучения и совместно с коллегами Робертом Дике и Дэвидом Уилкинсоном приступил к созданию прибора для его детектирования. Между тем, неподалеку от них в лаборатории Белла (Bell Labs) астрономы Арно Пензиас и Роберт Вильсон готовились провести астрономические наблюдения с помощью детектора микроволнового излучения, который ранее использовался

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

в коммерческих целях. (Микроволны представляют собой вид электромагнитного излучения, имеющего более высокую частоту, чем радиоволны, но более низкую, чем инфракрасное излучение или видимый свет). Во время калибровки инструмента для своих исследований Пензиас и Вильсон, совершенно не думавшие о коммерции и увлеченные изучением неба, обнаружили странный шум. Очевидно, раньше он не мешал использовать телескоп для приема радиосигналов, отраженных от стратостатов, поэтому пользователи его игнорировали. Однако в этот раз речь шла о науке, так что проблему нужно было устранить. Тем не менее, в каком бы направлении ученые ни поворачивали детектор, шум, причинявший множество неудобств, никуда не исчезал.

Помехи представляют собой весьма распространенную проблему на этапе калибровки, и для их возникновения существуют разнообразные причины, например незакрепленный кабель, находящийся поблизости радиопередатчик и множество других вибраций механического происхождения. (Недавний прорыв в радиоастрономии был связан с выяснением того факта, что излучение, детектируемое радиотелескопом в обсерватории Паркса, на самом деле представляло собой помехи от микроволновой печи, работавшей в столовой). Пензиас и Вильсон исследовали детектор вдоль и поперек и даже учли вероятность того, что источником шума могла оказаться небольшая стая голубей, гнездящихся в антенне*. Однако, что бы они ни

* К сожалению, это расследование не очень хорошо закончилось для голубей, которые, как позже выяснилось, были совершенно ни при чем.

КОНЕЦ ВСЕГО

делали, им так и не удалось ни избавиться от этих помех, ни отыскать их источник. Поэтому им пришлось рассмотреть вероятность того, что сигнал идет из космоса, причем сразу со всех сторон. Но что это могло быть? Все, что исходит от планет или Солнца, должно детектироваться только в определенные моменты времени и в определенных направлениях, и даже излучение нашей галактики Млечный Путь не может быть совершенно однородным.

И тут в дело вступает команда из Принстона.

Расчеты Пиблса показали, что если на раннем этапе своего развития Вселенная была горячей повсюду, то в настоящее время мы должны везде обнаруживать следы этого излучения. Он рассуждал следующим образом. Поскольку, заглядывая дальше в космос, мы смотрим в более глубокое прошлое, а в далеком прошлом Вселенная представляла собой один большой огненный шар, то если заглянуть достаточно далеко, можно увидеть часть Вселенной, которая до сих пор охвачена огнем. Иными словами, если 13,8 миллиарда лет назад вся предположительно бесконечная Вселенная была пронизана радиацией, то должны существовать удаленные области, излучение от которых достигает нас только сейчас. В каком бы направлении мы ни смотрели, если мы заглянем достаточно далеко, то увидим эту далекую огненную Вселенную. При этом мы смотрим не на области пространства, которые отличаются от всех остальных, а скорее в то время, когда все пространство было в огне.

Таким образом, это фоновое излучение должно исходить отовсюду, вне зависимости от вашего местоположения,

поскольку вы всегда можете заглянуть достаточно далеко, чтобы увидеть горячую фазу космоса. Это возможно благодаря неразрывной связи между скоростью света и «путешествиями во времени». Каждая точка пространства является центром собственной сферы постоянно углубляющегося прошлого, ограниченной огненной оболочкой.

Пиблс это понял и, как принято у физиков, поделился невероятными догадками с коллегами. Он даже распространил препринт работы, в которой описал план по обнаружению данного излучения. Окольными путями слухи об этом достигли лаборатории Белла, находящейся в 60 километрах от них.

Кен Тернер, присутствовавший на лекции Пиблса, посетил обсерваторию Аресибо в Пуэрто-Рико и во время обратного перелета побеседовал с другим астрономом, Бернардом Берком, о том, как было бы здорово обнаружить излучение, оставшееся после Большого взрыва. Вернувшись в офис, Берк позвонил Пензиасу по поводу какой-то другой работы и случайно упомянул о беседе в самолете*.

* Не зная об этом ничего, кроме истории с голубями, несколько лет назад я столкнулась Бернардом Берком в Массачусетском технологическом институте, и мы разговорились. Слушая его рассказ о какой-то из прошлых работ, я вдруг поняла, что он говорит о своей телефонной беседе с самим Пензиасом и между делом сообщает о том, что он фактически послужил катализатором для одного из важнейших открытий в истории физики. Что-то подобное произошло со мной на конференции несколько лет назад, когда я встретила Тома Киббла, который сформулировал большую часть теории, имеющей отношение к бозону Хиггса. Мораль истории: слушайте заслуженных профессоров; возможно, они незаметно революционизировали вашу область исследований.

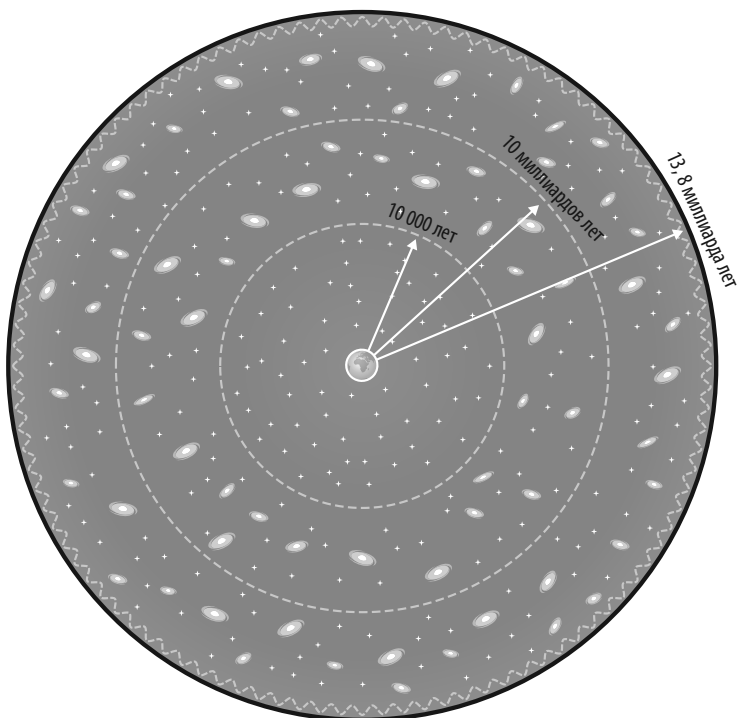


Рис. 3. Условная карта наблюдаемой Вселенной. Глядя с Земли на объекты, удаленные от нас на определенное расстояние, мы можем увидеть различные эпохи. На приведенной диаграмме обозначено несколько окружающих нас сфер с указанием времени, которое потребовалось свету для того, чтобы достичь Земли (lookback time). Максимальное расстояние, на которое мы в принципе способны заглянуть, ограничено сферой, свет от которой, начав распространяться в момент зарождения Вселенной, достигает нас прямо сейчас. Эта сфера называется наблюдаемой Вселенной

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

Могу предположить, что в этот момент Пензиасу пришлось присесть, поскольку он вдруг осознал, что они с Вильсоном оказались первыми людьми, фактически увидевшими Большой взрыв. Он взял двухдневную паузу, поговорил со своим коллегой, а затем позвонил Роберту Дике, который тут же повернулся к Пиблсу и Уилкинсону и сказал: «Нас обскакали».

И действительно, Пензиас и Вильсон получили Нобелевскую премию в 1978 году за первое наблюдение того, что получило название космического микроволнового фонового излучения (или реликтового излучения)*.

Космическое микроволновое фоновое излучение, или КМФИ, стало одним из самых важных инструментов для изучения истории Вселенной. Трудно переоценить его значение как в качестве набора астрономических данных, так и в качестве технологического достижения. Благодаря ему мы теперь можем собирать и анализировать данные о свечении горячего раннего космоса и составлять карты на их основе. Первым делом открытие КМФИ полностью подтвердило гипотезу о том, что ранняя Вселенная представляла собой один огромный пылающий адским жаром шар.

Но как мы можем быть уверены, что фоновое излучение, которое мы обнаруживаем, на самом деле исходит от начального огненного шара, а не, скажем, от какого-то

* В процессе написания этой книги я получила радостную новость о том, что Пиблс был награжден Нобелевской премией 2019 года за вклад в развитие теоретической стороны этого открытия. Так что, возможно, в мире все-таки есть какая-то справедливость. Правда, на голубей она не распространяется.

странного далекого скопления звезд или чего-то другого? Судя по всему, неопровержимым доказательством является световой спектр, отражающий зависимость степени яркости излучения от его частоты.

Представьте, что вы помещаете кочергу в разожженный камин и ждете, пока она начнет светиться красным. Это красное свечение не принадлежит к свойствам самого металла, а представляет собой явление, происходящее с телом, которое нагревается, но не загорается. Такое свечение называется тепловым излучением, и его цвет зависит только от температуры. Если тело светится синим, оно горячее тела, которое светится красным. На самом деле, если бы вы видели в инфракрасном спектре, вы могли бы наблюдать тепловое излучение, исходящее от людей, горячей еды и нагретых солнцем тротуаров. Тело человека излучает в низкочастотной части инфракрасного диапазона, поскольку оно намного холоднее открытого пламени (если, конечно, дела у этого человека не совсем плохи).

Однако испускаемое телом излучение не ограничивается видимым светом. Все излучающие свет тела, кроме лазеров, испускают волны различных частот (или цветов), при этом цвет, воспринимаемый глазом, соответствует наиболее интенсивному свету. (Вот почему лампы накаливания горячие на ощупь: несмотря на то что большая часть испускаемого ими света относится к видимому спектру, они также излучают в инфракрасном диапазоне, что заставляет их нагреваться)*. Для всех видов теплового излучения,

* Проницательный читатель помнит, что на самом деле это человеческий организм ощущает инфракрасный свет как тепло. (Прим. ред.)

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

в том числе для того, которое испускается раскаленной кочергой, человеческим телом и голубым пламенем конфорки газовой плиты, сохраняется одна и та же взаимосвязь между интенсивностью света и частотой. В зависимости от температуры тела наиболее яркий свет будет соответствовать пиковой длине волны, а по обе стороны от пика свет будет быстро тускнеть. Построив график зависимости интенсивности излучения от длины волны, мы получим кривую, описывающую характер излучения абсолютно черного тела, воспроизводимую всеми телами, которые светятся в результате нагревания*. Оказалось, что при измерении интенсивности космического микроволнового фонового излучения на разных частотах получается самая точная кривая излучения черного тела из когда-либо полученных в природе. Единственным объяснением является то, что сама Вселенная когда-то была очень горячей.

Согласно легенде, когда этот результат был впервые представлен в виде графика на одной из конференций, аудитория буквально взорвалась аплодисментами. Отчасти такой энтузиазм был обусловлен тем, что измерение оказалось чрезвычайно впечатляющим и точным, а также идеально вписывающимся в теорию (что всегда бывает очень приятно). Однако я совершенно уверена, что другой причиной было осознание людьми того, что они

* «Абсолютно черным телом» называется гипотетический объект, который поглощает весь падающий на него свет и излучает его в виде тепла. Разумеется, в природе не существует таких идеальных объектов; все тела отражают немного света, а часть его поглощается без переизлучения. Однако большинство материалов при нагревании начинают светиться, и характер этого свечения примерно соответствует форме кривой излучения черного тела.

фактически наблюдают Большой взрыв. Лично меня это поражает до их пор.

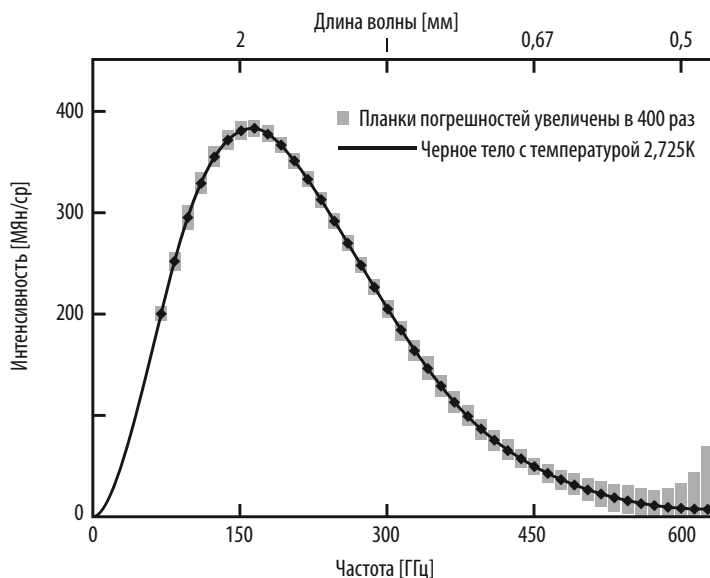


Рис. 4. Чернотельный спектр космического микроволнового фонового излучения. Высота графика обозначает интенсивность излучения на данной частоте (длине волны). Точками показаны экспериментальные данные с планками погрешностей, при этом погрешность увеличена в 400 раз, чтобы планки не были полностью скрыты сплошной линией, соответствующей ожидаемому спектру излучения черного тела с температурой 2 725 Кельвина ($-270\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Реликтовое излучение не только представляет собой удивительное явление, но и дает нам возможность узнать

о первых мгновениях жизни Вселенной и ее эволюции. Кроме того, оно предоставляет нам некоторые подсказки о том, к чему все идет, как мы увидим в следующих главах.

Однако если вы составите карту реликтового излучения, на которой цветом будет обозначена разница температур в различных областях неба, она может показаться вам довольно скучной из-за практически полного отсутствия цветовых вариаций. Тем не менее, обнаруживаемые мельчайшие отклонения могут многое нам рассказать. Если увеличить контрастность, карта КМФИ превратится в пятнистое полотно, напоминающее абстрактную картину, нарисованную в стиле пуантилизма огромной кистью размером с полную Луну, если смотреть на нее с Земли. Пятна одного цвета скапливаются в определенных местах, а в других смешиваются с пятнами другого цвета. При этом некоторые пятна оказываются чуть более красными, а некоторые — чуть более синими*. Цветовые вариации показывают те места, где бурлящая первичная космическая плазма была чуть холоднее или горячее из-за незначительной разницы в плотности, — плотность в каждой точке отклоняется от среднего значения не более чем на одну стотысячную. (Чтобы представить, сколько это, вылейте в бассейн банку с газировкой).

* Весь свет находится в микроволновой части спектра, поэтому «красные» области соответствуют низкочастотному микроволновому излучению, а «синие» — высокочастотному микроволновому излучению, однако при составлении карт мы используем именно цвета, например красный и синий, которые способен различать человеческий глаз.

С помощью тщательных расчетов мы можем определить, как эти крошечные вариации плотности за несколько тысячелетий превращаются в целые скопления галактик. Гравитационный коллапс — очень мощная вещь. Сгусток вещества, плотность которого превышает плотность находящейся поблизости материи, будет притягивать эту материю, все больше и больше увеличивая контраст с менее плотной областью. Богатые становятся богаче, а бедные — беднее.

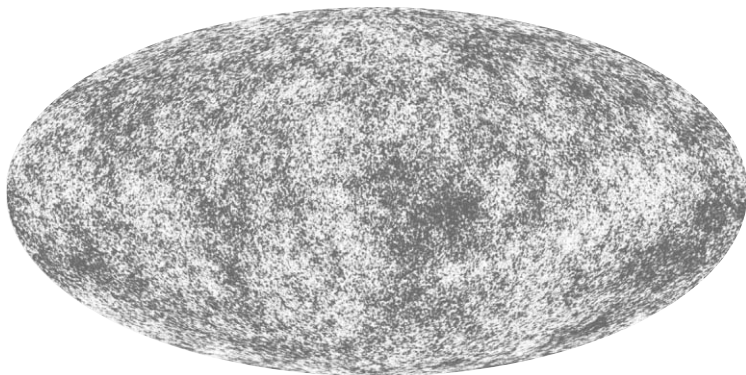


Рис. 5. *Космическое микроволновое фоновое излучение.* Это карта неба, построенная в проекции Мольвейде на основе данных о микроволновом излучении (после удаления излучения нашей галактики). Темные области чуть более холодные (или красные) и соответствуют более низкочастотному микроволновому излучению, а светлые — чуть более горячие (или синие) и соответствуют более высокочастотному излучению. Таким образом, они обозначают соответственно более плотные и менее плотные области ранней Вселенной

С помощью компьютерного моделирования, которое позволяет за несколько секунд показать процессы, занимающие миллиарды лет, мы можем наблюдать, как чуть более плотный сгусток материи притягивает достаточное количество окружающего его менее плотного газа, формируя первую звезду во Вселенной. Эти звезды образуются в первых галактиках, которые собираются в скопления, превращая пятнистую карту КМФИ в наблюдаемую сегодня космическую паутину из узлов, нитей и пустот, усыпанную галактиками, сверкающими, словно капли росы. Если вы сравните результаты одной из этих компьютерных симуляций с реальной трехмерной картой космоса, каждая точка которой представляет собой одну галактику, вам будет очень сложно их различить.

Итак, Большой взрыв имел место. Мы его наблюдали, мы его рассчитали, теория подтвердилась. Теперь устраивайтесь поудобнее возле сияющего космического черного тела и послушайте историю происхождения космоса.

САМОЕ НАЧАЛО

Далеко не всю космическую историю можно наблюдать непосредственно. События, имевшие место за несколько сотен тысяч лет до окончания стадии огненного шара и спустя около полумиллиона лет после него, чрезвычайно сложно поддаются изучению. В первом случае это происходит из-за слишком большого количества света (представьте, что вы пытаетесь посмотреть сквозь стену

огня), а во втором — из-за слишком малого его количества (представьте, что вы пытаетесь рассмотреть пылинки в воздухе между вами и стеной огня). Однако реликтовое излучение, говорящее нам, что произошло прямо посередине между этими событиями, позволяет произвести экстраполяцию в обоих направлениях и получить убедительные данные о том, как развивалась Вселенная на протяжении 13,8 миллиарда лет, начиная с первой миллиардной миллиардной доли секунды.

Итак, начнем?

Вначале была сингулярность.

Возможно. Сингулярность — это первое, что приходит на ум большинству людей, когда они думают о Большом взрыве: бесконечно плотная точка, взрыв которой привел к возникновению Вселенной. Правда, сингулярность не обязательно должна представлять собой точку. Это может быть просто бесконечно плотное состояние бесконечно большой Вселенной. И, как уже говорилось выше, взрыва как такового не было, поскольку взрыв подразумевает расширение в чем-то, а не расширение всего. Идея о том, что все началось с сингулярности, основана на наблюдении за текущим расширением Вселенной, применении уравнений гравитационного поля Эйнштейна и экстраполяции в обратном направлении. Однако эта сингулярность, возможно, никогда не имела места. По мнению большинства физиков, то, что произошло через долю секунды после истинного «начала» Вселенной, представляло собой драматическое сверхрасширение, которое просто стерло

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

все следы того, что происходило до этого. Таким образом, сингулярность — это лишь одна из многих гипотез о том, как все началось.

Также существует вопрос о том, что было до сингулярности. В зависимости от того, кому вы его зададите, этот вопрос может оказаться бессмыслицей (поскольку сингулярность — начало времени и пространства, никакого «до» нее не было) или представлять собой один из наиболее важных вопросов в космологии (поскольку сингулярность может являться конечной точкой предыдущего вселенского цикла, состоящего из Большого взрыва и Большого сжатия). Мы поговорим о второй возможности в главе 7, а пока о сингулярности вам достаточно знать лишь то, что она могла иметь место. Даже «отмотав назад» расширение Вселенной, мы ничего не смогли бы сказать об этой точке, поскольку сингулярность представляет собой настолько экстремальное состояние материи и энергии, что наши познания в области физики не позволяют его описать.

Для физика сингулярность — патологическое явление. Это то место в уравнениях, где некая величина, которая до сих пор вела себя предсказуемым образом (например, плотность вещества), начинает стремиться к бесконечности, что делает невозможным получение какого-либо осмысленного результата. В большинстве случаев столкновение с сингулярностью говорит о том, что в ваших вычислениях что-то пошло не так и вам нужно вернуться к началу. Обнаружить в своей теории сингулярность все равно что получить от своего навигатора инструкцию подъехать к краю озера, разобрать свой автомобиль,

собрать из него лодку и переправиться на ней на другой берег. Возможно, это действительно единственный способ добраться до нужного места, однако, скорее всего, вы просто где-то свернули не туда.

Но на практике свести на нет физику, какой мы ее знаем, можно и без истинной сингулярности. Каждый раз, когда в очень малом пространстве оказывается очень много энергии, вам приходится одновременно иметь дело и с квантовой механикой (теорией, описывающей физику частиц), и с общей теорией относительности (теорией гравитации). В обычных обстоятельствах вы можете учитывать что-то одно, поскольку гравитация, как правило, имеет большое значение при работе с массивными объектами, что позволяет игнорировать отдельные частицы, тогда как квантовая механика в основном важна в микромире, где вклад гравитации оказывается несущественным. Однако при столкновении с экстремальной плотностью вам приходится использовать обе теории, а они очень плохо сочетаются друг с другом. Экстремальная гравитация предполагает существование отдельных массивных объектов, которые искривляют пространство и изменяют течение времени, а квантовая механика позволяет частицам проходить сквозь твердые преграды или существовать в виде облаков вероятностей. Фундаментальная несовместимость теорий для очень массивных и очень маленьких объектов намекает нам на то направление, в котором следует двигаться при создании новых, более совершенных теорий. Однако это также сильно затрудняет изучение того, что происходило на очень ранних этапах развития Вселенной.

Отсутствие полноценной теории квантовой гравитации (примирающей физику элементарных частиц с гравитацией) ограничивает нас в том, как далеко мы можем зайти в экстраполяции данных о Вселенной, получая при этом осмысленный результат. Мы неизбежно достигаем той точки, когда дальнейшее продвижение оказывается невозможным. В этот момент значения плотности вырастают настолько, что эффекты экстремальной гравитации предположительно начинают конкурировать с нечеткостью, присущей квантовой механике, и мы просто не знаем, что с этим делать. Приводит ли сильная гравитация к формированию микроскопических черных дыр, которые затем случайным образом появляются и исчезают из-за квантовой неопределенности? Имеет ли время хоть какое-то значение тогда, когда форма пространства является не более предсказуемой, чем результат броска игральной кости? Как ведут себя пространство и время в микромасштабе — как отдельные частицы или как волны, которые интерферируют друг с другом? Существуют ли кротовые норы? Существуют ли драконы? Мы понятия не имеем.

Однако, поскольку нам необходимо точно определить момент возникновения этой путаницы, мы используем такую единицу, как планковское время*, которая

* Единица названа в честь Макса Планка, одного из создателей квантовой теории. Существуют также такие единицы, как планковская энергия, длина и масса, определяемые через различные комбинации фундаментальных констант, одной из которых является постоянная Планка, имеющая первоочередное значение для всего, что обладает квантовой природой. Если вы обнаружите в своих уравнениях постоянную Планка, готовьтесь к появлению различных странностей.

КОНЕЦ ВСЕГО

охватывает промежуток времени от нуля до примерно 10^{-43} секунды, что соответствует одной секунде, деленной на 10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 (это 1 с 43 нулями). Достаточно сказать, что этот период невообразимо короткий. И, чтобы было ясно, дело не в том, что мы можем объяснить все, что произошло после окончания этого периода, а в том, что в настоящее время мы определенно не можем объяснить ничего из того, что произошло до его окончания.

Подведем промежуточные итоги: возможно, сингулярность имела место. Если это так, то за ней сразу же последовала эпоха, называемая планковским временем, о которой мы мало что можем сказать.

По правде говоря, вся временная шкала ранних этапов развития Вселенной по-прежнему является результатом экстраполяции, и я с готовностью признаю, что ей не следует полностью доверять. Вселенная, которая расширяется, начиная с сингулярности, проходит через невообразимый диапазон температур, от практически бесконечно высокого значения в точке сингулярности до прохладной комфортной среды современного космоса, температура которого примерно на 3 градуса превышает абсолютный нуль. Что мы можем сделать, так это выдвинуть предположения о том, какой должна быть физика во всех этих средах, что вы и видите в данной главе. И хотя стандартная теория постепенного расширения, начавшегося с сингулярности, имеет серьезные недочеты (с которыми мы вскоре столкнемся), мы все же можем многое узнать о том, как работает физика,

размышляя, что могло бы произойти, будь стандартная теория верна.

ЭПОХА ВЕЛИКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ

Согласно стандартной теории Большого взрыва, после Планковской эпохи наступила эпоха великого объединения. (Под термином «эпоха» я подразумеваю промежуток времени продолжительностью около 10^{-35} секунды). Эпоха великого объединения была названа в честь Теории великого объединения (ТВО), которая представляет собой утопический идеал «единой» теории, описывающей, как все силы физики элементарных частиц работали вместе в экстремальных условиях ранней Вселенной. Несмотря на то что Вселенная быстро остывала, она все еще была настолько горячей, что количество энергии в каждой точке пространства в триллион раз превышало энергию, генерируемую самыми мощными столкновениями в наших самых совершенных ускорителях частиц. К сожалению, отчасти вследствие такой огромной разницы, не позволяющей нам провести экспериментальные испытания, эта теория до сих пор находится на стадии разработки. Тем не менее, мы можем многое сказать о ней и о том, чем она отличается от того, что мы наблюдаем сегодня.

В обычных условиях современной Вселенной каждая фундаментальная сила природы играет особую роль. Гравитация не дает нам всем улететь с Земли, электричество

обеспечивает нас светом, магнетизм удерживает список покупок на дверце холодильника, слабое ядерное взаимодействие гарантирует стабильную работу ядерных реакторов, а сильное ядерное взаимодействие не дает распастыся протонам и нейтронам, составляющим наши тела. Однако физические законы, определяющие работу этих сил, их взаимодействие друг с другом и возможность их различения, зависят от условий, в которых проводятся измерения. В частности, от энергии окружающей среды или от температуры. При достаточно высоких уровнях энергии эти силы начинают сливаться и объединяться, изменяя характер взаимодействия частиц и сами законы физики.

Давно известно, что даже в обычных условиях электричество и магнетизм являются аспектами одного и того же явления, на основе которого работают электромагниты и динамо-машины генерируют электричество.

Подобная возможность объединения — просто подарок для физиков. Мы всегда очень радуемся, когда можем взять два сложных явления и сказать: «На самом деле, если вы посмотрите на них под этим углом, вы увидите, что они представляют собой одно и то же». В некотором смысле в этом и заключается конечная цель теоретической физики — отыскать способ объединения всех сложных вещей, которые нас окружают, в нечто красивое, компактное и простое, что всего лишь кажется сложным с нашей странной низкоэнергетической позиции.

В физике элементарных частиц эта попытка получила название Великого объединения. Основываясь на теории

и результатах экстраполяции данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов, мы считаем, что при очень высоких уровнях энергии электромагнетизм, слабое и сильное ядерные взаимодействия объединяются, превращаясь в нечто совершенно иное. При этом нет никакого способа их различить, поскольку все силы являются компонентами одной и той же смеси частиц и энергии, описываемой Теорией великого объединения. Было разработано и предложено несколько ТВО, однако сложность достижения тех уровней энергии, где происходит объединение, затрудняет их подтверждение или исключение, поэтому мы назовем это «областью активных исследований», которой не мешает дополнительное финансирование.

Вероятно, вы заметили, что гравитация не была приглашена на вечеринку ТВО. Чтобы включить гравитацию в общую картину, нам нужно нечто более грандиозное и всеобъемлющее, чем Теория великого объединения, — нам нужна Теория всего (ТВ). Большинство физиков считают, что в конце Планковской эпохи гравитация была каким-то образом объединена с другими силами (с драконами или с чем-то еще, что тогда имело место). Однако, как мы уже говорили, общая теория относительности и физика элементарных частиц не очень хорошо работают вместе в их нынешнем виде, поэтому в разработке Теории всего мы достигли даже меньшего прогресса, чем в разработке ТВО. Многие люди в качестве возможной окончательной ТВ рассматривают теорию струн. Однако если ТВО трудно проверить экспериментально, то проверить ТВ фактически невозможно, по крайней мере, с помощью тех технологий, которые мы в состоянии себе представить. Время от

времени вспыхивают споры о том, верно ли это и можно ли считать непроверяемые теории наукой. Я не думаю, что ситуация настолько ужасна, как нам кажется. Космология может помочь решить данную проблему (и я говорю это не просто потому, что я сама космолог). В некоторых случаях, применив творческий подход, можно найти заманчивые возможности для проверки предсказаний теории струн и связанных с ней идей путем наблюдения за космосом. Если нам удастся пережить пару апокалипсисов, описанных в следующих нескольких главах, мы увидим, что космология способна рассказать о фундаментальной структуре Вселенной гораздо больше, чем любой эксперимент с частицами.

Однако давайте вернемся к истории. Мы оставили позади Планковскую эпоху с присущей ей квантово-гравитационной путаницей и наслаждаемся единством фундаментальных взаимодействий, свойственным чуть менее спекулятивной эпохе Великого объединения.

КОСМИЧЕСКАЯ ИНФЛЯЦИЯ

То, что произошло дальше, все еще остается предметом дискуссий, однако большинство космологов согласны в том, что примерно в этот момент Вселенная пережила процесс, который мы называем космической инфляцией. По каким-то причинам, нам не до конца понятным, расширение Вселенной внезапно ускорило, и та область,

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

которой предстояло стать нашей наблюдаемой Вселенной, увеличилась в размерах более чем в 100 триллионов триллионов (т. е. 10^{26}) раз. Разумеется, при этом она достигла всего лишь размера пляжного мяча, однако, учитывая, что начальная точка была неизмеримо меньше любой известной нам частицы, а процесс расширения занял примерно 10^{-34} секунды, это не может не произвести впечатление.

Теория инфляции позволила решить несколько по-настоящему сложных проблем, свойственных стандартной модели Большого взрыва. Одна из них была связана со странной однородностью космического микроволнового фонового излучения, а другая — с крошечными отклонениями в нем.

Проблема однородности заключается в том, что стандартная космологическая модель Большого взрыва никак не объясняет тот факт, что вся наблюдаемая Вселенная, включая области, находящиеся на противоположных сторонах неба, имела одну и ту же температуру на ранних стадиях развития. Изучая отголоски Большого взрыва, мы видим, что она была одинаковой везде, что, если подумать, кажется весьма странным совпадением. Как правило, два объекта могут иметь одинаковую температуру в том случае, если они находятся в состоянии, которое мы называем термодинамическим равновесием. Это означает, что у таких объектов есть возможность обмениваться теплом, а также время для этого. Если вы оставите чашку кофе в комнате на достаточно долгое время, кофе и воздух будут взаимодействовать друг с другом, и в итоге вы получите чашку с кофе комнатной температуры

и комнату с немного более теплым воздухом. Проблема стандартной картины ранней Вселенной состоит в том, что она не предусматривает ситуацию, в которой две отдаленные области могли бы взаимодействовать друг с другом и достичь теплового равновесия. Если мы возьмем две точки на противоположных сторонах небосвода и выясним расстояние между ними сейчас и расстояние, которое разделяло их в самом начале, 13,8 миллиарда лет назад, мы обнаружим, что в истории Вселенной не было момента, когда они находились достаточно близко для того, чтобы лучи света могли перемещаться между ними, уравнивая их температуру. Луч света, покинувший одну из этих точек в момент возникновения Вселенной, даже за 13,8 миллиарда лет не успел бы преодолеть расстояние до другой точки. Они всегда находились вне горизонтов друг друга и не имели возможности как-то взаимодействовать*. Таким образом, либо мы имеем дело

* В этом упрощенном объяснении есть один нюанс, который не дает мне покоя. С одной стороны, я говорю, что эти области никогда не взаимодействовали друг с другом, однако я также заявляю, что Вселенная началась с сингулярности, где, как можно предположить, расстояния между всеми объектами были равны нулю. Причина, по которой это не решает проблему, заключается в следующем. Возьмите две точки, которые в настоящее время находятся на противоположных сторонах небосвода. Предположим, что в нулевое время расстояние между ними равнялось нулю. Проблема заключается в том, что во все последующие моменты времени эти области не взаимодействовали между собой и не могли обмениваться информацией (например, лучами света, несущими информацию о температуре). «А как насчет самого нулевого момента?» — спросите вы. Несмотря на то что мы можем обозначить первый момент как нулевой, речь буквально идет о нулевом времени, поскольку само время началось с сингулярности. Так что до этого момента у этих точек не было времени для обмена

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

с самым масштабным совпадением во Вселенной, либо на ранней стадии ее развития произошло некое событие, которое обеспечило это равновесие.

Проблему отклонений сформулировать чуть проще. Она сводится к вопросу о том, откуда взялись крошечные флуктуации плотности в космическом микроволновом фоновом излучении, и чем объясняется их распределение.

Теория космической инфляции решает обе эти проблемы, наряду с несколькими другими. Основная идея состоит в том, что в ранней Вселенной был период времени после сингулярности, но до окончания стадии огненного шара, когда она расширялась невероятно быстро. Эта теория допускает существование периода на ранней стадии развития Вселенной, когда очень маленькая область могла достичь теплового равновесия и увеличиться до размера наблюдаемой нами Вселенной в результате быстрого расширения. Представьте, что будет, если взять сложную абстрактную картину и растянуть ее так, чтобы весь вид закрывало пятно одного цвета. По сути, при расширении Вселенной одна из ее областей, которая изначально была достаточно мала, чтобы успеть достичь теплового равновесия, увеличилась и превратилась в то, что мы называем наблюдаемой Вселенной.

С помощью теории инфляции и квантовой физики также можно объяснить флуктуации плотности. Существенное

информацией (потому что не было самого времени), и каждый последующий момент имеет ту же проблему, связанную со слишком большой их удаленностью для обмена информацией.

различие между физикой субатомного мира и физикой макромира состоит в том, что каждому взаимодействию отдельных частиц присуща неустранимая неопределенность. Возможно, вы уже слышали о принципе неопределенности Гейзенберга, который говорит о существовании предела точности любого измерения, обусловленного присущей квантовой механике неопределенностью, так или иначе искажающей результат. Если вы очень точно измерите положение частицы, вы не сможете определить ее скорость, и наоборот. Даже если вы оставите частицу в покое, она все равно будет подвержена случайным блужданиям, и при каждом ее измерении вы будете получать несколько иной результат.

Как это связано с реликтовым излучением? Согласно гипотезе, инфляция была вызвана неким энергетическим полем, подверженным квантовым флуктуациям, или случайным колебаниям. Эти колебания в микроскопическом масштабе представляют собой лишь кратковременные вспышки, но они изменяют плотность в том микромасштабе, в котором происходят, а вследствие расширения превращаются в достаточно существенные неравномерности в распределении плотности первичного газа. Существование небольших пятен в космическом микроволновом фоновом излучении объяснимо, если принять тот факт, что они являются результатом естественной многотысячелетней эволюции флуктуаций, возникших в первые 10^{-34} секунды существования космоса. Из этих самых пятнышек в итоге сформировались все наблюдаемые сегодня галактики и их скопления.

Тот факт, что распределение самых больших структур во Вселенной может быть точно сопоставлено с колебаниями квантового поля, не перестает меня поражать. Связь космологии с физикой элементарных частиц нигде не проявляется так ярко, как при исследовании космического микроволнового фонового излучения.

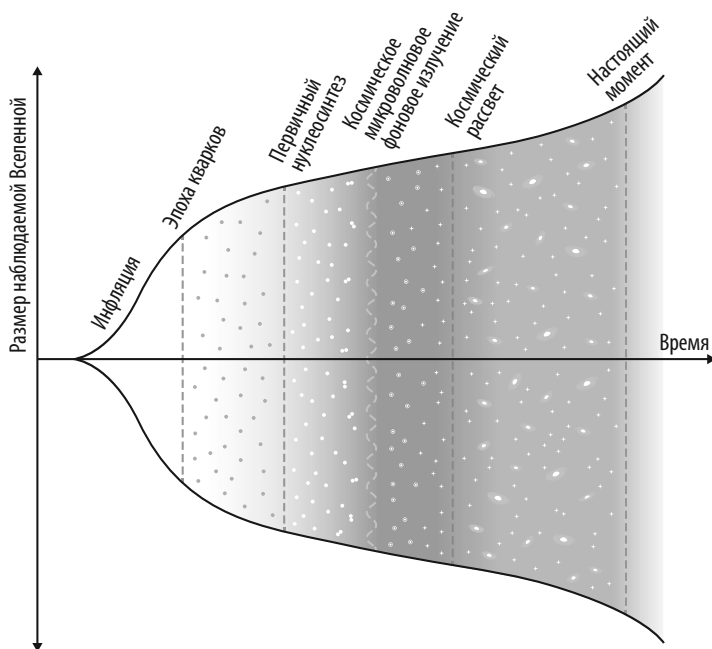


Рис. 6. Временная шкала эволюции космоса. Размер наблюдаемой Вселенной быстро увеличивался на стадии инфляции, имевшей место сразу после ее зарождения. С тех пор Вселенная продолжает расширяться, но более медленно. На приведенном изображении указаны некоторые важнейшие моменты истории космоса

Однако мы забегаем вперед. До образования реликтового излучения пройдет еще множество эонов. Мы преодолели лишь 10^{-34} секунды, и нам еще о многом нужно поговорить.

К моменту окончания стадии инфляции молодая Вселенная стала намного более холодной и пустой по сравнению с моментом своего зарождения. Процесс, называемый «вторичным нагревом», привел к повсеместному повышению температуры, чем вызвал дальнейшее постепенное расширение и охлаждение.

ЭПОХА КВАРКОВ

Если до инфляции космос, скорее всего, можно было бы описать Теорией великого объединения, то после ее окончания он начал приближаться к состоянию, отвечающему современным законам физики. Впрочем, до этого еще далеко. На данной стадии сильное ядерное взаимодействие уже покинуло вечеринку ТВО, а электромагнетизм и слабое ядерное взаимодействие по-прежнему оставались объединенными в некое «электрослабое» взаимодействие. Однако в первичном бульоне* уже начали формироваться частицы, а именно, кварки и глюоны.

В наши дни кварки чаще всего встречаются в виде компонентов протонов и нейтронов (которые вместе назы-

* Проницательный читатель, конечно же, замечает разницу в значении этого термина в физике и биологии. (Прим. ред.)

ГЛАВА 2. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО НАШИХ ДНЕЙ

ваются адронами). Глюоны представляют собой своеобразный «клей», который связывает кварки посредством сильного ядерного взаимодействия. Глюоны настолько хорошо справляются со своей задачей, что, несмотря на распространенность систем, включающих два, три, а иногда четыре и пять кварков, обнаружить отдельный кварк до сих пор никому не удавалось. Оказывается, если у вас есть два кварка, связанных вместе в экзотической частице, называемой мезоном, вам придется потратить на их разделение столько энергии, что, прежде чем вы сможете добиться своего, энергия, которую вы затратили, спонтанно породит еще два кварка. Поздравляю! Теперь у вас два мезона.

Однако в ранней Вселенной действовали иные правила. Мало того, что силы природы подчинялись другим законам, саму Вселенную заполняла другая смесь частиц, а температуры были настолько высокими, что кварки не могли существовать в стабильном связанном состоянии. Кварки и глюоны свободно отскакивали друг от друга в кипящей смеси, называемой кварк-глюонной плазмой, которая представляет собой своего рода ядерный аналог пламени.

Эпоха кварков продолжалась до тех пор, пока Вселенная не достигла зрелого возраста в одну микросекунду. Незадолго до этого (вероятно, около отметки в 0,1 наносекунды) электрослабое взаимодействие разделилось на электромагнетизм и слабое ядерное взаимодействие. Примерно в это же время произошло нечто, позволившее отделить материю от антиматерии (ее злобного близнеца),

КОНЕЦ ВСЕГО

в результате чего большая часть содержащейся во Вселенной антиматерии аннигилировала*. Как и почему такое произошло, до сих пор остается загадкой, однако нам следует этому радоваться, поскольку в противном случае мы рисковали бы столкнуться с античастицами и исчезнуть во вспышке гамма-лучей.

Об эпохе кварков и о кварк-глюонной плазме мы знаем гораздо больше, чем об эпохе Великого объединения. Соответствующая теория довольно хорошо разработана и не так сильно отклоняется от стандартной физики элементарных частиц, как ТВО, а эксперименты подтверждают прогнозы, основанные на теории электрослабых взаимодействий. Однако настоящий прорыв состоит в том, что мы способны воссоздать кварк-глюонную плазму в лаборатории. Такие ускорители частиц, как Релятивистский коллайдер тяжелых ионов (RHIC, The Relativistic Heavy Ion Collider) и Большой адронный коллайдер (БАК, или LHC, Large Hadron Collider), сталкивая между собой ядра золота или свинца на чрезвычайно высоких скоростях, способны создавать крошечные огненные шары, настолько горячие и плотные, что они сдавливают все частицы и на мгновение заполняют коллайдер кварк-глюонной плазмой. Наблюдая, как после столкновений обломки «замерзают», превращаясь в обычные адроны, ученые могут изучить свойства этой экзотической материи, а также действие законов физики в таких экстремальных условиях.

* Сегодня мы обнаруживаем антиматерию в некоторых видах взаимодействия частиц, однако в основном мы замечаем ее тогда, когда частица встречает свою античастицу и происходит их аннигиляция (взаимное уничтожение) с выделением энергии.

Если исследование реликтового излучения позволяет нам увидеть Большой взрыв, то ускорители частиц дают нам попробовать на вкус первичный бульон*.

ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ

После окончания фазы кварк-глюонной плазмы температура Вселенной понизилась достаточно для того, чтобы в ней начали образовываться некоторые из знакомых нам частиц. Спустя примерно одну десятую долю миллисекунды после возникновения Вселенной в ней сформировались первые строительные блоки обычной материи — протоны и нейтроны, за которыми вскоре последовали электроны. Где-то около двухминутной отметки Вселенная охладилась до комфортной температуры в миллиард градусов Цельсия, что гораздо горячее, чем центр Солнца, но достаточно прохладно для того, чтобы сильное ядерное взаимодействие могло объединить друг с другом только что возникшие протоны и нейтроны. Из них образовалось первое атомное ядро — форма водорода, называемая дейтерием (один протон, связанный с одним нейтроном; технически один протон также может считаться ядром, поскольку он

* Кроме того, они дают нам подсказку относительно возможного конца времен: результаты недавних открытий говорят о том, что Вселенная может погибнуть в любой момент совершенно неожиданным образом. Однако обо всем этом мы поговорим далее в книге; давайте не будем забегать вперед. Скорее всего, нам все-таки удастся дожить до главы 6.

является центром атома водорода). Вскоре такие ядра уже формировались повсюду. Некоторые протоны и нейтроны начали объединяться, образуя ядра гелия, трития, а также лития и бериллия. Этот процесс, называемый первичным нуклеосинтезом, продолжался около получаса до тех пор, пока Вселенная не остыла и не расширилась настолько, что частицы могли удаляться друг от друга на достаточное расстояние и уже не сливаться.

Одним из лучших подтверждений теории Большого взрыва является факт обнаружения тесной связи между нашими наблюдениями за космосом и расчетным количеством элементов, которое мы ожидаем, основываясь на оценках температуры и плотности первичного огненного шара. Это соответствие не совершенное — существует некоторая путаница, связанная с количеством лития, которая может свидетельствовать о какой-то неизвестной пока странности, свойственной ранней Вселенной. Что же касается водорода, дейтерия и гелия, фактическое их количество прекрасно согласуется с тем, которое мы ожидали бы обнаружить, если бы на ранних этапах своего развития весь космос представлял собой одну большую ядерную топку.

Кроме того, факт, что почти весь водород во Вселенной образовался в первые несколько минут после ее возникновения, говорит о том, что большая часть составляющего наш организм вещества в той или иной форме существовала во Вселенной практически на протяжении всей ее истории. Возможно, вы уже слышали, что «мы состоим из звездной пыли» (или «звездного вещества», как выра-

зился Карл Саган), и это абсолютно верно, если судить по массе. Все наиболее тяжелые элементы в нашем теле — кислород, углерод, азот, кальций и т. д. — сформировались позднее, либо в недрах звезд, либо в результате их взрывов. Что касается количества, то самым распространенным элементом в нашем организме является водород (наиболее легкий элемент). Таким образом, мы действительно отчасти состоим из пыли древних поколений звезд. Однако мы также в значительной степени состоим из побочных продуктов Большого взрыва. Так что утверждение Карла Сагана остается в силе: «Мы — способ, которым Космос познает себя».

ПОВЕРХНОСТЬ ПОСЛЕДНЕГО РАССЕЯНИЯ

После окончания стадии первичного нуклеосинтеза содержимое Вселенной начало понемногу успокаиваться. К этому моменту смесь частиц была уже более или менее стабильной и оставалась таковой вплоть до появления первых звезд миллионы лет спустя. Однако на протяжении многих сотен тысяч лет космос все еще представлял собой горячую, гудящую плазму, состоящую в основном из ядер водорода и гелия и свободных электронов, между которыми сновали фотоны (частицы света).

С течением времени Вселенная расширялась, и излучение и материя распространялись. Иногда я представляю эту фазу ранней Вселенной в виде путешествия из центра

КОНЕЦ ВСЕГО

Солнца наружу, только вместо движения в пространстве в данном случае происходит движение во времени. Оно начинается из центра Солнца, где температура и плотность настолько высоки, что атомные ядра сливаются друг с другом, образуя новые элементы. Внутренняя часть Солнца заполнена светом. Фотоны непрерывно отскакивают от электронов и протонов с такой силой, что им могут потребоваться сотни тысяч лет для того, чтобы достичь поверхности. По мере приближения к ней плазма становится все менее плотной, благодаря чему свет может перемещаться на большие расстояния, не сталкиваясь с препятствиями. После достижения поверхности он может свободно распространяться в космосе.

Аналогичным образом, в результате путешествия во времени, длившегося примерно 380 000 лет, начиная с первых минут существования Вселенной, весь космос превратился из горячей плотной плазмы в охлаждающийся газ из протонов и электронов, способных объединиться в нейтральные атомы, позволяя свету свободно распространяться между ними вместо того, чтобы постоянно отскакивать от заряженных частиц. Мы называем конец этой стадии огненного шара ранней Вселенной «поверхностью последнего рассеяния», поскольку речь идет о своего рода поверхности во времени, когда свет высвобождается из плазменной ловушки и получает возможность беспрепятственно путешествовать сквозь космос.

Именно это мы видим, когда наблюдаем космическое микроволновое фоновое излучение: момент, определяющий окончание Горячего Большого взрыва и переход

ко Вселенной, в которой свет распространяется в темном и безмолвном пространстве. Этот момент также можно считать началом космического периода Темных веков, — промежутка времени, в течение которого газ медленно охлаждался и конденсировался в сгустки под воздействием первичных колебаний плотности. Примерно у отметки в 100 миллионов лет один из этих сгустков становится настолько плотным, что на его месте вспыхивает звезда, знаменующая начало эпохи, получившей название «Космический рассвет».

КОСМИЧЕСКИЙ РАССВЕТ

Преобразование темной, наполненной газом Вселенной в космос, залитый светом звезд и галактик, в основном было обусловлено некой экзотической материей, которую нам пока не удалось воссоздать в самых мощных ускорителях частиц. Наряду с излучением, газообразным водородом и другими первичными элементами в ранней Вселенной существовало вещество, которое мы называем темной материей. Хотя на самом деле она не темная, а невидимая, — кажется, что она совершенно не желает каким-либо образом взаимодействовать со светом. Она ничего не излучает, не поглощает и не отражает. Насколько мы можем судить, луч света просто проходит сгусток темной материи насквозь. Однако темная материя способна оказывать гравитационное воздействие. Когда обычная материя пытается сконденсироваться в сгусток под действием собственной гравитации, она

испытывает давление, направленное в обратную сторону. Однако темная материя способна конденсироваться, не ощущая воздействия этой силы. Побочным эффектом отсутствия взаимодействия со светом оказалось то, что эта материя вообще ни с чем не взаимодействует, поскольку в большинстве случаев столкновения между частицами материи происходят вследствие электростатического отталкивания, условием которого является взаимодействие со светом. (Фотоны представляют собой частицы света, однако они также переносят электромагнитное взаимодействие, поэтому нечто невидимое не испытывает электромагнитного притяжения или отталкивания). Нет электромагнетизма — нет давления.

Первые небольшие сгустки вещества, сформировавшиеся в результате колебания плотности в конце фазы инфляции, состояли из радиации, темной и обычной материи. Поскольку обычное вещество испытывало на себе воздействие давления и смешивалось с излучением, поначалу только темная материя могла слипаться под влиянием гравитации. Позднее, когда Вселенная расширилась еще больше, позволив радиации распространиться, а материи остыть, газ смог попасть в эти гравитационные колодцы и сконденсироваться в звезды и галактики. Даже сегодня структура материи в самых больших масштабах, то есть космическая сеть галактик и их скоплений, поддерживается паутиной из сгустков и нитей темной материи. В эпоху космического рассвета эти невидимые сгустки и нити начали светиться по мере того, как звезды и галактики зажигались в темноте, словно сказочные огоньки.

ЭПОХА ГАЛАКТИК

Следующий переходный момент в развитии Вселенной наступил тогда, когда в космосе появилось столько звездного света, что он ионизировал окружающий газ, который к окончанию стадии огненного шара стал нейтральным. Интенсивный звездный свет снова разделил атомы водорода на свободные электроны и протоны, породив гигантские пузыри ионизованного газообразного водорода, окружающие самые яркие скопления галактик. Формирование этих расширяющихся пузырей ознаменовало начало эпохи реионизации (приставка «ре» говорит о том, что газ был ионизирован в самом начале во время Большого взрыва, а теперь подвергся повторной ионизации светом звезд). Этот переходный процесс, который завершился где-то у отметки в миллиард лет, в настоящее время является одним из рубежей наблюдательной астрономии, и мы еще только начинаем понимать, как и когда он произошел. На протяжении следующих 13 миллиардов лет происходило примерно одно и то же: галактики формировались и объединялись, сверхмассивные черные дыры накапливали массу в центрах галактик, рождались и жили своей жизнью новые звезды.

Итак, в конце концов мы очутились в том космосе, каким мы его видим сегодня, — в этой огромной и прекрасной паутине галактик, сияющих во тьме. Наша собственная бело-голубая планета вращается вокруг умеренного размера желтой звезды в галактике, которая по всем параметрам близка к средней. И, несмотря на то что нам до сих пор не удавалось обнаружить однозначных признаков

КОНЕЦ ВСЕГО

этого, наша ничем не примечательная галактика вполне может изобиловать жизнью, поскольку взрывы сверхновых звезд уже давно обеспечили каждый из миллиардов миров основными компонентами для развития биологических форм. Согласно текущим оценкам, в каждой десятой звездной системе есть планета, чей размер и расстояние до звезды позволяет воде на поверхности находиться в жидком состоянии, что может служить признаком существования жизни. В триллионе других галактик в наблюдаемой Вселенной может обитать бесчисленное множество различных видов существ со своей цивилизацией, искусством, культурой, наукой и совершенно особым взглядом на историю космоса. В каждом из этих миров существа, похожие или сильно отличающиеся от нас, тоже могут обнаружить слабый гул космического микроволнового фонового излучения, прийти к выводу о произошедшем когда-то Большом взрыве и к пониманию того, что наш общий космос существовал не всегда, а имел начало, первую частицу и первую звезду.

И те другие существа, как и мы, могут прийти к тому же самому заключению: Вселенная не является статичной, она когда-то возникла и неизбежно должна однажды исчезнуть.

ГЛАВА 3

БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

Предлагаю начать с конца света. Покончим с ним и перейдем к более интересному.

Н. К. Джемисин, «Пятое время года»

В темную безлунную осеннюю ночь, находясь в Северном полушарии, посмотрите вверх и найдите на небе созвездие Кассиопея в виде буквы W. Вглядитесь в пространство под ним, и, если небо будет достаточно темным, вы увидите тусклое размытое пятно, ширина которого примерно соответствует диаметру полной луны. Это галактика Андромеды, огромный спиральный диск с триллионом звезд и сверхмассивной черной дырой в центре, который несется нам навстречу со скоростью 110 километров в секунду.

Примерно через четыре миллиарда лет галактика Андромеды и наша галактика Млечный Путь столкнутся, устроив потрясающее световое шоу. Звезды будут сходиться со своих орбит, образуя звездные потоки, простирающиеся сквозь космос изящными дугами. Внезапное

КОНЕЦ ВСЕГО

столкновение галактического водорода приведет к рождению новых звезд. Газ воспламенится вокруг спящих в центре галактик сверхмассивных черных дыр, которые начнут постепенно сближаться друг с другом, пока не сольются воедино. Струи интенсивного излучения и частиц высоких энергий будут пронзать хаотический клубок газа и звезд, а в центральной области новой галактики «Млечномеда» образуется испускающий рентгеновское излучение водоворот обреченной материи, падающей в новую, еще более массивную черную дыру.

Даже в самый разгар этой галактической катастрофы лобовые столкновения между звездами маловероятны из-за огромных расстояний между ними. Солнечная система в целом, скорее всего, выживет. Чего нельзя сказать о Земле. К тому моменту Солнце уже перейдет в стадию красного гиганта, в результате чего температура Земли увеличится настолько, что океаны полностью испарятся, и жизнь на ее поверхности станет невозможной. Однако, если человечеству удастся найти пристанище в другой части Солнечной системы, то на протяжении нескольких миллиардов лет люди смогут любоваться впечатляющим зрелищем, наблюдая за процессом объединения двух огромных спиральных галактик. Когда струи частиц иссякнут и отбушуют взрывы сверхновых, получившаяся в результате объединения галактик масса будет представлять собой гигантское эллипсоидное скопление старых и умирающих звезд.

Каким бы катастрофическим ни казалось слияние галактик его непосредственным участникам, оно представляет собой вполне обычное космическое явление и довольно

ГЛАВА 3. БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

завораживающее, если наблюдать его с огромного расстояния. Большие галактики разрывают на части и поглощают более мелкие; соседние звездные системы сливаются друг с другом. Существуют свидетельства того, что наш Млечный Путь поглотил десятки своих более мелких соседей, — мы до сих пор можем видеть гигантские звездные хвосты, закручивающиеся вокруг диска нашей галактики, словно обломки, оставшиеся после межзвездной автомобильной катастрофы.

Однако в масштабе Вселенной подобные столкновения становятся все более редким явлением. Вселенная расширяется, — пространство, то есть расстояние между объектами, а не сами объекты, увеличивается. Это означает, что отдельные галактики и группы галактик в среднем все сильнее удаляются друг от друга. Внутри самой группы и скопления слияния по-прежнему могут иметь место. В непосредственной близости от нас находятся звездные системы, объединенные в группу с невыразительным названием «Местная группа галактик», представляющую собой разношерстную компанию небольших и неправильных галактик, на фоне которых выделяются две гигантские спирали, и всем им рано или поздно суждено слиться воедино. Однако объекты, находящиеся на больших расстояниях, порядка нескольких десятков миллионов световых лет, судя по всему, удаляются от нас.

В долгосрочной перспективе главный вопрос следующий: будет ли это расширение продолжаться бесконечно или оно когда-то закончится и обратится вспять? Откуда мы вообще знаем, что расширение имеет место?

КОНЕЦ ВСЕГО

Когда вы находитесь во Вселенной, которая расширяется равномерно во всех направлениях, вы наблюдаете не расширение как таковое, а скорее удаление всех объектов от вас. С Земли видно, как далекие галактики разбегаются от нас, будто мы их каким-то образом отталкиваем. Однако если бы мы внезапно оказались в галактике за миллиард световых лет отсюда, мы и там увидели бы, как Млечный Путь и все остальные объекты, находящиеся за пределами некоторой области, удаляются от нас. Этот феномен является несколько контринтуитивным следствием равномерного и повсеместного расширения пространства.

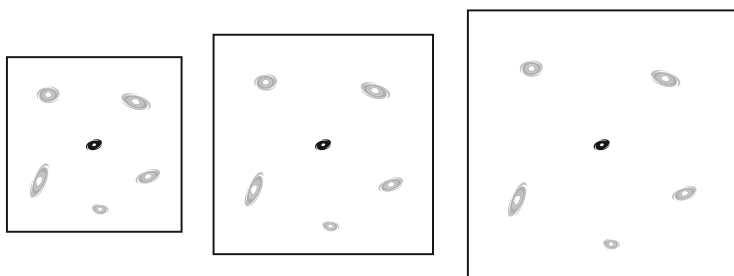


Рис. 7. *Иллюстрация процесса расширения космического пространства. На приведенном изображении расширение Вселенной проиллюстрировано с помощью увеличивающегося в размере квадрата. С течением времени галактики удаляются друг от друга, но не становятся больше*

Таким образом, каждая точка во Вселенной — это центр мощного равномерного отталкивания. Технически Вселенная не имеет центра. Однако каждый из нас является

центром собственной наблюдаемой Вселенной*. И с нашей точки зрения, все галактики, находящиеся за пределами нашей группы, удаляются от нас с максимально возможной скоростью. Но дело не в нас; дело в космологии.

Обнаружить космическое расширение было не так легко, как может показаться. Несмотря на то что галактики начали наблюдать в телескопы уже в 1700-х годах, из-за их огромной удаленности и чудовищно медленного (по человеческим меркам) движения людям потребовалось более двух веков для того, чтобы выяснить, как они движутся относительно нас и являются ли они вообще галактиками. Даже самые мощные современные телескопы не позволяют наблюдать их движение напрямую — галактики не кажутся удаляющимися от нас, когда мы на них смотрим. Однако мы можем обнаружить это, проанализировав такое, на первый взгляд, не имеющее отношения к делу свойство галактик, как цвет их свечения.

Если вы когда-либо замечали, как меняется звук проезжающей мимо гоночной машины или обращали внимание на изменение тона сирены при ее приближении и удалении, то вы уже знакомы с эффектом Доплера. Доплеровское смещение — это явление, при котором звук становится более высоким по мере приближения издающего его объекта и более низким по мере его удаления. Это связано с изменением частоты воспринимаемого звука

* На первый взгляд может показаться, что быть центром собственной Вселенной очень весело. Но это лишь до тех пор, пока вы не учтете тот факт, что все, что вас окружает, пытается как можно скорее вас покинуть.

КОНЕЦ ВСЕГО

вследствие сокращения и увеличения длины звуковой волны. В конце концов, частота зависит от скорости, с которой волны достигают вас. В случае со звуком это волны давления, и более высокая частота характеризуется более высоким звуком.

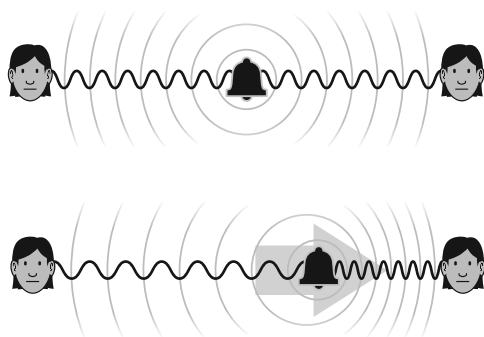


Рис. 8. Иллюстрация доплеровского смещения.

Если источник звука не движется, два неподвижных наблюдателя слышат звук одинаковой частоты. Когда источник звука движется, наблюдатель, от которого он удаляется, воспринимает звук более низкой частоты, а наблюдатель, к которому он приближается, воспринимает звук более высокой частоты. При этом первый слышит более низкую ноту, а второй — более высокую

Оказывается, нечто подобное происходит и со светом. Свету быстро приближающегося к нам источника свойственна более высокая частота, а быстро удаляющегося — более низкая. В случае со световой волной частота определяет цвет, поэтому такой сдвиг воспринимается как изменение цвета. Электромагнитный спектр простирается далеко за

пределы видимого, но что касается света, доплеровский сдвиг в сторону более высоких частот называется *синим смещением*, а сдвиг в сторону более низких частот — *красным смещением*. При сильном синем смещении видимый свет может восприниматься как гамма-излучение, а при сильном красном смещении — как радиосигнал. Этот феномен является одним из наиболее важных и универсальных инструментов в астрономии, поскольку позволяет нам по одному лишь цвету звезды или галактики определить, приближается она к нам или удаляется.

Разумеется, на практике все немного сложнее. Некоторым звездам и галактикам просто свойствен красноватый цвет. Как же в таком случае понять, является ли какой-то объект красным на самом деле или просто кажется таковым, поскольку удаляется от нас? Ключ в том, что свет представляет собой не одиночную волну с определенными характеристиками, а поток волн разных частот — спектр. Набор спектральных линий в спектре звезды обусловлен светом, поглощаемым или испускаемым различными химическими элементами в составе ее атмосферы. При разложении света с помощью призмы мы видим спектр цветов разной интенсивности, при этом темные линии или промежутки появляются на тех частотах, которые соответствуют свету, поглощенному атомами, содержащимися в атмосфере звезды, из-за чего этому свету так и не удалось достичь нас. В результате мы имеем своеобразный, уникальный для каждого элемента штрихкод из набора

* Иногда мы испытываем похожие трудности при попытке отличить «маленькие» объекты от «удаленных».

линий, который астрономы могут легко распознать. Например, при разложении проходящего сквозь облако водорода света по длинам волн мы увидим характерный гребнеобразный рисунок темных линий. В ходе лабораторных испытаний мы можем выяснить, где именно должны находиться эти линии и каким должен быть их рисунок для того или иного элемента. Если звезда имеет в своем спектре узнаваемую последовательность линий, но располагается она на «неправильных» частотах, это говорит о смещении спектра звезды вследствие ее движения. Если все линии одинаково смещены в сторону более низких частот, то мы имеем дело с красным смещением, которое свидетельствует об удалении звезды. Если каждая линия сдвинута в сторону более высоких частот, речь идет о синем смещении, говорящем о том, что звезда приближается. При этом степень смещения линий позволяет определить скорость движения звезды.

Астрономы достигли больших успехов в проведении подобных измерений. В настоящее время красное и синее смещение представляет собой одну из самых легко измеряемых характеристик любого источника света во Вселенной, при условии, что спектр снят и в нем присутствуют узнаваемые наборы линий. Благодаря этому мы можем понять, как звезды в нашей галактике движутся относительно нас, а также обнаружить небольшое колебание звезды, вызванное вращающейся вокруг нее планетой.

В случае с далекими галактиками красное смещение позволяет нам выяснить не только то, приближаются они к нам или удаляются, и с какой скоростью, но и опреде-

лить расстояние до них. Каким образом? Дело в том, что вследствие расширения Вселенной пространство между нами и далекой галактикой увеличивается, поэтому, как бы она ни двигалась относительно нас, в целом она будет удаляться. И скорость ее удаления зависит от того, насколько далеко она находится сейчас.

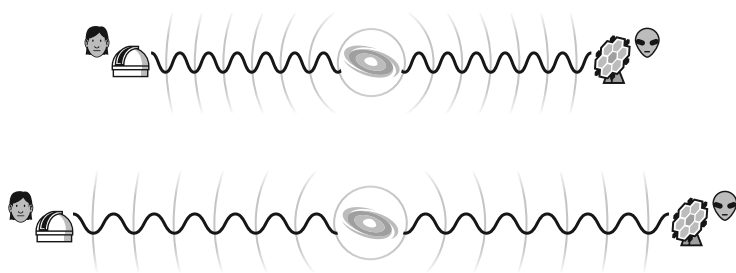


Рис. 9. *Космическое расширение и красное смещение.*

По мере расширения Вселенной световые волны от далеких галактик растягиваются. Это означает, что свет от далекой галактики будет восприниматься нами как волны большей длины (красное смещение). Поскольку расширение происходит повсюду, другой наблюдатель, смотрящий на далекую галактику из другой точки космоса, тоже заметит красное смещение в ее спектре

В 1929 году в ходе изучения красного смещения галактик астроном Эдвин Хаббл заметил поразительную закономерность. Более далеким галактикам в среднем свойственны более высокие показатели красного смещения. Эта закономерность позволила нам подтвердить гипотезу о расширении космоса и получить представление об этапах его эволюции. Обнаруженная Хабблом взаимосвязь

между показателем красного смещения и скоростью говорит о том, что чем дальше находится галактика, тем быстрее она от нас удаляется.

Представьте, что вы берете в руки игрушку-пружинку «слинки» и растягиваете ее. (Просто растягиваете. Это для науки.) По мере разведения рук в стороны каждый виток пружинки удаляется от соседнего лишь на ширину пальца, при этом два витка на противоположных ее концах удаляются друг от друга более чем на метр. Если пространство расширяется равномерно во всех направлениях, подобные закономерности должны действовать и в космосе, что и обнаружил Хаббл в ходе своих наблюдений. Математически это выражается в виде простого правила: кажущаяся скорость удаления галактики прямо пропорциональна расстоянию до нее. Из этого следует, во-первых, что более отдаленные объекты удаляются от нас быстрее. Во-вторых, существует некоторое число, на которое можно умножить расстояние до любой галактики, чтобы выяснить ее скорость. Несмотря на то что именно Хаббл в итоге доказал существование этой закономерности и вычислил приблизительное значение данного коэффициента, сама закономерность была описана теоретически на несколько лет раньше бельгийским астрономом и священником Жоржем Леметром. Поэтому данное отношение стало называться законом Хаббла — Леметра*.

* В астрономическом сообществе его часто называют просто «Законом Хаббла», однако в 2018 году Международный астрономический союз принял решение официально признать вклад Леметра, добавив в название закона его фамилию. И я, сама будучи теоретиком, это одобряю.

А коэффициент пропорциональности (число, на которое мы умножаем расстояние) — постоянной Хаббла.

Самой важной для нас в данном случае является связь между красным смещением и расстоянием. Она означает, что на основании измерения красного смещения далекой галактики мы можем точно определить расстояние до нее. (С некоторыми техническими оговорками*.)

Однако красное смещение также связано с космическим временем. Расширение Вселенной многое в астрономии делает весьма странным, и одна из таких вещей заключается в использовании цвета, записанного в виде числа, для обозначения скорости, расстояния и «возраста, в котором находилась Вселенная в то время, когда данный объект испустил свет». Физика — безумная наука.

Вот как это работает. Если мы измерим красное смещение галактики, мы будем точно знать, насколько быстро она удаляется от нас, а с помощью закона Хаббла-Леметра мы можем выяснить расстояние до нее. Однако поскольку свету требуется время, чтобы добраться до нас, и нам

* В «ближайшей» части Вселенной, где скорости удаления объектов относительно малы, эта задача сводится к простому делению: скорость, деленная на постоянную Хаббла, равна расстоянию. В случае с более удаленными объектами все несколько осложняется тем фактом, что постоянная Хаббла на самом деле не одинакова на всем протяжении космического времени, а при очень высоких скоростях пропорциональность не является строгой. В целом можно с уверенностью предположить, что если что-то в космологии звучит предельно просто, то это некое приближение, особый случай, или Теория всего, которую мы искали на протяжении всей своей жизни. (На третий вариант я бы не ставила.)

КОНЕЦ ВСЕГО

известна его скорость, знание расстояния также говорит нам о том, как долго свет был в пути. Это означает, что измерение красного смещения галактики позволяет понять, как давно свет ее покинул. А поскольку нам известен текущий возраст Вселенной, мы можем выяснить, сколько лет ей было в тот момент, когда данная галактика испустила свет, который мы видим.

Принимая все это во внимание, астрономы могут использовать красное смещение для обозначения более ранних эпох Вселенной. «Высокое значение красного смещения» говорит о давнем времени, когда Вселенная была очень молодой; «низкое значение красного смещения» соответствует более позднему периоду. Нулевое красное смещение характерно для локального участка современной Вселенной; красное смещение, равное 1 — для периода, имевшего место семь миллиардов лет назад. Красное смещение, равное 6, соответствует Вселенной в возрасте около одного миллиарда лет, а в самом ее начале, если бы мы могли это увидеть, красное смещение было бы равно бесконечности.

Итак, галактика с большим красным смещением — это далекий объект, который существовал на заре Вселенной, а галактика с маленьким красным смещением — это сравнительно близкий объект, существующий в «современном» космосе.

Взаимосвязь между расстоянием, возрастом и красным смещением имеет в космологии огромное значение. Однако она опирается на тот факт, что скорость удаления всегда и предсказуемым образом увеличивается с рас-

стоянием. Но что если процесс расширения внезапно замедлится? Что если он остановится и обратится вспять? В этом случае наши правила измерения расстояний перестанут работать, что расстроит очень многих астрономов. Другим, почти столь же важным последствием, — в зависимости от того, кого вы спросите, — будет гарантированная гибель Вселенной и всего, что в ней находится.

ЧТО ОДНАЖДЫ ВЗЛЕТЕЛО...

С тех пор, как мы выяснили, что (1) Вселенная началась с Большого взрыва и (2) в настоящее время она расширяется, нас интересует вопрос, может ли этот процесс обратиться вспять и закончиться катастрофическим Большим сжатием. Исходя из некоторых очень простых и разумных предположений, мы можем выделить всего три варианта развития событий для расширяющейся Вселенной, и все они являются прямыми аналогами того, что может случиться с мячом, подброшенным в воздух.

Представьте, что вы выходите на улицу на планете Земля и подбрасываете бейсбольный мяч прямо вверх. У вас нечеловечески сильная рука, а сопротивление воздуха не имеет значения. Что произойдет?

В обычном случае в течение некоторого времени мяч поднимается вверх, повинаясь заданному вами первичному импульсу, однако, покинув вашу руку, он сразу начинает

КОНЕЦ ВСЕГО

замедляться под воздействием силы земного притяжения*. В конце концов, он остановится и начнет двигаться к вам и планете, на которой вы стоите. Но если бы вам удалось бросить мяч невероятно быстро — со скоростью 11,2 км/с (вторая космическая скорость или скорость убегания), вы могли бы придать мячу достаточный импульс для того, чтобы он покинул Землю и остановился лишь в бесконечно далеком будущем после длительного постепенного замедления (или при столкновении с каким-либо объектом). Если бы вы бросили мяч еще быстрее, он мог бы двигаться вечно, не испытывая никакого гравитационного воздействия со стороны Земли.

Физика расширяющейся Вселенной основана на очень похожих принципах. Есть первоначальный импульс (Большой взрыв), который запустил процесс расширения, и с этого момента гравитация всех объектов во Вселенной (галактик, звезд, черных дыр и т. д.) работает против этого расширения, пытаясь замедлить его и снова собрать все воедино. Гравитация представляет собой очень слабую силу — самую слабую из всех сил природы, однако она действует на любом расстоянии, поэтому даже удаленные галактики должны притягиваться друг к другу. Как и в примере с бейсбольным мячом, вопрос сводится к тому, был ли первоначальный импульс достаточно сильным, чтобы преодолеть всю эту гравитацию. Нам даже не нужно знать, каким именно был этот импульс; если мы

* Технически мяч и Земля притягивают друг друга, поскольку гравитация действует в обе стороны, однако воздействие, которое оказывает на Землю гравитационное поле мяча, не то чтобы сильное.

измерим текущую скорость расширения, а также количество вещества во Вселенной, мы выясним, достаточно ли гравитации для остановки процесса расширения. Кроме того, если мы выясним скорость расширения в далеком прошлом, то сможем понять, как развивается этот процесс с течением времени, сравнив полученное значение с текущей скоростью расширения*.

Если бы наша Вселенная была обречена на Большое сжатие, то намек на это мы могли бы обнаружить с помощью именно такой экстраполяции. Еще до начала самого процесса мы заметили бы, что в прошлом расширение происходило быстрее и с тех пор замедлилось. Со временем мы выявляли бы все более красноречивые признаки надвигающегося коллапса — еще за много миллиардов лет до его официального начала.

Однако, прежде чем приступить к анализу данных, давайте остановимся и поговорим о том, как может выглядеть переход на стадию сжатия Вселенной и дальнейший апокалипсис. В конце концов, именно для этого вы и взяли в руки данную книгу.

В настоящий момент чем дальше от нас находится объект, тем быстрее он удаляется и, следовательно, тем больше его красное смещение (закон Хаббла — Леметра). В обреченной

* Возможно, вы спросите, нельзя ли просто измерить скорость расширения сейчас и через десять лет, и посмотреть, как она изменилась за это время. К сожалению, текущий уровень технологий не позволяет проводить столь точные измерения, однако в ближайшие десятилетия мы, вероятно, сможем провести такое сравнение.

КОНЕЦ ВСЕГО

на сжатие Вселенной эта закономерность будет сохраняться вплоть до полного прекращения процесса расширения. Однако поскольку конечная скорость света не позволяет нам видеть всю Вселенную одновременно, отдаленные объекты, которые уже начали двигаться в обратную сторону, еще долго будут казаться нам удаляющимися. Несмотря на то что в некотором глобальном смысле самые отдаленные объекты несутся к нам быстрее, чем близлежащие, поначалу мы будем наблюдать противоположное явление. Нам станет казаться, что галактики, находящиеся в близлежащем участке космоса, медленно движутся в нашу сторону. Как и в случае с галактикой Андромеды, их спектр будет иметь синее смещение. Объекты, расположенные за ними, покажутся неподвижными, в то время как более отдаленные объекты будут иметь красное смещение и выглядеть удаляющимися от нас. Со временем скорость приближения соседних галактик увеличится, как и радиус области, содержащей объекты, кажущиеся нам неподвижными. Вскоре мы перестанем беспокоиться о том, что происходит с удаленными объектами, поскольку стремительное вторжение соседних галактик в нашу область космоса будет невозможно или, по крайней мере, крайне нежелательно, игнорировать.

Слегка успокаивает тот факт, что к тому моменту мы уже получим некоторый опыт переживания подобных событий: согласно этому сценарию, первые признаки предстоящего коллапса появятся спустя довольно много времени после нашего столкновения с Андромедой. Даже по самым пессимистичным оценкам, до начала процесса Большого сжатия может пройти много миллиардов лет, — наша

ГЛАВА 3. БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

Вселенная существует уже на протяжении 13,8 миллиарда лет, и с точки зрения вероятности будущего коллапса она едва ли достигла среднего возраста.

Как мы уже говорили, столкновение Млечного Пути с галактикой Андромеды вряд ли напрямую затронет Солнечную систему. Однако вселенский коллапс — это совсем другая история. Поначалу он может выглядеть похожим образом: галактики сталкиваются и сливаются, загораются новые звезды, возникают черные дыры, некоторые звездные системы вылетают в далекий космос. Однако со временем будет появляться все больше зловещих признаков того, что вокруг творится нечто совсем иное.

По мере учащения случаев сближения и слияния галактики станут взрываться синим светом новых звезд, а гигантские струи частиц и радиации — пронзять межгалактические облака газа. Наряду с этими новыми звездами могут возникнуть новые планеты, и на некоторых из них, возможно, успеет развиться жизнь, которая, тем не менее, скорее всего, будет уничтожена одним из взрывов сверхновой, все чаще происходящих в этой хаотической, коллапсирующей Вселенной. Гравитационные взаимодействия между галактиками и находящимися в их центрах сверхмассивными черными дырами будут становиться все более яростными, из-за чего звезды начнут выбрасываться из них и в итоге попадать под действие гравитации других галактик. Но даже на этом этапе столкновения отдельных звезд по-прежнему будут случаться относительно редко, и так продолжится вплоть до самого конца игры. Гибель звезд произойдет по-другому,

КОНЕЦ ВСЕГО

гарантируя уничтожение любой жизни, которая на тот момент все еще будет существовать на планетах.

Вот как это случится.

Расширение Вселенной в том виде, в каком оно происходит сегодня, растягивает не только световые волны от далеких галактик. Оно также растягивает и разбавляет послесвечение самого Большого взрыва. Одним из самых убедительных доказательств теории Большого взрыва, о котором говорилось в предыдущей главе, является тот факт, что мы можем увидеть его, просто заглянув достаточно далеко. При этом мы видим идущее со всех сторон тусклое свечение, оставшееся с младенчества Вселенной. Глядя на это свечение, мы, по сути, смотрим непосредственно на те части Вселенной, которые находятся так далеко, что, с нашей точки зрения, они по-прежнему охвачены огнем, то есть находятся на ранней стадии существования Вселенной, когда каждая часть космоса была заполнена горячей, плотной и непрозрачной плазмой, как внутри звезды. Свет от этого давно потухшего пламени шел к нам из достаточно отдаленных мест все это время и достиг нас только сейчас.

Причина, по которой мы воспринимаем реликтовое излучение как рассеянное низкоэнергетическое свечение, заключается в том, что из-за расширения Вселенной отдельные фотоны растянулись до такой степени, что превратились в слабые помехи. А тот факт, что они проявляются в виде микроволн, обусловлен чрезмерным красным смещением. Расширение Вселенной способно на многое,

ГЛАВА 3. БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

в том числе на превращение адского пекла в слабый микроволновый фон, проявляющийся в виде небольших помех на экране старомодного аналогового телевизора.

Если процесс расширения Вселенной повернется вспять, то же самое произойдет и с распространением радиации. Внезапно космический микроволновый фон, это безобидное низкоэнергетическое свечение, приобретет синее смещение, и его энергия и интенсивность начнут быстро возрастать, приближаясь к весьма некомфортным значениям.

Но и это еще не приведет к гибели звезд.

Помимо концентрирования послесвечения охваченного огнем пространства существует нечто, способное породить гораздо более высокоэнергетическое излучение. На протяжении всего существования Вселенной гравитация превращала первичную и довольно однородную смесь газа и плазмы в звезды и черные дыры*. Эти звезды сияли в течение миллиардов лет, наполняя пустоту своим излучением, которое рассеивалось, но никуда не исчезало. Черные дыры тоже делают свой вклад, испуская рентгеновские лучи, когда падающее в них вещество нагревается и порождает высокоэнергетические струи частиц. Излучение, испускаемое звездами и черными дырами, даже горячее, чем то, которое было характерно для заключительных этапов Большого взрыва, и в процессе сжатия Вселенной вся эта энергия тоже будет сгущаться. Таким образом, коллапс Вселенной представляет собой не стадию симметричного

* А также другие незначительные объекты, вроде планет и людей, которыми в ходе нашего обсуждения вполне можно пренебречь.

КОНЕЦ ВСЕГО

процесса, включающего этап расширения и охлаждения, за которым следуют сжатие и нагрев, а нечто гораздо худшее. Если вас когда-либо спросят, где вы хотите оказаться — в произвольной точке пространства сразу после Большого взрыва или непосредственно перед Большим сжатием, выбирайте первое*. Совокупное излучение от звезд и струй высокоэнергетических частиц, сгущающееся и смещающееся в сторону еще более высоких энергий, станет настолько интенсивным, что начнет поджигать поверхности звезд задолго до того, как они столкнутся друг с другом. Ядерные взрывы будут раздирать звезды на части, заполняя пространство горячей плазмой.

К этому времени дела будут уже по-настоящему плохи. Ни одна планета, просуществовавшая до тех пор, не сможет пережить взрыв самих звезд. С этого момента интенсивность излучения во Вселенной начнет приближаться к уровню, сопоставимому с тем, который характерен для центральных областей активных ядер галактик, где находятся сверхмассивные черные дыры, выбрасывающие струи высокоэнергетических частиц и гамма-излучения с такой силой, что их длина достигает тысяч световых лет. Что происходит с материей в такой среде после того, как она распадается на составляющие ее частицы, неизвестно. Коллапсирующая Вселенная на последних стадиях сжатия достигнет значений плотности и температуры, которые значительно превышают те, что мы можем воспроизвести в лаборатории или описать с помощью

* Как поется в песне легендарной группы D: Ream, «дальше будет только лучше» (things can only get better).

ГЛАВА 3. БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

известных нам теорий частиц. На данном этапе главный вопрос будет заключаться не в том, выживет ли что-нибудь, поскольку к этому моменту очевидным ответом будет однозначное «нет», а в том, сможет ли коллапсирующая Вселенная породить новую?

Идея циклической Вселенной, в которой бесконечно чередуются этапы расширения и сжатия, обладает определенной привлекательностью. (И мы рассмотрим ее более подробно в главе 7.) Вместо того чтобы начинаться с нуля и заканчиваться катастрофой, циклическая Вселенная в принципе может существовать сколь угодно долго, обещая бесконечную переработку материи и не допускающая никаких потерь.

Разумеется, в реальности, как обычно, все значительно сложнее. Исходя из теории гравитации Эйнштейна, общей теории относительности, любая Вселенная, содержащая достаточное количество вещества, имеет заданную траекторию. Она начинается с сингулярности (бесконечно плотного состояния пространства-времени) и заканчивается сингулярностью. Однако общая теория относительности не предусматривает механизма перехода от конечной сингулярности к начальной. И есть основания полагать, что ни одна из наших физических теорий не позволяет описать условия, для которых была бы характерна такая плотность. Мы довольно хорошо понимаем, как гравитация работает в больших масштабах и для относительно слабых гравитационных полей, однако мы не знаем, как она ведет себя в чрезвычайно малых масштабах. И показатели напряженности поля, с которыми нам

предстоит иметь дело, когда вся наблюдаемая Вселенная сожмется в субатомную точку, абсолютно невычислимы. Мы можем предположить, что в данной конкретной ситуации как-то проявит себя квантовая механика, но, честно говоря, мы не знаем, как именно.

Другая проблема модели циклической Вселенной связана с вопросом, может ли что-либо выжить при переходе из одного цикла в другой. Упомянутая мной ранее асимметрия между расширяющейся молодой и коллапсирующей старой Вселенной в плане поля излучения является весьма проблематичной, поскольку подразумевает, что с каждым циклом Вселенная становится все более беспорядочной (в физическом смысле). Поэтому циклическая Вселенная гораздо менее привлекательна с точки зрения некоторых очень важных физических принципов, обсуждаемых в следующих главах, и она, безусловно, намного сложнее вписывается в аккуратную схему бесконечной переработки.

ОЧАРОВАНИЕ НЕВИДИМОГО

Так или иначе, Вселенная, содержащая слишком большое количество материи при недостаточном расширении, обречена на сжатие, поэтому определение нашего места на этой шкале кажется совсем не лишним. К сожалению, измерение количества вещества во Вселенной осложняется тем фактом, что далеко не все объекты можно рассмотреть, а определение веса галактики по одному лишь ее изоб-

ражению — отнюдь не легкая задача. Уже в 1930-х годах стало ясно, что при простом подсчете количества галактик и звезд мы упускаем что-то очень важное. Астроном Фриц Цвикки изучил движение галактик в скоплениях и заметил, что они движутся слишком быстро и по всем законам должны были бы вылететь в пустое пространство, подобно пассажирам слишком быстро вращающейся карусели. Он предположил, что вместе их удерживает некая невидимая «темная материя». Эта идея существовала в астрономическом сообществе в виде гипотезы до тех пор, пока в 1970-х годах Вера Рубин раз и навсегда не продемонстрировала, что существование множества спиральных галактик невозможно объяснить без учета какого-то дополнительного невидимого вещества.

С тех пор было получено много доказательств существования темной материи, отчасти благодаря пониманию ее роли в ранней Вселенной, однако ее пока так и не удалось обнаружить: она, по-видимому, не заинтересована во взаимодействии с нашими детекторами частиц. Считается, что темная материя представляет собой неизвестную пока фундаментальную частицу, которая обладает массой (а следовательно, оказывает гравитационное воздействие), но не имеет ничего общего с электромагнетизмом или сильным ядерным взаимодействием. Согласно теории, она могла бы взаимодействовать с другими частицами посредством слабого ядерного взаимодействия, что обеспечило бы некоторые возможности для ее обнаружения, однако мы до сих пор не сталкивались с подобным сигналом. С чем мы сталкивались, так это с огромным количеством свидетельств ее гравитационного воздействия на звезды

и галактики, а также принципиальной способности звезд и галактик формироваться в первичном бульоне. Кроме того, мы можем обнаружить доказательства существования темной материи в структуре самого пространства.

Одна из многих блестящих идей Эйнштейна заключалась в том, что гравитацию лучше всего понимать не как силу, действующую на объекты, а как искривление пространства вблизи объектов, обладающих массой. Представьте, что вы катаете теннисный мяч по поверхности батута. Теперь поместите в центр шар для боулинга. То, как изменяется траектория теннисного мяча возле шара для боулинга, очень похоже на то, как ведут себя космические объекты вблизи больших масс. Структура самого пространства изгибает траекторию объекта. Однако искривление пространства влияет не только на движение массивных объектов, — даже свет реагирует на структуру пространства, сквозь которое он путешествует. Подобно тому, как изогнутый оптоволоконный кабель позволяет свету поворачивать за угол, массивный объект может искривить пространство и изогнуть луч света. Из-за этого галактики и их скопления превращаются в искажающие линзы для объектов, находящихся позади них. Некоторые из наиболее убедительных доказательств существования темной материи были получены в результате выяснения того факта, что силу эффекта «гравитационного линзирования» нельзя объяснить только массой видимого нами вещества, то есть отчасти он обусловлен массой чего-то невидимого. Судя по всему, в космосе содержится очень много темной материи. Первые попытки определить вес материи во Вселенной, принимая во внимание исключительно видимые объекты,

ГЛАВА 3. БОЛЬШОЕ СЖАТИЕ

дали крайне неточные результаты. Вскоре после исследований, проведенных Верой Рубин, стало ясно, что большая часть материи во Вселенной является темной.

Однако даже после должного учета темной материи было трудно понять, превышает ли плотность вещества в космосе ту критическую отметку, которая отличает сжимающуюся Вселенную от вечно расширяющейся. Определение содержимого Вселенной было лишь частью проблемы; другая ее часть заключалась в выяснении скорости расширения пространства или динамики этого процесса на протяжении существования космоса. Решить эту задачу оказалось очень непросто.

Чтобы относительно точно измерить скорость космического расширения, происходящего на протяжении значительного периода истории Вселенной, необходимо исследовать огромное количество галактик, выяснив их скорость и фактическое расстояние до них. Астрономы вычислили локальную скорость расширения с помощью закона Хаббла — Леметра еще в 1929 году (хотя точное значение коэффициента пропорциональности обсуждалось на протяжении десятилетий и до сих пор остается предметом спора). Однако для того чтобы ответить на вопрос о возможном Большом сжатии, нам нужно выяснить скорость расширения Вселенной в разные эпохи, а значит, нам придется иметь дело с огромными расстояниями. Вычислить скорость галактики нетрудно, — для этого достаточно измерить красное смещение. Но точное измерение расстояния в миллиарды световых лет представляет собой гораздо более сложную задачу.

КОНЕЦ ВСЕГО

В конце 1960-х годов астрономы пытались высчитать расстояния и скорости галактик по фотопластинкам с изображениями и, несмотря на довольно большую неопределенность, заявили о том, что наша Вселенная обречена на сжатие. Это побудило нескольких астрономов написать ряд весьма интересных статей о том, как может развиваться данный процесс. То было очень интересное время.

В конце 1990-х годов астрономы разработали более точный метод измерения скорости расширения Вселенной, объединив несколько способов вычисления космического расстояния и применив их к чрезвычайно удаленным взрывающимся звездам. Наконец, они смогли провести точные измерения и раз и навсегда определить судьбу Вселенной. То, что они обнаружили, шокировало практически всех, принесло троим ученым Нобелевскую премию и полностью подорвало наше понимание основ физики.

Выяснение того факта, что нам почти наверняка не грозит гибель в огне во время Большого сжатия, оказалось слабым утешением*. Альтернативой сжатию является вечное расширение, которое подобно бессмертию, только на первый взгляд кажется чем-то хорошим. С одной стороны, мы не обречены на гибель в космическом аду. С другой — наиболее вероятная судьба нашей Вселенной по-своему гораздо более удручающая.

* Наше нынешнее понимание не говорит о невозможности сжатия Вселенной. Если темная энергия, о которой мы поговорим в следующей главе, обладает особенно странными и неожиданными свойствами, она может обратить процесс расширения пространства вспять. Однако полученные до сих пор данные на это не указывают.

ГЛАВА 4

ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ

ВАЛЕНТАЙН: Теплота смешалась с...
миром.

(Он обводит рукой комнату — воздух, космос, Вселенную.)

ТОМАСИНА: Так мы будем танцевать? Надо спешить!

Том Стоппард, «Аркадия»
(пер. О. Варшавер)

Одно из моих самых ранних воспоминаний, связанных с астрономией, — это статья из журнала Discover 1995 года, в которой говорилось о «кризисе в космосе». В данных обнаружилось нечто невообразимое, — судя по ним, Вселенная была моложе существующих в ней звезд.

Все тщательные расчеты, основанные на экстраполяции текущего расширения вплоть до Большого взрыва, говорили о том, что возраст Вселенной составляет от 10 до 12 миллиардов лет, тогда как возраст самых старых звезд в соседних древних скоплениях, согласно результатам

вычислений, составляет около 15 миллиардов лет. Разумеется, оценка возраста звезд не всегда позволяет получить точный результат, поэтому есть вероятность, что после сбора дополнительных данных звезды окажутся на один или два миллиарда лет моложе, чем выглядят. Однако увеличение возраста Вселенной с целью решения этой проблемы породило бы еще большую путаницу. Чтобы сделать Вселенную старше, потребовалось бы отказаться от теории космической инфляции — одного из важнейших прорывов в исследовании ранней Вселенной со времен открытия самого Большого взрыва.

Астрономам потребовалось три года, чтобы проанализировать данные, пересмотреть теории и разработать совершенно новые способы измерения, прежде чем им удалось найти решение, не «разрушающее» раннюю Вселенную. Правда, оно разрушило все остальное. Полученный ответ породил новый вид физики, вплетенный в саму ткань космоса, который полностью изменил наш взгляд на Вселенную и заставил пересмотреть ее будущее.

СОЗДАНИЕ КАРТЫ ГРОЗНОГО НЕБА

Ученые, которые в конце 1990-х решили проблему возраста Вселенной, не стремились революционизировать физику. Они всего лишь пытались ответить на, казалось бы, простой вопрос: насколько быстро замедляется процесс расширения Вселенной? На тот момент было общеизвест-

но, что расширение космоса инициировано Большим взрывом, и с тех пор оно замедляется под воздействием гравитации всех содержащихся во Вселенной объектов. Измерение так называемого параметра замедления должно было помочь выяснить соотношение между направленным вовне импульсом от Большого взрыва и направленной внутрь силой тяготения всех компонентов Вселенной. Чем выше параметр замедления, тем сильнее гравитация тормозит космическое расширение. Высокое значение говорит о том, что Вселенная обречена на Большое сжатие, а низкое — о том, что, несмотря на замедление, процесс расширения никогда полностью не прекратится.

Чтобы измерить параметр замедления, необходимо как-то выяснить скорость расширения Вселенной в прошлом и сравнить с тем, как быстро она расширяется сейчас. К счастью, эта задача вполне решается благодаря тому, что мы можем непосредственно видеть прошлое, глядя на отдаленные объекты, а также наблюдать за объектами, которые удаляются от нас прямо сейчас. Все, что нам нужно сделать, — это посмотреть на то, что находится рядом, и на то, что расположено очень далеко, определить скорость удаления этих объектов от нас, и произвести небольшие расчеты. Все просто!

На практике, правда, все совсем не просто, поскольку помимо красного смещения необходимо выяснить еще и расстояния до объектов глубокого космоса, измерить которые очень трудно. Однако достаточно знать о том, что это в принципе возможно. К счастью, астрономы обладают обширным и разнообразным инструментарием

для проведения подобных измерений, и в данном случае им на помощь приходят катастрофические термоядерные взрывы далеких звезд.

Дело в том, что свойства взрывов некоторых типов сверхновых настолько предсказуемы, что их можно использовать в качестве стандартных измерителей для определения расстояния. Речь идет о гибели белых карликов, до взрыва представляющих собой медленно остывающие звездные остатки, в которые превратится и наше Солнце после того, как преодолет стадию красного гиганта, уничтожив ближайшие планеты. Когда масса белого карлика достигает критической отметки (за счет поглощения вещества звезды-компаньона или слияния с другим белым карликом)*, он взрывается. Этот взрыв называется вспышкой сверхновой типа Ia и имеет характерную кривую блеска и спектр, по которым мы можем довольно уверенно отличить его от других светящихся космических объектов. В принципе, хорошо понимая физику подобного взрыва, мы знаем, насколько ярким он должен выглядеть вблизи, и, учитывая то, каким ярким он нам кажется, мы можем выяснить расстояние, преодоленное светом. (Мы называем такой взрыв «стандартной свечой», поскольку он представляет собой своеобразную лампочку, мощность которой нам точно известна. На основании этой информации мы можем определить, где находится данная лампочка, учитывая то, что ее яркость обратно

* Как ни странно, мы до сих пор точно не знаем, какой из этих механизмов является основным. Мы просто наблюдаем взрыв звезды и знаем, что в этом замешан, по крайней мере, один белый карлик.

пропорциональна квадрату расстояния. Только мы говорим «свеча», а не «лампочка», поскольку это звучит более поэтично.)

После выяснения расстояния до сверхновой необходимо определить скорость ее удаления. Для этого можно использовать красное смещение в спектре галактики, в которой взорвалась звезда, говорящее о том, насколько быстро в этой точке происходит космическое расширение. Используйте полученное расстояние и скорость света, чтобы выяснить, как давно все это произошло, и вы получите значение скорости расширения в прошлом.

В 1998 году, всего через несколько лет после публикации в журнале *Discover* статьи о возрасте космоса, две независимые исследовательские группы, наблюдавшие за далекими сверхновыми, пришли к одинаковому и совершенно невероятному выводу о том, что параметр замедления процесса расширения Вселенной является отрицательным. Из этого следует, что процесс расширения не замедляется, а ускоряется.

ГЕОМЕТРИЯ КОСМОСА

Если бы космос вел себя хорошо, описать базовую физику расширения Вселенной было бы так же легко, как и процесс подбрасывания мяча, рассмотренный в предыдущей главе. Если бросить мяч слишком медленно, он

поднимется в воздух, остановится и упадет. Этот вариант соответствует Вселенной, которая содержит достаточное количество вещества (или отличается относительно слабым начальным импульсом Большого взрыва) для того, чтобы гравитация победила и обеспечила сжатие пространства. Если бросить мяч нечеловечески быстро, он может преодолеть силу земного притяжения и отправиться в бесконечное путешествие по космосу с постоянно замедляющейся скоростью. Этот вариант соответствует Вселенной, в которой наблюдается идеальный баланс между расширением и гравитацией. Если бросить мяч еще быстрее, его скорость будет приближаться к некоей постоянной величине по мере уменьшения влияния земного притяжения. Этот вариант соответствует Вселенной, которая расширяется вечно, поскольку количество содержащегося в ней вещества недостаточно для того, чтобы повернуть процесс расширения вспять и даже просто его замедлить.

Каждый из этих возможных типов Вселенных имеет название и определенную геометрию. Речь в данном случае идет не о внешней форме Вселенной, вроде сферы, куба или чего-то еще, а о свойстве, определяющем поведение гигантских лазерных лучей в космическом пространстве. Вселенную, обреченную на Большое сжатие, называют «замкнутой», поскольку в ней два параллельных луча лазерной пушки в итоге сойдутся, подобно линиям долготы на глобусе. Дело в том, что замкнутая Вселенная содержит в себе так много материи, что все пространство искривлено внутрь. Идеально сбалансированная Вселенная является «плоской», потому что в ней

лучи всегда будут оставаться параллельными, подобно параллельным линиям на плоском листе бумаги. Вселенная, в которой расширение преобладает над гравитацией, называется «открытой», и в ней, как вы, вероятно, уже догадались, два лазерных луча со временем будут расходиться. Двумерным аналогом в данном случае является поверхность седла: попробуйте нарисовать параллельные линии на седле (если седла под рукой нет, можете использовать чипсы Pringles), и вы увидите, что они расходятся. Эти формы определяют «крупномасштабную кривизну» Вселенной — степень искривления всего пространства, обусловленного содержащейся в нем материей и энергией.

Объединяет все эти варианты, во-первых, то, что они имеют смысл с точки зрения физики и хорошо работают с эйнштейновскими уравнениями гравитационного поля. Во-вторых, все они предполагают замедление процесса расширения. Во времена проведения измерений с использованием сверхновых не существовало никакого разумного физического механизма, объясняющего ускорение процесса расширения Вселенной. Это было столь же странно, как если бы мяч, подброшенный в воздух, немного замедлился, а затем внезапно рванул в космос без всякой причины. А теперь представьте такое же чудо, только в масштабе всей Вселенной.

Результаты измерений были многократно перепроверены, однако всякий раз физики приходили к одному и тому же выводу: процесс расширения пространства ускоряется.

КОНЕЦ ВСЕГО

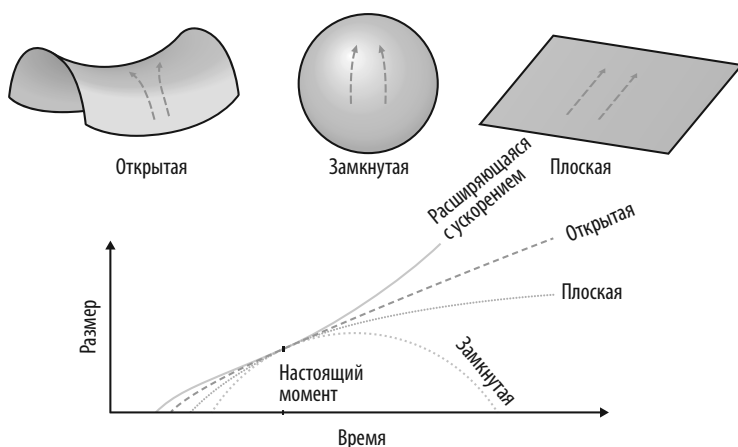


Рис. 10. Открытая, замкнутая и плоская вселенные и их эволюция во времени. Представленные выше графики соответствуют структуре пространства в трех разных моделях вселенной. В открытой вселенной параллельные лучи света со временем расходятся. В замкнутой вселенной, наоборот, сходятся. А в плоской остаются параллельными. Как видно на графике, каждая структура предполагает особую судьбу космоса. В случае замкнутой вселенной силы тяжести оказывается достаточно для того, чтобы обеспечить сжатие пространства, тогда как в случае открытой вселенной пространство расширяется вечно. Идеально сбалансированная плоская вселенная продолжает расширяться, но с постоянно убывающей скоростью. Но в том случае, если вселенная содержит темную энергию, процесс ее расширения может ускориться (при условии, что геометрия пространства останется плоской)

Это были отчаянные времена, которые требовали принятия отчаянных мер. Настолько отчаянных, что астрономам пришлось допустить существование обширного

космического энергетического поля, наделяющего пустое пространство силой отталкивания, действующей во всех направлениях. Это не обнаруженное ранее свойство пространства-времени, заставляющее Вселенную вечно расширяться, черпая силу из неистощимого источника энергии, связано с так называемой космологической постоянной.

НЕ ТАКОЕ УЖ ПУСТОЕ ПРОСТРАНСТВО

В отличие от других эпизодов монументального пересмотра основ физики, в данном случае речь шла далеко не о новой идее. Космологическая постоянная была детищем Эйнштейна* и прекрасно вписывалась в его уравнения гравитационного поля, определяющие эволюцию Вселенной. Однако в ее основе лежала глубоко ошибочная предпосылка, поэтому ее вообще не стоило вводить.

Эйнштейн был очень отзывчивым человеком. Он ввел космологическую постоянную, чтобы спасти Вселенную от возможного катастрофического коллапса. Точнее, от того коллапса, который уже давно должен был произойти. Как эксперт во всем, что касается гравитации, Эйнштейн знал, что, судя по имеющимся данным, сила тяготения уже давно должна была разрушить Вселенную. Это было в 1917 году, за полвека до официального признания

* Надо признать, у этого парня было очень много хороших идей.

теории Большого взрыва, когда космос все еще считался статичным и неизменным. Звезды могли жить и умирать, материя — слегка переупорядочиваться, но пространство в то время считалось лишь фоном для происходящих в нем событий. Поэтому, когда Эйнштейн увидел на ночном небе кажущиеся неподвижными звезды, он понял, что Вселенная в опасности. Он полагал, что каждая звезда должна притягивать все остальные, из-за чего все они должны медленно сближаться. Огромные пространства между звездами в данном случае не имеют значения, поскольку сила тяжести действует на любом расстоянии. (В то время никто еще не знал о существовании других галактик, в противном случае он применил бы этот аргумент и к ним. Проблема бы при этом не исчезла.) В неизменной Вселенной вы никогда не сможете удалиться от объекта на достаточно большое расстояние, чтобы на том или ином уровне не испытывать его гравитационное воздействие, которое со временем должно сблизить вас. Расчеты Эйнштейна говорили о том, что любая вселенная, наполненная массивными объектами, уже давно должна была коллапсировать. Само существование космоса представлялось неким противоречием.

Это, разумеется, выглядело не очень хорошо. К счастью, Эйнштейн нашел в своей общей теории относительности место для небольшой, но спасительной для Вселенной, корректировки. Ничто в космосе не может противостоять гравитации звезд, за исключением разве что самого пространства. Эйнштейн уже вывел красивое уравнение для описания того, как структура пространства реагирует на гравитационное воздействие всего вещества в космосе.

Чтобы уберечь пространство от мгновенного коллапса, вызванного гравитацией, ему было достаточно признать свои уравнения неполными и добавить член, который мог бы объяснить растяжение пространства между гравитирующими объектами, компенсирующее обусловленное гравитацией сжатие. Этот член представлял собой не новый компонент Вселенной, а свойство самого пространства, каждой точке которого присуща некая сила отталкивания. Когда пространства много, а материи мало (как в промежутках между звездами или галактиками), эта сила отталкивания может компенсировать гравитационное притяжение.

Уравнение сработало. Оно хорошо описывало статичную Вселенную, в которой существование других звезд и галактик не приводит к мгновенному коллапсу пространства. Эйнштейн снова это сделал.

Единственная проблема заключается в том, что Вселенная не статична. Это стало очевидным для астрономического сообщества несколько лет спустя, когда выяснилось, что бледные пятна на небе, ранее называвшиеся «спиральными туманностями», на самом деле представляют собой другие галактики. Вскоре на основании красного смещения этих галактик Хаббл доказал, что Вселенная расширяется. В отличие от обреченной статичной Вселенной, на которую действует только гравитация, расширяющаяся Вселенная может быть спасена, — по крайней мере, на время, — своим собственным расширением. Гравитация может замедлить этот процесс и в итоге повернуть его вспять, однако Вселенная способна прекрасно существовать на протяжении многих миллиардов лет благодаря

первоначальному импульсу и сохраняющимся последствием ее расширения. (Как началось это расширение — совсем другая история. Для решения стоящей перед нами проблемы достаточно того, чтобы Вселенная не была обречена на практически мгновенное уничтожение, и позаботиться об этом может космологическая константа или расширение пространства.)

Новость о том, что Вселенная расширяется, потребовала переосмысления всей космологии и поставила Эйнштейна в затруднительное положение. Он с неохотой удалил космологическую постоянную из своих уравнений и начал предпринимать попытки революционизировать какую-нибудь другую область фундаментальной физики. И так продолжалось вплоть до в 1998 года, когда результаты наблюдения сверхновых снова внесли путаницу в представления об эволюции Вселенной. Ускоряющееся расширение пространства потребовало повторного введения космологической постоянной, и слабым утешением остается лишь то, что тогда Эйнштейн уже не мог укорить всех фразой: «Я же говорил».

Тот факт, что космологическая постоянная позволяет Вселенной расширяться с ускорением, не означает, что большинство специалистов считают ее введение хорошим и разумным решением*. С теоретической точки зрения мы не можем объяснить, почему космологическая постоянная должна иметь именно то значение, которое она

* Вы понимаете, что излишне требовательны, когда вам мало простого спасения Вселенной.

имеет. Почему эта подозрительно удобная поправка для наших уравнений вообще должна существовать? И если уж без космологической постоянной не обойтись, почему бы ей не иметь большее значение? Один из наиболее естественных способов объяснения существования космологической постоянной во Вселенной связан с энергией вакуума, или пустого пространства, которая отвечает за такие странные явления, как квантовые флуктуации, то есть возникновение и исчезновение виртуальных частиц. Однако расчетная величина энергии вакуума, предсказанная квантовой теорией поля, оказалась на 120 порядков выше экспериментально измеренной. На случай, если вам не знаком этот термин, разница на порядок — это разница в 10 раз, на два порядка — в 100 раз, а на 120 порядков — в 10^{120} раз. Даже в астрофизике, где с числами порой обращаются довольно легкомысленно, это расхождение кажется весьма серьезным. Итак, если космологическая константа не является энергией вакуума, столь любимой физиками-теоретиками, что же это такое?

Одно из предложенных решений «проблемы космологической постоянной» основано на гипотезе о том, что данная константа невелика в нашей наблюдаемой Вселенной, но может принимать другие значения в отдаленных областях космоса, а мы лишь случайно оказались там, где оказались. (А может, и не случайно, если другие значения космологической постоянной каким-либо образом препятствуют развитию жизни и сознания, например заставляя пространство расширяться слишком быстро и предотвращая формирование галактик.) Другое возможное объяснение заключается в том, что мы имеем дело

не с космологической постоянной, а с неким неизвестным пока энергетическим полем Вселенной, способным со временем меняться. И в этом случае есть вероятность, что оно превратилось в то, чем является сейчас, по какой-то другой причине.

Поскольку мы не уверены, что это действительно космологическая постоянная, мы обычно называем любое гипотетическое явление, способное ускорить расширение Вселенной, темной энергией. Еще один термин для эволюционирующей (т. е. непостоянной) темной энергии — квинтэссенция, таинственный «пятый элемент», о котором любили рассуждать философы античности и Средневековья и который до сих пор не имеет точного определения. Преимущество гипотезы квинтэссенции заключается в том, что она способна помочь нам сформулировать теорию благодаря проведению некоторых параллелей с космической инфляцией, имевшей место в начале времен. Мы знаем, что причина, вызвавшая космическую инфляцию, в итоге исчезла, поэтому вполне вероятно, что в какой-то момент могло возникнуть поле, вызывающее ускоренное расширение пространства, которое мы наблюдаем сегодня.

(Один из недостатков гипотезы квинтэссенции состоит в том, что изменяющаяся со временем темная энергия теоретически способна уничтожить Вселенную. Например, если сила, которая в данный момент обуславливает ускорение процесса расширения, начнет действовать в противоположном направлении, Вселенная может коллапсировать, что возвращает нас к Большому сжатию. К счастью,

ГЛАВА 4. ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ

это выглядит маловероятным, хотя мы и не можем полностью исключить такую возможность.)

В любом случае, судя по результатам текущих наблюдений, темная энергия действительно очень похожа на космологическую постоянную — неизменное свойство пространства-времени, которое лишь недавно (т. е. в последние несколько миллиардов лет) приобрело доминирующее значение в процессе эволюции Вселенной. На ранних этапах, когда космос был более компактным, в нем просто не доставало пространства для того, чтобы космологическая постоянная (которая является свойством пустого пространства) могла на что-то повлиять, поэтому тогда процесс расширения замедлялся, как и следовало ожидать. Но примерно пять миллиардов лет назад вследствие обычного космического расширения материя рассеялась настолько, что эффект растяжения пространства, обусловленный космологической постоянной, начал становиться более заметным. В настоящее время мы можем измерить движение удаленных сверхновых, взрыв которых произошел до того, как процесс расширения начал ускоряться. Это означает, что мы можем выяснить, когда Вселенная замедлялась, а также довольно точно определить момент ее перехода на стадию ускорения. Темная энергия вполне может оказаться каким-то неизвестным динамичным полем, но пока концепция космологической постоянной идеально вписывается в результаты наблюдений.

Однако ирония в том, что в долгосрочной перспективе константа, добавленная Эйнштейном для спасения Вселенной, скорее всего, приведет к ее гибели.

БЕСКОНЕЧНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ БЕГОВАЯ ДОРОЖКА

Апокалипсис, обусловленный космологической постоянной, представляет собой медленный и мучительный процесс, сопровождающийся усугубляющейся изоляцией, неумолимым распадом и растянутым на века погружением во тьму. В некотором смысле речь идет не об уничтожении Вселенной, а, скорее, об уничтожении всего, что в ней находится, и ее превращении в абсолютную пустыню.

Причина, по которой космологическая постоянная оказывается столь губительной для Вселенной, заключается в том, что, раз начавшись, процесс ускоренного расширения пространства никогда не прекращается.

Размер современной наблюдаемой Вселенной гораздо больше, чем вы, вероятно, думаете. «Наблюдаемой» называется область, находящаяся в пределах нашего горизонта частиц. Этим термином обозначается максимальное расстояние, на которое мы можем заглянуть, учитывая конечную скорость света и возраст Вселенной. Поскольку свету требуется время, чтобы достичь наблюдателя, а более отдаленные объекты находятся в более далеком прошлом относительно нас, некоторое расстояние должно соответствовать самому началу времен. Лучу света, испущенному из точки, находящейся на таком расстоянии в момент зарождения Вселенной, потребовалось бы все время ее существования, чтобы добраться до нас. Это

и есть горизонт частиц — предельное расстояние, дальше которого мы принципиально неспособны заглянуть. Учитывая, что возраст Вселенной составляет около 13,8 миллиарда лет, логично предположить, что горизонт частиц должен представлять собой сферу радиусом 13,8 миллиардов световых лет. В случае статичной Вселенной это предположение было бы верным. На самом же деле, поскольку Вселенная все это время расширялась, точка, испустившая видимый нами свет 13,8 миллиарда лет назад, теперь находится намного дальше — на расстоянии примерно в 45 миллиарда световых лет. Таким образом, мы можем определить наблюдаемую Вселенную как окружающую нас сферу радиусом около 45 миллиардов световых лет*.

Ближе всего к этому «краю» мы можем подобраться, наблюдая космическое микроволновое фоновое излучение, пришедшее к нам практически от самого горизонта частиц. Мы также можем увидеть древние галактики, которые сейчас находятся на расстоянии более 30 миллиардов световых лет. Однако дошедший до нас свет этих галактик начал путешествовать по Вселенной задолго до того, как они удалились от нас на такие невероятные расстояния. В противном случае мы вообще не смогли бы их увидеть, поскольку свет, испускаемый ими сейчас**, уже никогда не сможет нас достигнуть. Оказывается, что в равномерно расширяющейся Вселенной, где более отдаленные

* Если бы вы находились в другой галактике в совершенно иной части Вселенной, ваша наблюдаемая Вселенная также была бы ограничена сферой с радиусом в 45 миллиардов световых лет. Понятие «наблюдаемой Вселенной» крайне субъективно.

** Как уже говорилось в главе 2, однозначно определить «настоящий момент» довольно проблематично.

объекты удаляются быстрее расположенных вблизи, существует некий предел, за которым скорость удаления превышает скорость света, поэтому свет от удаляющегося объекта уже не может до нас добраться.

Здесь вы можете сказать: «Минуточку! Ничто не может путешествовать быстрее света!» Это справедливо, однако на самом деле никакого противоречия здесь нет. Хотя ничто не может двигаться *сквозь* пространство быстрее, чем свет, нет никакого правила, которое ограничивало бы скорость удаления друг от друга неподвижных объектов вследствие расширения самого пространства.

Галактики, которые в настоящее время удаляются от нас со скоростью, превышающей скорость света, находятся на удивление близко, учитывая то, насколько далеко мы можем заглянуть. Это расстояние ограничено так называемым радиусом Хаббла и составляет около 14 миллиардов световых лет. В главе 3 говорилось о том, что для описания расстояния до объектов можно использовать значение их красного смещения — величину, на которую их свет сместился в сторону красной (низкочастотной/длинноволновой) части спектра вследствие расширения Вселенной. Объект, находящийся на границе сферы Хаббла, будет иметь красное смещение около 1,5. Это означает, что с момента испускания света световая волна и пространство самой Вселенной растянулись в два с половиной раза*. Однако даже такие

* Коэффициент увеличения относительного размера Вселенной равен 1 плюс значение красного смещения, поэтому можно сказать, что близлежащий объект с нулевым красным смещением находится во вселенной такого же размера, как и наша.

невообразимые расстояния незначительны по космологическим меркам. Мы наблюдали сверхновые со значением красного смещения около 4. Самые отдаленные из виденных нами галактик имеют значения красного смещения порядка 11, а красное смещение космического микроволнового фонового излучения составляет примерно 1100.

Так как же мы можем увидеть объекты, которые удаляются и фактически всегда удалялись от нас со сверхсветовой скоростью? Если объект движется со скоростью, превышающей скорость света, то излучаемый им световой луч не может достичь нас. Хитрость в том, что свет, который мы наблюдаем, покинул источник еще тогда, когда Вселенная была меньше, а расширение пространства фактически замедлялось. Поэтому луч света, который поначалу удалялся от нас за счет расширения пространства (хотя и был испущен в нашем направлении), в конце концов, «догнал» нас, когда расширение замедлилось, благодаря чему свету удалось достичь ближайшей к нам части Вселенной, где скорость удаления не превышает скорость света. То есть этот свет попал в нашу сферу Хаббла снаружи.

Представьте, что вы стоите в середине очень длинной беговой дорожки, которая движется быстрее, чем вы бежите. Даже если вы будете бежать на максимальной скорости, вы будете смещаться назад. Однако если вас не снесет слишком далеко и беговая дорожка достаточно замедлится, вы сможете избежать падения с заднего конца дорожки, наверстать упущенное и даже немного продвинуться вперед. Таким образом, если вы находитесь во Вселенной, процесс расширения которой замедляется, с течением

времени вы сможете наблюдать все больше и больше удаленных объектов по мере того, как их свет будет наверстывать упущенное вследствие расширения пространства. «Безопасная зона», в которой скорость расширения пространства не превышает скорости света, ограниченная радиусом Хаббла, со временем увеличивается, захватывая объекты, ранее находившиеся за ее пределами. Можно сказать, что наши горизонты* расширяются.

Однако темная энергия все портит. Из-за нее процесс расширения пространства больше не замедляется, а наоборот, ускоряется на протяжении последних пяти миллиардов лет. И, несмотря на то что сфера Хаббла по-прежнему увеличивается, это происходит настолько медленно, что расширение пространства заставляет ранее видимые объекты покидать ее пределы. Мы можем увидеть чрезвычайно далекие объекты, свет которых сумел проникнуть в сферу Хаббла до начала ускорения, но объекты, чей свет находится за пределами безопасной зоны в настоящий момент, навсегда останутся невидимыми. (Подробнее об этом чуть позже.)

Однако даже без сложностей, связанных с темной энергией, концепция расширяющейся Вселенной с трудом укладывается в голове.

* Радиус Хаббла не является горизонтом в физическом смысле этого слова. Горизонт частиц — другое дело; это предел, дальше которого мы в принципе не способны заглянуть. Радиус Хаббла — это просто расстояние, на котором текущая скорость расширения пространства равна скорости света. Однако это расстояние со временем меняется, позволяя объектам пересекать границу сферы. Иногда люди называют ее горизонтом, но многие космологи этого не одобряют.

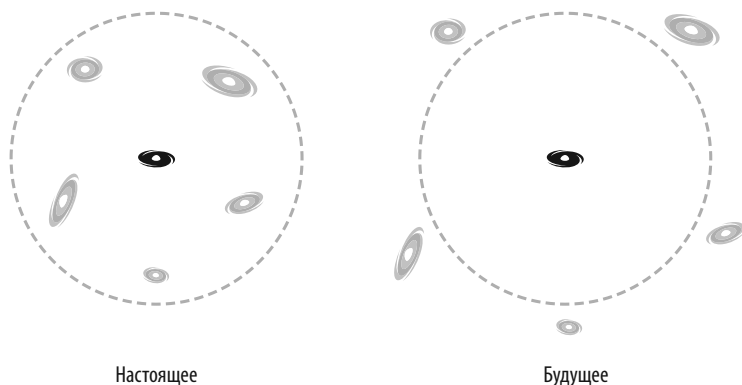


Рис. 11. Радиус Хаббла сейчас и в будущем.

По мере ускорения процесса расширения Вселенной галактики, которые в настоящее время находятся внутри сферы Хаббла, будут покидать ее пределы.

В конце концов, видимыми останутся лишь галактики, входящие в нашу местную группу

Тот факт, что Вселенная расширяется, означает, что в прошлом она была меньше: хорошо.

Тот факт, что в прошлом она была меньше, говорит о том, что объекты, в настоящее время находящиеся далеко, в прошлом находились ближе: допустим.

Это, в свою очередь, означает, что одна из далеких видимых в настоящее время галактик миллиарды лет назад находилась поблизости: ладно.

И давным-давно эта галактика испустила луч света, который поначалу удалялся от нас, хотя и был направлен в нашу сторону, но потом как бы остановился, развернулся

КОНЕЦ ВСЕГО

и достиг нас только сейчас: ну, с определенной точки зрения, это имеет смысл.

ОДНАКО НА ЭТОМ СТРАННОСТИ НЕ ЗАКАНЧИВАЮТСЯ.

Прошу прощения за крик. Я действительно кричу и совершенно не собираюсь ничего приукрашивать. Вселенная — очень странная штука, и во многом ее странность обусловлена этой историей с радиусом Хаббла, с которым связаны очень необычные явления. И сейчас я расскажу вам об одной из самых потрясающих космологических странностей, о которых мне известно. Вы ведь знаете, что вдаль объекты кажутся более компактными, чем вблизи? Это абсолютно нормально. Чем дальше находится объект, тем меньше его видимый размер. С самолета люди кажутся крошечными. Отдаленные здания можно закрыть большим пальцем. Все это знают.

В случае Вселенной все не так однозначно.

В ближайшей части космоса более удаленные объекты действительно кажутся более мелкими. Солнце и Луна на первый взгляд имеют одинаковые размеры, поскольку Солнце, несмотря на значительно превосходящий размер, удалено от нас гораздо сильнее, чем Луна. И на протяжении многих миллиардов световых лет данная закономерность сохраняется, — чем дальше галактика, тем меньше ее кажущийся размер. Как и следовало ожидать. Однако где-то у границы сферы Хаббла начинает работать противоположная закономерность: чем дальше объект, тем бо-

лее крупным он кажется! Это, конечно, очень удобно для нас, астрономов, поскольку позволяет рассмотреть структуру и детали очень далеких галактик, которые по идее должны были бы казаться бесконечно малыми точками. Однако, если подумать, это явление все равно выглядит очень странно.

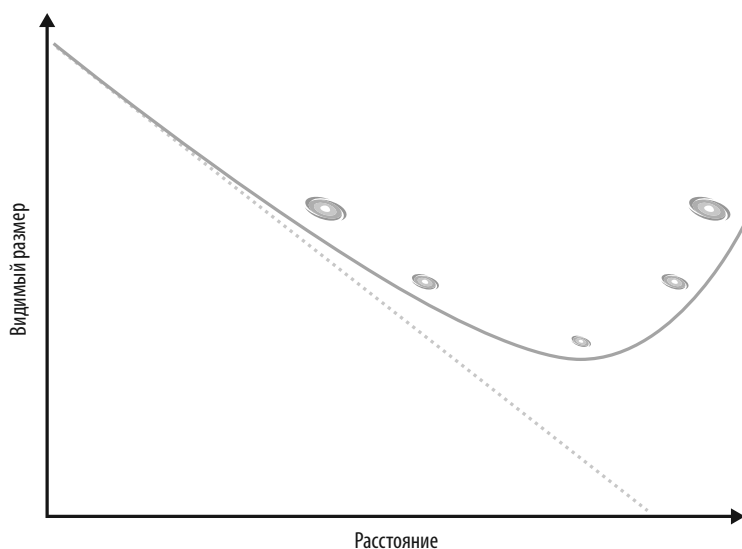


Рис. 12. Зависимость видимого размера далеких галактик (имеющих одинаковый физический размер) от расстояния. Вплоть до некоторого предела видимый размер галактики уменьшается по мере ее удаления. Но в какой-то момент эта закономерность сменяется противоположной, и видимый размер удаляющейся галактики начинает увеличиваться. Пунктирная линия описывает зависимость видимого размера от расстояния в статической Вселенной

КОНЕЦ ВСЕГО

Такое происходит по той же причине, по какой мы можем видеть объекты, которые в настоящее время удаляются от нас со сверхсветовой скоростью. В то время, когда они испустили свой свет, они были гораздо ближе и занимали на небе больше места. Несмотря на то что сейчас они находятся намного дальше, «снимок», который они нам послали, путешествовал все это время и лишь сейчас достиг нас, показав призрачное изображение гораздо более близкого объекта. И чем дальше в прошлое мы заглядываем, тем более компактную Вселенную наблюдаем. Таким образом, после достижения некоторого предела сочетание фактов «в прошлом Вселенная была меньше» и «свету требуется время, чтобы добраться до нас» заставляет нас допустить мысль о том, что галактика, которая в данный момент находится дальше, чем другая галактика, в момент испускания света могла находиться ближе.

Я предупреждала, что будет странно.

Во всяком случае, если описанное выше ошеломляет и сбивает вас с толку, это совершенно нормально. Попробуйте нарисовать несколько набросков на салфетках, а затем растяните эти салфетки во всех направлениях, одновременно бегая по бесконечной беговой дорожке с предельной скоростью на протяжении миллиардов лет. Возможно, тогда вам станет более понятно. Теперь нам следует поговорить о последствиях всего этого для будущего Вселенной, которые, надо признать, не очень хороши.

МЕДЛЕННОЕ ПОГРУЖЕНИЕ ВО ТЬМУ

Утверждение, что «темная энергия все портит», не является преувеличением. Как это ни парадоксально, степень влияния, оказываемого объектами во Вселенной, которая расширяется с ускорением, постоянно уменьшается. Далекие галактики, покидающие сферу Хаббла вследствие космического расширения, будут потеряны для нас навсегда. Галактики, далекое прошлое которых мы сейчас наблюдаем, станут медленно растворяться во тьме, словно изображение на древней фотографии. В ближайшей к нам области космического пространства после слияния Млечного Пути и Андромеды наша маленькая местная группа галактик будет становиться все более и более изолированной, окруженной тьмой и умирающим первородным светом. В остальном космосе невидимые для нас группы галактик будут сливаться воедино, образуя гигантские эллиптические скопления звезд, которые будут ярко загораться при первоначальном столкновении, но постепенно превратятся в затухающие угольки, чей свет никогда не достигнет границы их собственной расширяющейся сферы пустоты.

В конце концов, каждая умирающая супергалактика окажется в полном одиночестве. Ничто и никогда больше не пополнит их запасы газа, чтобы зажечь новые звезды. Уже существующие звезды выгорят, а затем взорвутся как сверхновые или, что вероятнее, сбросят внешние слои

КОНЕЦ ВСЕГО

и превратятся в медленно догорающие остатки, охлаждающиеся на протяжении миллиардов или триллионов лет. В течение какого-то времени некоторые черные дыры будут продолжать расти, поглощая целые галактики, состоящие из мертвых звездных остатков. Рост других прекратится, поскольку никакая новая материя уже не приблизится к ним достаточно близко для того, чтобы быть поглощенной.

Когда все звезды погаснут во тьме, начнется окончательный распад.

Начнут испаряться черные дыры.

Изначально считалось, что черные дыры вечны, то есть способны расти, поглощая материю, но не способны терять массу. Учитывая, что из черной дыры не может вырваться даже свет, логично предположить, что данный объект представляет собой своеобразную бездну. Однако в 1970-х годах Стивен Хокинг произвел расчеты и показал, что квантовые эффекты, проявляющиеся вблизи горизонта событий черной дыры, вызывают слабое свечение. Это свечение приводит к потере энергии — или, что одно и то же, массы, в результате чего размер черной дыры уменьшается. Поначалу процесс идет медленно, но затем начинает ускоряться. При этом излучение черной дыры становится все более интенсивным и горячим вплоть до ее взрыва и исчезновения. Даже сверхмассивным черным дырам в центрах галактик, масса которых в миллионы или миллиарды раз превышает массу Солнца, суждено со временем исчезнуть.

ГЛАВА 4. ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ

Обычную материю, то есть вещество, из которого состоят звезды, планеты, а также газ и пыль, ждет та же, хотя и менее драматичная судьба.

Известно, что большинство элементарных частиц на каком-либо уровне нестабильны. Если оставить их в покое на длительное время, они распадутся на другие компоненты, потеряв при этом массу и энергию. Например, нейтрон в итоге распадется на протон, электрон и антинейтрино. Хотя мы никогда не наблюдали распад протона в ходе экспериментов, у нас есть основания полагать, что это возможно, но придется подождать примерно 10^{33} лет. К тому моменту перестанут существовать даже атомы водорода, которые составляли самую многочисленную группу атомов во Вселенной со времен Большого взрыва.

Для далекого будущего Вселенной, предопределенного темной энергией в форме космологической постоянной, характерна тьма, изоляция, пустота и распад. Однако это медленное угасание — лишь начало конца, называемого «тепловой смертью».

Термин «тепловая смерть» может показаться не вполне подходящим для описания самого холодного и темного состояния космоса в истории Вселенной. Но в данном случае под техническим термином «теплота» понимается не «тепло», а «неупорядоченное движение частиц или энергии». И речь идет не о смерти *самой* теплоты, а о смерти *из-за* теплоты. Именно беспорядок в итоге нас погубит. Вот почему нам следует немного поговорить об энтропии.

Энтропия — это, пожалуй, одна из самых важных, глубоких и плохо понимаемых тем во всей науке. Она проявляется везде — не только в физике всего, начиная от воздушных шаров и заканчивая черными дырами, но и в сфере компьютерных наук, статистики, а также экономики и нейробиологии.

Как правило, энтропия описывается как мера беспорядка. Чем менее упорядочена система, тем выше ее энтропия. Кучка кусочков мозаики имеет более высокую энтропию, чем сложенная картинка; яичница имеет более высокую энтропию по сравнению с нетронутым яйцом. В тех случаях, когда «беспорядок» неочевиден, энтропию можно рассматривать как меру того, насколько свободными или ограниченными являются элементы системы. Например, сложенная картинка имеет низкую энтропию, поскольку существует только один правильный способ организации кусочков мозаики, тогда как кучка кусочков может иметь любую из множества конфигураций, не теряя при этом своей сущности.

Несмотря на то что из приведенных примеров это неочевидно, более высокая энтропия связана с более высокой температурой. Это имеет смысл, если подумать о разнице между глыбой льда и облаком пара. Чтобы стать льдом, молекулы воды должны сложиться в кристаллическую структуру, тогда как частицы пара могут свободно перемещаться в трех измерениях. Однако даже простое охлаждение пара приводит к некоторому уменьшению его энтропии, поскольку частицы двигаются менее активно и не так беспорядочно.

Важно то, что в масштабе Вселенной энтропия со временем возрастает. Согласно второму закону термодинамики*, в любой изолированной системе совокупная энтропия может лишь увеличиваться, но не уменьшаться. Другими словами, порядок не возникает спонтанно из ниоткуда, и если вы оставите систему в покое на достаточно длительное время, мера беспорядка в ней неизбежно увеличится. Любому, кто пытался поддерживать порядок на своем столе, знаком с этим самым раздражающим законом природы.

Вопрос о том, является ли Вселенная изолированной системой, все еще предмет дискуссий, но если мы согласимся с этим, нам придется признать, что в будущем космос ожидает лишь нарастание беспорядка и распад. Фактически второй закон термодинамики считается настолько незыблемым и фундаментальным, что им объясняют существование самой стрелы времени.

Как правило, законы физики не учитывают направление течения времени; в большинстве ситуаций обращение времени в уравнениях не влияет на результат. Единственная часть физики, которой, судя по всему, есть дело до этого, — энтропия. На самом деле, вполне возможно, что

* Остальные законы термодинамики несколько менее интересны, хотя их нумерация и начинается с нуля. Вот они: 0) Если одно тело находится в тепловом равновесии с другим, а третье находится в равновесии со вторым, то все они находятся в тепловом равновесии друг с другом. 1) Энергия сохраняется, а вечный двигатель создать невозможно (к сожалению). 2) По мере приближения температуры системы к абсолютному нулю, ее энтропия стремится к некоторой постоянной величине.

КОНЕЦ ВСЕГО

единственная причина, по которой мы помним прошлое, а не будущее, заключается в том, что истина «дальше будет только хуже», настолько универсальна, что она формирует саму реальность, какой мы ее знаем.

Вы можете возразить: «Но я же сложил мозаику! Я создал порядок! Я что, обратил время вспять?!»

Не совсем. Мозаика — это не изолированная система, и вы тоже. Технически любое локальное увеличение энтропии можно обратить вспять, если приложить достаточно усилий. Собрать разбитое яйцо обратно чрезвычайно сложно, но возможно при наличии достаточного количества времени и невероятно сложного лабораторного оборудования. Однако совокупная энтропия всегда будет нарастать. В случае с мозаикой, усилия, которые вы должны приложить для того, чтобы ее собрать, потребуют затрат энергии, а это означает, что вы будете переваривать пищу и выделять в окружающую среду тепло и продукты жизнедеятельности (например, углекислый газ). В результате воздух в комнате нагреется и загрязнится твердыми частицами. Кроме того, за то время, пока вы складываете мозаику, вы, вероятно, помните свою рубашку. Я не знаю, что могла бы сделать с окружающей средой машина для сборки яиц, но я точно не хотела бы оказаться в закрытой комнате, в которой она работает.

Кстати, именно поэтому, если оставить дверцу холодильника открытой, в итоге нагреется весь воздух в кухне. По той же причине кондиционеры могут способствовать глобальному потеплению. Каждая наша попытка подчинить

своей воле какую-то часть мира создает беспорядок в другой его части, как правило, в форме теплоты.

Каких бы интересных последствий это ни имело для яиц, холодильников и кондиционеров, все становится гораздо более странным, если включить в эту картину черные дыры.

Еще в 1970-х годах физики много говорили об энтропии, о ее постепенном увеличении в масштабе всей Вселенной, а также о возможных последствиях этого процесса. В то же самое время молодой и малоизвестный Стивен Хокинг и еще более молодой постдокторант Джейкоб Бекенштейн размышляли о черных дырах и задавались вопросом, не способны ли эти странные космические мусороперерабатывающие предприятия как-то вмешаться в действие второго закона термодинамики. Например, что будет, если собрать разбитое яйцо, а затем выбросить нагретую лабораторию, которая для этого использовалась, в ближайшую черную дыру? Уменьшится ли совокупная энтропия Вселенной, если собрать яйцо и избавиться от энтропии, возникшей в ходе этого процесса? В конце концов, черная дыра описывается как некая область, из которой не может вырваться даже свет. Это объект настолько массивный и компактный, что его гравитация сгибает световые лучи, направляя их обратно к центральной сингулярности. Попав за горизонт событий черной дыры, то есть преодолев гравитационную точку невозврата, ничто — ни свет, ни информация, ни теплота — уже не сможет вырваться оттуда. Может ли сокрытие энтропии за горизонтом событий черной дыры считаться идеальным преступлением?

Какую бы часть физики вы ни решили перехитрить, никогда не ставьте против второго закона термодинамики. Решение проблемы энтропии черных дыр изменило наши представления об этих объектах. Энтропию нельзя скрыть в черных дырах, потому что им присуща собственная энтропия. У них есть температура (они производят тепло). А это означает, что они вовсе не «черные».

Бекенштейн и Хокинг в итоге пришли к выводу, что черная дыра должна иметь энтропию, чтобы существовать в соответствии со вторым законом термодинамики. Поскольку эта энтропия должна увеличиваться всякий раз, когда черная дыра что-то поглощает, логично предположить, что энтропия связана с размером самой черной дыры — в частности, с общей площадью поверхности горизонта событий. Если бросить в черную дыру холодильник, ее масса увеличится на массу холодильника, что приведет к увеличению размера горизонта событий и, следовательно, площади его поверхности*.

Тот факт, что энтропия связана с температурой, означает, что черные дыры должны что-то излучать (например, радиацию и частицы). И это излучение может иметь место лишь на горизонте событий или непосредственно вблизи него, снаружи, поскольку вырваться за его пределы не мо-

* Речь идет не о материальной поверхности, а, скорее, о сфере в пространстве, ограниченной так называемым радиусом Шварцшильда, который представляет собой расстояние от сингулярности до горизонта событий. Радиус Шварцшильда напрямую зависит от массы черной дыры.

жет ничто. Таким образом, в этой области должно происходить нечто странное.

К счастью, если нам понадобятся странности, мы всегда можем найти что-нибудь в области квантовой физики. В данном случае Хокинг воспользовался такой странностью, как виртуальные частицы — пары частиц с положительной и отрицательной энергией, которые рождаются и исчезают в вакууме*. Идея заключалась в том, что это происходит постоянно и повсюду в пространстве-времени, как правило, не оказывая никакого влияния, поскольку виртуальные частицы исчезают практически сразу после своего спонтанного появления, аннигилируя друг с другом. Однако Хокинг считал, что вблизи черной дыры может возникнуть ситуация, когда виртуальная частица с отрицательной энергией попадает за горизонт событий, а виртуальная частица с положительной энергией превращается в реальную и улетает. Вследствие поглощения отрицательной энергии масса черной дыры немного уменьшается, при этом такое же количество положительной энергии излучается на ее горизонте событий. Поскольку виртуальные частицы появляются и исчезают постоянно и повсюду в космосе, любая черная дыра, которая активно не поглощает вещество из своего ближайшего окружения, должна постепенно терять массу в ходе такого процесса испарения.

* Реальные частицы не могут иметь отрицательную энергию. Здесь речь идет о виртуальных частицах, которые представляют собой нечто совершенно иное, и их не следует путать с такими отрицательно заряженными частицами, как электроны.

Каким бы сложным ни казалось это описание, оно используется чаще всего и представляет собой сильно упрощенную картину, предназначенную лишь для передачи основной идеи без лишних технических подробностей. Однако меня оно никогда не удовлетворяло, поскольку оно предполагает, что частицы с отрицательной энергией преимущественно падают в черную дыру, тогда как частицы с положительной энергией улетают прочь, обладая достаточным количеством энергии для того, чтобы преодолеть ее притяжение. Несмотря на то что Хокинг использовал это объяснение, выступая перед широкой аудиторией, он не хотел, чтобы оно воспринималось буквально, но настоящее объяснение предполагает расчет волновых функций и рассеяния, которое происходит с волнами вблизи черной дыры. В этом невозможно разобраться без серьезной подготовки в области математики и физики. Однако если вы сейчас тоже пришли в недоумение, я просто хочу вас заверить, что, несмотря на неадекватность популярной аналогии, результаты расчетов имеют смысл, если произвести их по всем правилам, используя общую теорию относительности и квантовую теорию поля.

Таким образом, мы можем с уверенностью предположить, что перед лицом тепловой смерти черные дыры действительно испаряются, не оставляя ничего, кроме небольшого количества радиации, которая распространяется по опустошающейся Вселенной. Надеюсь, это более или менее понятно.

Кроме того, способность горизонтов излучать радиацию и учитывать энтропию своего содержимого не только об-

рекает все черные дыры на гибель, но и вносит важный вклад в процесс тепловой смерти. Ведь у нашей наблюдаемой Вселенной тоже есть горизонт, и мы находимся внутри него.

МАКСИМАЛЬНАЯ ЭНТРОПИЯ

Вселенную, поработанную космологической постоянной, в будущем ждет лишь тьма и пустота. По мере ускорения процесса ее расширения пустого пространства становится все больше, а значит, увеличивается и количество темной энергии, вызывающей дальнейшее расширение. В конце концов, когда звезды выгорят, частицы распадутся, а черные дыры испарятся, Вселенная будет представлять собой пустое пространство, в котором есть лишь космологическая постоянная, обеспечивающая ее экспоненциальное расширение. Это называется пространством де Ситтера, и, по нашему мнению, оно развивается так же, как очень ранний космос на стадии инфляции. Правда, процесс инфляции в итоге остановился. Если темная энергия действительно является космологической постоянной, то расширение никогда не прекратится и космос будет расширяться экспоненциально на протяжении вечности.

Так можно ли считать такое бесконечное расширение гибелью Вселенной? Чтобы ответить на этот вопрос, нам следует глубже разобраться в теме энтропии и стрелы времени.

При выгорании звезд, распаде частиц и испарении черных дыр все больше вещества преобразуется в свободное излучение, которое распространяется по Вселенной в виде теплоты — чистой неупорядоченной энергии. Преобразование вещества в тепловое излучение максимизирует его энтропию, поскольку распространению энергии ничто не мешает. По мере опустошения Вселенной это излучение все сильнее рассеивается, из-за чего может показаться, что совокупная энтропия должна уменьшаться вслед за температурой. Однако этого не происходит.

А происходит следующее: когда Вселенная достигает стадии экспоненциального расширения, вокруг любой точки можно очертить сферу, за границей которой будет находиться навсегда скрытая часть космоса. Эта граница представляет собой настоящий горизонт в том смысле, что все, находящееся за ним, уже никогда не сможет достичь вас. Оказывается, что подобно горизонту событий черной дыры этот горизонт также связан с энтропией, а значит, и с температурой.

Разница лишь в том, что теплота не выходит наружу, как в случае с черной дырой, а входит внутрь. Температура теперь очень низкая — примерно 10^{-40} градусов выше абсолютного нуля, однако после распада всего остального в этом излучении будет заключена вся энтропия Вселенной. Достигнув состояния де Ситтера, Вселенная будет иметь максимальную энтропию. С этого момента совокупная энтропия Вселенной больше не сможет увеличиваться, что будет в прямом смысле означать исчезновение... стрелы времени.

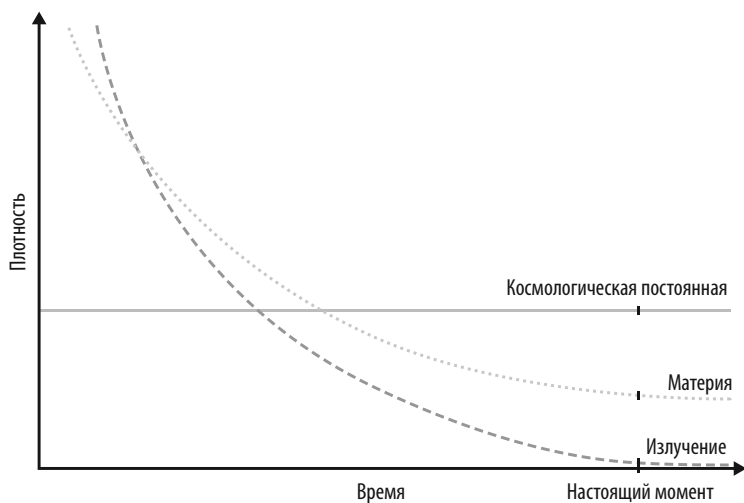


Рис. 13. Динамика плотности вещества, излучения и космологической постоянной. Поскольку плотность темной энергии (в форме космологической постоянной) не меняется по мере расширения Вселенной, в то время как все остальное рассеивается, постепенно она начинает доминировать. Сегодня темная энергия составляет около 70% всей энергии Вселенной, материя — около 30%, и лишь ничтожная ее часть приходится на долю излучения

Здесь мне следует еще раз сказать о том, что стрела времени и второй закон термодинамики имеют столь огромное значение для функционирования Вселенной, что при невозможности дальнейшего возрастания энтропии ничто не может произойти. То есть невозможным становится существование организованных структур, эволюция и вообще протекание каких-либо процессов. Чтобы нечто произошло, энергия должна переместиться из одного

места в другое. Если энтропия не может нарастать, это означает, что энергия не может переместиться из одного места в другое без того, чтобы сразу вернуться, стерев все то, что могло при этом случиться. Градиенты энергии являются основой жизни, а также любой другой конструкции или машины, выполняющей какую-либо работу. Градиенты энергии не могут существовать во Вселенной, которая представляет собой одну гигантскую (но очень холодную) тепловую ванну. Теплота бесполезна. Теплота — это смерть.

Однако тут есть несколько нюансов.

И эти нюансы относятся не к категории «ну, технически здесь есть одна маленькая деталь», а к категории «о боже, это же все меняет».

Теперь странность имеет отношение к области физики, называемой статистической механикой. Ее мы используем, когда хотим поговорить о чем-то вроде температуры, которая, по сути, представляет собой просто количество движения в системе частиц, не описывая при этом траектории отдельных ее компонентов. Статистическая механика — это та область, где второй закон термодинамики проявляется во всей красе, поскольку позволяет описать большую сложную систему с точки зрения одного важного свойства — ее энтропии. Однако он также создает своего рода «лазейку». Помните, мы говорили о законе возрастания энтропии Вселенной? Технически это применимо лишь в среднем и в достаточно больших масштабах. На квантовом уровне или даже в больших масш-

табах, если вы готовы ждать достаточно долго, время от времени происходят непредсказуемые флуктуации, способные сдвинуть некоторую часть системы в состояние более низкой энтропии. Чем больше система, тем меньше влияния оказывают эти флуктуации, однако в вечно расширяющейся Вселенной, в которой действует лишь космологическая постоянная, времени и пространства так много, что в ней могут произойти крайне маловероятные события. *Маловероятно*, что в совершенно пустом пространстве вдруг появится кашалот и горшок с петунией, но в принципе, если подождать достаточно долго, такое может случиться.

И это очень кстати. Если после тепловой смерти что-то может спонтанно появиться, почему бы не другая вселенная?

Эта идея не столь надуманна, как может показаться. В статистической механике существует принцип, согласно которому любая конфигурация системы частиц может повториться, если подождать достаточно долго. Допустим, у вас есть резервуар, заполненный газом, и вы делаете моментальный снимок случайно движущихся молекул, отмечая позиции, в которых они находятся. Если вы понаблюдаете за резервуаром в течение достаточно длительного времени, то рано или поздно снова увидите молекулы в этих же положениях. Чем менее вероятна конфигурация, тем дольше придется ждать ее повторения. Таким образом, повторного наступления очень редкого события, вроде сосредоточения всех частиц в нижнем правом углу резервуара, придется ждать очень долго, но в принципе

его наступление — лишь вопрос времени. В этом заключается суть теоремы Пуанкаре о возвращении. При наличии бесконечного количества времени любое состояние, в котором может находиться система, будет повторяться бесчисленное количество раз, причем частота повторения определяется тем, насколько редкой или особенной является та или иная конфигурация. Однажды физики Энтони Агирре, Шон Кэрролл и Мэтью Джонсон подсчитали, что если подождать в течение периода времени, примерно в триллион триллионов раз превышающего возраст Вселенной, можно увидеть, как в пустой коробке самопроизвольно собирается целое пианино.

После наступления тепловой смерти Вселенная, по сути, будет представлять собой очень большую и слабо нагретую коробку, в которой происходят случайные флуктуации, подчиняющиеся законам статистической механики. Если Большой взрыв — это состояние, в котором когда-то находилась Вселенная, а после наступления тепловой смерти исчезает стрела времени, из-за чего понятия прошлого и будущего утрачивают всякий смысл, то нет причины, по которой Большой взрыв не мог бы повториться, заново породив Вселенную.

Однако это еще не самое странное.

Если каждое состояние, в котором когда-либо находилась Вселенная, может повториться благодаря случайным флуктуациям, значит, то, что происходит в настоящий момент, может повториться во всех подробностях. Более того, может повториться бесконечное множество раз.

Эта возможность представляет особый интерес для космолога Андреаса Альбрехта, который написал о том, что он сам называет равновесием де Ситтера. Основная идея этой равновесной версии пространства де Ситтера заключается в том, что происхождение нашей Вселенной и всего, что в ней творится, можно рассматривать как результат случайных флуктуаций в вечно расширяющемся пространстве, содержащем одну лишь космологическую постоянную. Время от времени Вселенная возникает из тепловой ванны, оказываясь в начальном состоянии с очень низкой энтропией, а затем эволюционирует (с увеличением энтропии) и достигает состояния тепловой смерти, снова превращаясь во Вселенную де Ситтера. Но иногда флуктуация не приводит к Большому взрыву, а просто воссоздает прошлый вторник, в частности, тот момент, когда вы ударились ногой о кухонный стол и пролили на пол свой кофе. Этот момент. И все остальные моменты вашей жизни, а также жизни других людей.

Если эта антиутопическая картина кажется вам смутно знакомой, вероятно, вы читали про жуткий мысленный эксперимент, впервые предложенный Фридрихом Ницше в конце XIX века. В своей книге «Веселая наука» он пишет следующее:

Что, если бы однажды днем или ночью в твое самое уединенное одиночество прокрался демон и сказал тебе: «Жизнь, которую ты проживал и проживаешь сейчас, тебе придется прожить снова и неисчислимое количество раз; и в ней не будет ничего нового, но каждая боль,

КОНЕЦ ВСЕГО

каждая радость, каждая мысль, вздох и все невыразимо малое и великое в твоей жизни повторятся в той же последовательности — даже этот паук и этот лунный свет между деревьями, даже этот миг и я сам. Вечные песочные часы бытия будут переворачиваться снова и снова, и ты вместе с ними, о пылинка!»

Разве не бросился бы ты на землю, скрежеща зубами, и не проклял бы говорящего так демона? Или однажды тебе довелось пережить потрясающий момент, в который ты мог бы ответить ему: «Ты бог, и никогда я не слышал ничего более божественного». Если эта мысль завладела тобой, она изменит твою сущность, а, может, и раздавит тебя. Вопрос о том: «Хочешь ли ты пережить это снова неисчислимым количеством раз?» будет отныне лежать тяжелейшим грузом на всех твоих действиях. И как хорошо ты должен был бы относиться к самому себе и к жизни, чтобы больше всего на свете жаждать лишь этого вечного утверждения и скрепления печатью?

Сильно сказано.

Рассуждения Ницше не имели никакого отношения к термодинамике, они были направлены на исследование смысла и цели человеческой жизни. Вероятно, он никогда не предполагал, что такой сценарий физически возможен, как следует из гипотезы равновесия де Ситтера.

Вы могли бы возразить, указав на то, что эти сценарии не одинаковые. Квантовые флуктуации, воссоздавшие тот

момент, когда вы ударились ногой о стол, могут произвести нечто в точности похожее на вас, но вас самих к тому моменту уже не будет. Однако тут возникает вопрос о том, что значит быть *вами*. Идет ли речь о точной конфигурации атомов вашего тела или о каком-то невыразимом и устойчивом свойстве вашего сознания, которое никогда не сможет быть воссоздано? Поэтому любители научной фантастики продолжают спорить о телепортации и о том, что происходило с капитаном Кирком каждый раз, когда он входил в луч транспортера, — выживал ли он или умирал, замещаясь двойником, который ошибочно считал себя им. Вряд ли нам удастся ответить на данный вопрос здесь.

Однако это порождает еще одну проблему в сценарии возрождения через квантовые флуктуации, которая связана как с вопросом о транспортере, так и с кашалотом и горшком с петунией, и приправлена своего рода квантово-механическим солипсизмом. Это так называемая проблема больцмановского мозга.

Идея состоит в том, что, если целая Вселенная может возникнуть из вакуума вследствие квантовых флуктуаций, то с гораздо большей вероятностью это может сделать отдельная галактика, поскольку она менее сложна и для ее создания требуется меньше материи. И, если следовать этой логике, то более вероятно возникновение одной солнечной системы или одной планеты. И даже еще более вероятно появление отдельного человеческого мозга, который содержит все ваши воспоминания и воображает, что живет в огромном и сложном мире и в настоящее время

сидит в кафе, набирая текст четвертой главы книги о конце космоса.

Проблема больцмановского мозга заключается в том, что вероятность возникновения этого несчастного мозга, обреченного на практически мгновенное исчезновение в вакууме, намного превышает вероятность появления целой Вселенной, поэтому, если мы хотим объяснить существование нашего мира случайными флуктуациями, мы вынуждены будем признать, что с гораздо большей вероятностью нам все только кажется.

Этот вопрос еще не решен. Несмотря на то что Альбрехт был одним из первых, кто предложил рассмотреть проблему больцмановского мозга в этом контексте, в настоящее время он склоняется к тому, что Вселенная де Ситтера с большей вероятностью создаст такое низкоэнтропийное состояние, как Большой взрыв, нежели нечто маленькое, обреченное на мгновенное исчезновение. Основной аргумент состоит в том, что для создания состояния с низкой энтропией может потребоваться очень много энергии квантовых флуктуаций, но при этом совокупная энтропия системы уменьшается лишь незначительно. Многие космологи придерживаются противоположного мнения и говорят о том, что гораздо легче создать состояние с относительно высокой энтропией, чем карман, в котором энтропия крайне мала. Разрешение этого спора помогло бы нам разобраться с одним из сценариев происхождения космоса, а также развеяло бы некоторые опасения относительно нашей возможной судьбы в виде бесконечного переживания самых неприятных моментов.

Однако для некоторых космологов понимание механизма происхождения низкоэнтропийного состояния ранней Вселенной и выяснение того, стоит ли нам беспокоиться о больцмановском мозге или теореме Пуанкаре о возвращении, представляют собой вопросы, которые потрясают самые основы общепринятой космологической модели. Попытка объяснить возникновение начального низкоэнтропийного состояния побудила некоторых специалистов предложить совершенно иные варианты истории космоса (которые мы обсудим в главе 7), но данная проблема все еще очень далека от решения. Идея о возможности флуктуаций так сильно противоречит нашим представлениям о разумном устройстве космоса, что Шон Кэрролл назвал ее «когнитивно нестабильной». Дело не в том, что это не может быть правдой, а в том, что если это так, то ничто не имеет смысла, и в таком случае мы можем просто отказаться от каких-либо попыток понять Вселенную. Однако по этому вопросу присяжные все еще совещаются.

Если отвлечься от пугающей идеи о возникновении мыслящих мозгов из пустоты, редкие случайные флуктуации способны привнести некоторый порядок в нигилистический хаос тепловой смерти. Однако даже в этом наиболее оптимистичном сценарии Вселенная, в которой доминирует космологическая постоянная, обрекает на гибель всех живущих в ней существ, поскольку в будущем абсолютно все упорядоченные структуры не ждет ничего, кроме тьмы, одиночества и распада. До открытия темной энергии физики, в частности Фримен Дайсон, выдвигали предположения о том, что машина, которая производит вычисления с постоянно убывающей скоростью, может

КОНЕЦ ВСЕГО

существовать сколь угодно долго*. Но даже эта идеальная машина будет подвержена энтропийной эрозии «благодаря» второму закону термодинамики и в итоге распадется и преобразуется в теплоту по мере приближения к горизонту де Ситтера. Время, необходимое для достижения максимальной энтропии, то есть истинной и вневременной тепловой смерти, зависит от оценочных значений периода распада протона, которые все еще не определены. Тем не менее до исчезновения всех мыслящих структур пройдет, вероятно, 10^{1000} лет или около того.

Но могло быть и хуже.

Когда речь идет о темной энергии, действие стабильной, предсказуемой космологической постоянной представляет собой как будто лучший сценарий. Однако не исключаются и другие возможности, одна из которых связана с фантомной темной энергией, приводящей к чему-то более драматичному, более стремительному и, в некотором смысле, гораздо более конечному: к Большому разрыву.

* Фамилия Дайсона может показаться вам знакомой, если вы слышали о научно-фантастической концепции «сферы Дайсона» — огромной сферы, построенной вокруг звезды, чтобы захватить сто процентов ее излучения для целей развития передовой инопланетной цивилизации. Поиск сфер Дайсона по их ожидаемому инфракрасному излучению до сих пор не дал результатов.

ГЛАВА 5

БОЛЬШОЙ РАЗРЫВ

Я все думаю об этой реке с очень сильным течением. И об этих двоих в воде, изо всех сил старающихся держаться друг за друга. Но в конце концов они не выдерживают. Течение слишком сильное. Они вынуждены расцепить руки и расстаться. Вот что с нами происходит.

Кадзуо Исигуро, «Не отпускай меня»

Для космического феномена, который играет, вероятно, самую важную роль во Вселенной, темная энергия на удивление трудно поддается изучению. Насколько мы можем судить, она абсолютно равномерно распределена по Вселенной, будучи вплетенной в ткань самого пространства. И все, что она делает, — это растягивает пространство так незначительно, что ее эффект становится заметным лишь на огромных расстояниях между далекими галактиками. Физикам, занимающимся темной материей, намного проще. Несмотря на то что она так же невидима, как и темная энергия, ее присутствие очень

заметно: она сгущается практически вокруг каждой галактики или скопления галактик, которые мы когда-либо наблюдали, внося определяющий вклад в гравитационное поле, изгибая свет и с самого начала изменяя ход космической истории. Темная энергия, с другой стороны, просто расширяет пространство.

Разумеется, мы не полностью лишены возможности изучать темную энергию. По сути, мы можем делать это посредством исследования истории расширения Вселенной и процесса роста галактик и их скоплений. В обоих случаях мы смотрим вдаль и в прошлое, прослеживая эволюцию космоса с течением времени. При этом мы стараемся выявить небольшие эффекты, опираясь лишь на слабые сигналы и статистику.

Однако, несмотря на сложность такого рода исследований, их стоит проводить, поскольку темная энергия одновременно является доминирующим компонентом космоса и верным признаком существования новой физики, выходящей за рамки нашего нынешнего понимания.

Кроме того, чем бы темная энергия ни оказалась в итоге, она способна разрушить Вселенную гораздо раньше, чем можно было бы предположить. Зачем ждать медленного наступления тепловой смерти, если темная энергия способна устроить внезапный и драматический апокалипсис под весьма подходящим названием «Большой разрыв»? Мало того, что это разрушение оказалось бы неминуемым, оно могло бы разорвать саму ткань реальности, заставив мыслящих обитателей космоса бес-

помощно наблюдать за тем, как Вселенная вокруг них рвется в клочья.

Эта пугающая идея не так уж невероятна. На самом деле лучшие из имеющихся у нас данных космологических наблюдений не только не исключают такой возможности, но и в каком-то смысле свидетельствуют в ее пользу. Так что стоит потратить некоторое время на изучение того, что именно это означает для нас.

КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ НЕПОСТОЯННАЯ

Темная энергия, как правило, считается космологической постоянной, которая растягивает пространство и ускоряет процесс космического расширения, наделяя Вселенную некоторой склонностью к разбуханию. Это описание довольно хорошо работает в больших масштабах. Однако внутри галактик, солнечных систем или в непосредственной близости от организованной материи космологическая постоянная обычно никак не проявляется. Ее правильнее было бы рассматривать как некую изолирующую силу. Если две галактики уже достаточно удалены друг от друга, расстояние между ними продолжает увеличиваться, поэтому со временем отдельные галактики, их скопления или группы оказываются все более одинокими. Кроме того, действие космологической постоянной слегка замедляет процесс их формирования. Но чего она не может сделать, так это разорвать уже организованную

структуру. Таким образом, то, что соединила гравитация, космологическая константа разъединить не в силах.

Причина этого небольшого милосердия космологической постоянной (которая, тем не менее, в итоге приведет к разрушению всей Вселенной) заключена в слове «постоянная». Если темная энергия на самом деле является космологической постоянной, ее определяющее свойство состоит в том, что плотность темной энергии в любой части пространства остается одинаковой даже при расширении пространства. Постоянна не скорость расширения, а только плотность самой космологической постоянной в любом заданном объеме пространства. В некотором роде это имеет смысл, если каждой точке пространства автоматически присваивается определенное количество темной энергии, однако это по-прежнему остается очень странным, поскольку означает, что с увеличением пространства количество темной энергии тоже увеличивается, обеспечивая постоянную плотность. Это также означает, что если вы нарисуете сферу заданного размера в любом месте Вселенной и измерите количество темной энергии внутри нее, а затем сделаете то же самое в будущем, вы получите один и тот же результат, вне зависимости от того, насколько за это время расширилась Вселенная. Если в вашей первоначальной сфере содержится скопление галактик и некоторое количество темной энергии, то через миллиард лет количество темной энергии в этой области будет таким же, поэтому, если ее и раньше было недостаточно для того, чтобы разрушить скопление галактик, ей не удастся сделать это и в будущем. Соотношение между веществом и темной энергией в данной сфере существен-

но не изменится даже по мере опустошения остального космоса.

Это обнадеживает. Если вы являетесь скоплением материи во Вселенной и хотите сформировать хорошую стабильную гравитационно-связанную галактику, вы можете быть уверены, что, как только вы накопите достаточно вещества для построения чего-либо, темная энергия не сможет разрушить результат вашего труда.

Но только при условии, что темная энергия не является чем-то более мощным.

Как мы говорили в предыдущей главе, космологическая постоянная — лишь одна из возможных форм темной энергии. Все, что нам известно о темной энергии, — это то, что она заставляет Вселенную расширяться с ускорением. Или, если точнее, она оказывает отрицательное давление. На первый взгляд понятие отрицательного давления может показаться чем-то странным, поскольку о давлении, как правило, думают как о некоей выталкивающей силе. Однако в эйнштейновской общерелятивистской картине мира давление представляет собой просто еще один вид энергии, вроде массы или радиации, которая оказывает гравитационное воздействие. А согласно общей теории относительности, гравитация является лишь следствием искривления пространства.

Помните аналогию с шаром для боулинга, создающим вмятину на поверхности батута, с помощью которой мы продемонстрировали, как вещество искривляет

пространство? Если принять во внимание общую теорию относительности, вмятина будет глубже не только в том случае, если мяч будет более массивным, но и если он будет горячим или будет иметь высокое внутреннее давление. Таким образом, давление, как и другие виды энергии, действует во многом подобно массе. С гравитационной точки зрения давление притягивает. Например, при расчете гравитационного воздействия скопления газа вы должны учитывать не только его массу, но и давление, поскольку и то, и другое вносит вклад в гравитационное воздействие, которое газ оказывает на находящееся вокруг него вещество. Фактически давление вносит в кривизну пространства-времени больший вклад, чем масса.

Что это означает для отрицательного давления? Если давление какого-то странного вещества может быть отрицательным, это означает, что оно способно компенсировать влияние массы на кривизну пространства-времени. Если записать давление и плотность темной энергии в форме космологической постоянной, используя соответствующие единицы измерения, то давление будет равно плотности по модулю, но противоположно по знаку.

Как правило, мы выражаем взаимосвязь между плотностью вещества и его давлением с помощью так называемого параметра уравнения состояния, который обозначается буквой w и представляет собой отношение давления к плотности энергии. При этом используются единицы измерения, позволяющие провести подобное сравнение. В данном случае нас интересует уравнение состояния темной энергии, которое при наличии доста-

точного количества времени станет уравнением состояния Вселенной, поскольку темная энергия будет играть все более важную роль в расширяющемся пространстве по мере рассеивания остального содержимого. Если измеренная величина w равна -1 , то значение давления точно противоположно значению плотности, а темная энергия является космологической постоянной. Поскольку плотность энергии в космологической постоянной всегда положительна, можно подумать, что она должна действовать подобно материи и усиливать гравитацию, замедляющую процесс расширения Вселенной. Однако поскольку отрицательному давлению в уравнениях придается больший вес, получается так, что космологическая постоянная способствует ускорению космического расширения.

Но этот эффект, по крайней мере, предсказуем. Космологическая постоянная с параметром $w = -1$ имеет общую плотность энергии, которая остается постоянной на протяжении всего процесса расширения Вселенной, не увеличиваясь и не уменьшаясь. При любом другом значении w все меняется. Поэтому так важно выяснить, с чем мы имеем дело.

Спустя несколько лет после обнаружения темной энергии стало ясно, что нечто заставляет Вселенную расширяться с ускорением, а значит, должно существовать что-то, имеющее отрицательное давление. Оказывается, все, что имеет значение $w < -1/3$, обуславливает как отрицательное давление, так и ускоренное расширение. Однако выяснение значения параметра w может сказать нам,

является ли темная энергия истинной космологической постоянной (w всегда равно -1) или некоей динамической формой темной энергии, чье влияние на Вселенную может со временем измениться. Поэтому астрономы приступили к поиску способа точного измерения значения w . Если бы выяснилось, что темная энергия не является космологической постоянной, это означало бы, что мы обнаружили новый вид физики, которую не предвидел даже Эйнштейн*.

На протяжении нескольких лет главной задачей было измерение параметра w и выяснение, что происходит с темной энергией. Были проведены измерения, написаны работы, построены графики, на которых показаны согласующиеся с данными значения параметра w . Версия космологической постоянной казалась самой правдоподобной.

Однако в конце 1990-х — начале 2000-х годов небольшая группа космологов указала на важную необсуждаемую предпосылку, лежащую в основе расчетов их коллег. Использование этой предпосылки было вполне разумным решением, поскольку ее игнорирование нарушило бы некоторые из фундаментальных принципов теоретической физики. Тем не менее имеющиеся данные не требовали учета этих принципов, а мы как ученые должны опираться прежде всего на данные. Даже если это означает, что нам придется пересмотреть судьбу Вселенной.

* Ну хоть в чем-то же он должен был ошибиться.

ЗА ПРЕДЕЛАМИ КАРТЫ

Физик Роберт Колдуэлл и его коллеги задали простой вопрос: а что если значение параметра w меньше -1 ? Скажем, $-1,5$? Или -2 ? До этого момента такая возможность не рассматривалась, поскольку считалась невероятной. Построенные на основе данных графики, показывающие область «допустимых» значений параметра w , как правило, резко обрывались на значении -1 . Ось могла включать значения от -1 до 0 или от -1 до $0,5$, но значение -1 было непреодолимой стеной. Такой же непреодолимой, как значение 0 для того, кто пытается угадать рост человека.

Когда Колдуэлл занялся этой проблемой, он заметил, что все наблюдения указывают на то, что значение w равно или почти равно -1 . То есть значения меньше -1 не противоречат данным.

Эта гипотетическая темная энергия с параметром $w < -1$ была названа Колдуэллом «фантомной темной энергией» и противоречила вышеупомянутым важным теоретическим принципам, в частности, «доминирующему энергетическому условию», согласно которому энергия не может перемещаться быстрее света*. Это условие кажется вполне разумным, но оно несколько отличается от

* Объясняя выбор термина «фантомная» в своей статье 1999 года, где впервые упоминается эта идея, Колдуэлл писал: «Фантом — это нечто, воспринимаемое зрением или другими органами чувств, но не имеющее телесного воплощения, — подходящее определение для формы энергии, описываемой в терминах неортодоксальной физики».

обычного утверждения о том, что свет (или любой вид материи) имеет предельную скорость распространения, и в настоящее время оно является не столько доказанным физическим принципом, сколько очень хорошей идеей. Что, если ему свойственна некоторая гибкость?

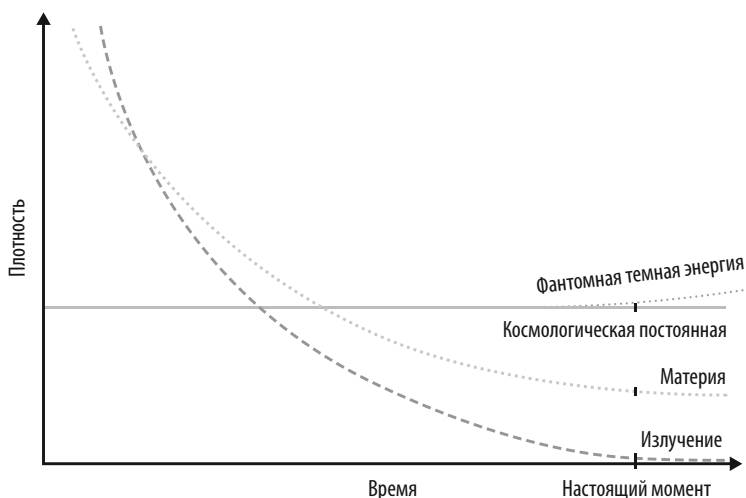


Рис. 14. Эволюция темной энергии в форме космологической постоянной или в форме фантомной темной энергии в сравнении с эволюцией материи и излучения.

Для космологической постоянной характерна постоянная плотность на протяжении всего процесса расширения Вселенной, а в случае фантомной темной энергии плотность возрастает

Колдуэлл и его коллеги пошли еще дальше и рассчитали ограничения, основываясь на полном диапазоне возможных значений параметра w . В результате они выяснили

не только то, что значения меньше -1 полностью соответствуют данным, они также установили, что если w даже крайне незначительно отклоняется от -1 в меньшую сторону, темная энергия разорвет Вселенную, и произойдет это за конечное время, которое можно вычислить.

Здесь я хочу на секунду прерваться и сказать, что эта статья под названием *Phantom Energy: Dark Energy with $w < -1$ Causes a Cosmic Doomsday* («Фантомная энергия: темная энергия с параметром $w < -1$ предвещает космический конец света») — одна из моих любимых работ по физике. Нечасто можно обнаружить, что небольшая корректировка текущей картины мира в виде незначительного уменьшения значения параметра приводит к уничтожению Вселенной. Более того, вы можете точно рассчитать, когда и как именно погибнет Вселенная и как она будет выглядеть, когда это произойдет.

Об этом мы и поговорим далее.

БОЛЬШОЙ РАЗРЫВ

Аналогией в данном случае может послужить процесс распуывания.

Первыми будут разрушены самые крупные образования, состоящие из слабо связанных между собой компонентов. Длинные переплетающиеся траектории, по которым лениво кружат группы из сотен и тысяч галактик в скоплениях,

будут становиться все более длинными. Обширные пространства, преодолеваемые галактиками за миллионы или миллиарды лет, еще больше расширятся, в результате чего галактики на окраинах начнут медленно дрейфовать в углубляющиеся космические пустоты. Вскоре даже самые плотные скопления рассеются, поскольку на входящие в их состав галактики больше не будет действовать сила притяжения со стороны центрального ядра.

Для нас исчезновение скоплений должно было бы стать первым зловещим признаком начала Большого разрыва. Однако из-за конечной скорости света эта подсказка дойдет до нас с задержкой — к тому моменту, когда эффекты Большого разрыва начнут проявляться в непосредственной близости от нас. По мере рассеивания местного скопления Девы входящие в его состав галактики будут все быстрее удаляться от Млечного Пути. Однако заметить этот эффект будет довольно трудно, в отличие от следующего.

У нас уже есть космические телескопы, позволяющие отслеживать положения и движение миллиардов звезд в нашей галактике*. По мере приближения Большого разрыва мы начнем замечать, что звезды на окраинах галактики уже не вращаются по своим привычным орбитам, а расходятся в разные стороны, словно гости в конце вечерин-

* Новейший из таких телескопов под названием Gaia создает удивительно подробные звездные карты нашей галактики и уже позволяет получить более подробное представление об истории космоса. Информацию о нашей возможной судьбе нам еще только предстоит получить.

ки. Вскоре наше ночное небо начнет темнеть вследствие исчезновения великого Млечного Пути. Наша галактика испарится.

С этого момента процесс разрушения начнет набирать обороты. Мы заметим медленное расширение орбит. Всего за несколько месяцев до конца, после того как внешние планеты Солнечной системы канут во тьму, Земля удалится от Солнца, а Луна от Земли. Нам тоже предстоит оказаться во тьме, в полном одиночестве.

Правда, покой нового уединения не продлится долго.

К этому моменту любая все еще не поврежденная структура будет подвергаться все более сильному воздействию расширяющегося пространства внутри нее. Атмосфера Земли начнет истончаться с верхних слоев. Движение тектонических плит Земли станет хаотичным в результате изменения гравитационного воздействия. За несколько часов до конца Земля утратит возможность сопротивляться внутреннему давлению: наша планета взорвется.

В принципе, даже разрушение Земли можно пережить, если мы вовремя интерпретируем признаки грядущего апокалипсиса и укроемся в какой-нибудь компактной космической капсуле*. Но и это решение предоставит лишь краткую отсрочку. Вскоре электромагнитные силы, которые удерживают вместе атомы и молекулы, составляющие

* Когда опасность представляет само пространство, лучше находиться в конструкции, в которой как можно меньше места.

КОНЕЦ ВСЕГО

наши тела, перестанут сопротивляться расширению пространства. В последние доли секунды молекулы распадутся, и все мыслящие существа, которые доживут до этого момента, будут разорваны изнутри.

Уже никто не сможет наблюдать за дальнейшим процессом разрушения, который, несмотря на это, будет продолжаться. Следом будут уничтожены сами ядра — сверхплотные материальные образования в центрах атомов. Невообразимо плотные ядра черных дыр будут выпотрошены. А в последний момент разорвется ткань самого пространства.

Период, считая от настоящего момента	Событие
≥ 188 миллиардов лет	Большой разрыв
Время до Большого разрыва	
2 миллиарда лет	Исчезновение галактических скоплений
140 миллионов лет	Разрушение Млечного Пути
7 месяцев	Разрушение Солнечной системы
1 час	Взрыв планеты Земля
10–19 секунд	Распад атомов

Рис. 15. Временная шкала Большого разрыва (основанная на текущем наихудшем сценарии для параметра w), адаптированная из работы Колдуэлла, Камιονковского, Вайнберга 2003 года. До самого Большого разрыва пройдет не менее 188 миллиардов лет. В приведенной таблице перечислены этапы разрушения с указанием, за сколько времени до конца Вселенной они произойдут

К сожалению, мы никогда не сможем сказать наверняка, что нам не грозит Большой разрыв. Проблема заключается в том, что разница между Вселенной, обреченной на тепловую смерть, и Вселенной, которую ждет Большой разрыв, крайне трудноуловима. Если темная энергия представляет собой космологическую постоянную, то есть значение параметра уравнения состояния w равно -1 , то нас ждет тепловая смерть. Если значение w меньше -1 даже незначительно, например на одну миллиардную миллиардной, то мы имеем дело с фантомной темной энергией, способной разорвать Вселенную в клочья.

Поскольку измерить что-либо с абсолютной точностью нельзя, мы можем утверждать лишь, что если Большой разрыв действительно произойдет, это случится в таком далеком будущем, что к тому моменту все организованные структуры в космосе уже распадутся. Даже если мы имеем дело с фантомной темной энергией, чем ближе значение параметра w к -1 , тем в более отдаленное будущее сдвигается Большой разрыв. В последний раз, когда я рассчитывала самый ранний из возможных моментов наступления этого события на основании данных со спутника «Планк» 2018 года, у меня получилось что-то около 200 миллиардов лет.

Можно вздохнуть с облегчением.

Тем не менее, учитывая возможные последствия как для Вселенной, так и для самой физики, астрономы придают большую важность определению нашего положения на шкале от $w = -1$ до значения, грозящего космическим

концом света*. Мы не можем измерить величину w напрямую, но можем сделать это косвенно, измерив скорость расширения Вселенной в прошлом и сравнив результат с поведением различных видов темной энергии, предсказанным нашими лучшими теоретическими моделями. В предыдущей главе я приукрасила ситуацию, но на самом деле выяснить скорость расширения в прошлом оказалось гораздо сложнее, чем мы предполагали. В принципе, значение w можно определить несколькими способами, и некоторые из них даже не требуют вычисления скорости расширения с учетом конкретных расстояний. Но самый простой способ разобраться с темной энергией — это изучить всю историю расширения Вселенной. Однако все странности космологии обрушиваются на вас, стоит только попытаться ответить на простой вопрос: «На каком расстоянии от нас находится эта галактика?»

ЛЕСТНИЦА В НЕБО

Чтобы сравнить локальные скорости расширения пространства в двух отдаленных точках Вселенной, сначала необходимо выяснить точное расстояние между ними. Это не сложно сделать на Земле или даже в пределах орбиты Луны, направив на объект лазерный луч и посмотрев, сколько времени потрется свету, чтобы

* Если вы спросите моих коллег, они скажут, что стремятся постичь природу темной энергии потому, что она может многое рассказать нам о фундаментальной физике и нашей космологической модели. Но я-то знаю, что в действительности ими движет страх.

вернуться*. В таких масштабах Вселенная ведет себя довольно разумно и в основном проявляется как неизменное пространство, где расстояние от точки А до точки Б легко определить. Когда речь заходит об объектах, находящихся за пределами Солнечной системы, все становится сложнее не только потому, что расстояния до них труднее измерить, но и потому, что в больших масштабах само понятие расстояния начинает меняться из-за расширения пространства.

На протяжении многих лет астрономы старались объединить в систему ряд частично дублирующих друг друга определений и методов измерения космических расстояний. Какой бы запутанной она ни казалась сегодня, эта система является результатом нескольких десятилетий инновационной деятельности в сфере наблюдательной астрономии и анализа данных, и она предоставила нам интуитивно понятную, но сложную для реализации стратегию под названием «лестница расстояний».

Представьте, что вам нужно измерить длину большой комнаты, используя обычную линейку. Если вы готовы ползать по полу, вы можете просто проверить, сколько раз линейка помещается в это расстояние. Применив творческий подход, вы могли бы измерить длину своего шага,

* Так мы и делаем. Это называется лазерной локацией Луны, а возможно это благодаря тому, что астронавты программы «Аполлон» оставили там специальный отражатель. С помощью этого удобного инструмента мы можем не только определять точное расстояние до Луны (забавный факт: она удаляется от Земли со скоростью около 4 см в год), но и исследовать действие гравитации путем очень внимательного наблюдения за орбитой.

а затем просто пройти по комнате, считая шаги. Выбрав второй метод, вы создали бы лестницу расстояний — систему определения больших расстояний на основе легко измеримых значений.

Лестница космических расстояний состоит из нескольких ступеней, позволяющих добраться до объектов, находящихся в миллиардах световых лет от нас. В пределах Солнечной системы определить расстояния помогают лазерная дальнометрия, расчет орбит и даже затмения. На следующей ступени лестницы расстояний используется параллакс. В основе этого метода лежит тот факт, что при смене точки обзора видимое положение более близких объектов смещается относительно неподвижного фона сильнее, чем видимое положение более удаленных объектов. Именно этим эффектом объясняется то, что палец, находящийся перед вашим лицом, «перепрыгивает» из стороны в сторону, когда вы поочередно закрываете глаза. Если мы посмотрим на расположенную поблизости звезду в июне, а затем проведем повторные наблюдения в декабре, то за счет перемещения Земли по своей орбите вокруг Солнца видимое положение звезды несколько сместится относительно более удаленных объектов. Чем ближе к нам объект, тем сильнее его смещение. К сожалению, для того, что находится за пределами нашей галактики, эти смещения настолько малы, что их просто невозможно заметить, поэтому для измерения расстояния до них нам нужен другой метод, основанный исключительно на свойствах излучаемого ими света.

Ключом к измерению расстояний до всех остальных объектов является концепция стандартной свечи, о которой я упомянула в предыдущей главе. Стандартной

свечой называют объект (например, звезду), имеющий некоторое физическое свойство, говорящее о его яркости. По тому, насколько ярким он кажется, можно понять, насколько далеко от нас он находится. В некотором роде это все равно что лампочка с надписью «60 Вт». Мы знаем, насколько яркой она должна быть, однако по мере удаления она будет давать все меньше света.

Разумеется, ни на одном космическом объекте вы не найдете надписи с указанием его яркости. Но у нас есть нечто почти столь же полезное. Открытие, которое позволило применять стандартные свечи в астрономии, было сделано в начале 1900-х годов астрономом Генриеттой Суон Ливитт*. Работая в Гарвардской обсерватории, она обнаружила, что яркость определенного класса переменных звезд, известных как «цефеиды», меняется предсказуемым образом. Более яркие цефеиды отличаются более длинным периодом пульсации и меньшей амплитудой блеска. Цефеида, которая по своей природе является более тусклой, имеет более короткий период пульсации, а ее блеск меняется в большем диапазоне**.

* В то время ее не называли астрономом. Она была одной из женщин-«вычислителей», которые выполняли малооплачиваемую работу, изучая астрономические фотопластинки и производя огромное количество расчетов, имевших огромное значение для астрофизики. Эдвин Хаббл, использовавший ее открытие для измерения размера и скорости расширения Вселенной, позднее сказал, что она заслужила Нобелевскую премию. К сожалению, при жизни помимо уважения со стороны коллег она не получила практически никакого признания.

** Я предпочитаю думать о ярких цефеидах как об огромных ленивых сенбернарах, а о тусклых — как о подвижных и задорных собаках породы чихуа-хуа.

Это открытие было революционным и, вероятно, одним из самых важных в истории астрономии, поскольку оно наконец позволило нам оценить масштаб окружающей нас Вселенной. Обнаружив в той или иной области космоса цефеиду, мы можем получить представление о расстоянии до нее и приступить к созданию удобной карты. Измеряя период пульсации цефеиды и учитывая, насколько яркой она казалась, Ливитт могла довольно точно определить ее реальную яркость, а значит, и расстояние до звезды.



Рис. 16. Лестница космических расстояний.

Для измерения расстояний в пределах Солнечной системы мы можем использовать лазеры или радар (помимо соотношений между орбитальным периодом и расстоянием). Расстояния до ближайших звезд можно вычислить с помощью параллакса, а переменные звезды цефеиды помогают нам определить расстояния до объектов Млечного Пути и некоторых близлежащих галактик. В случае более удаленных объектов можно использовать сверхновые типа Ia

Как далеко это может нас завести? Мы способны рассмотреть цефеиды Млечного Пути и соседних галактик, поэтому с помощью параллакса можем определить расстояние до ближайших цефеид, тщательно откалибровать

соотношение «период — светимость», а затем использовать более отдаленные звезды для определения расстояния до других галактик. Следующая ступень лестницы расстояний является критически важной, но здесь может возникнуть путаница. В предыдущей главе мы говорили, что для измерения расстояний может использоваться определенный вид сверхновых.

Вспышкой сверхновой типа Ia называется мощный взрыв белого карлика, поглотившего часть вещества другой незадачливой звезды. Поскольку все белые карлики являются довольно простыми объектами*, а физика их взрыва казалась нам достаточно понятной, сверхновые типа Ia на протяжении некоторого времени считались хорошими стандартными свечами благодаря предсказуемым свойствам их взрывов. Однако позднее выяснилось, что их следовало бы называть не стандартными, а «стандартизируемыми» в том смысле, в котором это понятие применимо к цефеидам. Исследуя динамику изменения блеска, мы можем получить представление об общем количестве энергии, выделяемой при взрыве, а значит, и о его реальной яркости.

ТЕРМОЯДЕРНО-ЯРКИЙ ЗВЕЗДНЫЙ СВЕТ

Однако эта книга о разрушении, и было бы непостижительно, если бы при описании вспышки сверхновой типа Ia я бы ограничилась невыразительной фразой

* Во всяком случае, по меркам звезд.

КОНЕЦ ВСЕГО

«взрывающаяся звезда». Белый карлик, в которого однажды превратится и наше Солнце, сам по себе чудо звездной эволюции. А его взрыв представляет собой термоядерную детонацию всего вещества звезды, вспышка которой способна затмить сияние целой галактики.

Если вы — звезда любого типа, то, на какой бы стадии жизненного цикла вы ни находились, ваше существование зависит от деликатного баланса между давлением, создаваемым в вашем ядре, и гравитацией, порождаемой веществом, из которого вы состоите. (Это состояние называется «гидростатическим равновесием», а его суть сводится к идее о том, что гравитация, направленная внутрь, должна быть уравновешена направленным наружу давлением, чтобы звезда не взорвалась и не коллапсировала.) В большинстве случаев давление создается термоядерными реакциями в ядре звезды, в ходе которых легкие атомные ядра сливаются, превращаясь в атомы более тяжелых элементов. Слияние самых легких атомных ядер сопровождается выделением энергии в виде излучения, которое и отвечает за давление, предотвращающее коллапс звезды.

В случае такой звезды, как Солнце, направленное наружу давление обеспечивается слиянием ядер водорода в ядра гелия. Фактически большинство звезд представляют собой гигантские заводы по производству гелия, которые поглощают водород, самый распространенный элемент во Вселенной, и каждую секунду производят из него бесчисленные миллиарды ядер гелия. Давайте рассмотрим пример дорогого нашему сердцу Солнца.

Прямо сейчас Солнце сжигает водород, создавая избыток гелия в ядре, что со временем приведет к изменению температуры и давления. Поскольку эффективность завода зависит как от температуры, так и от давления, количество выделяемой Солнцем энергии и его размер будут меняться, — за следующие несколько миллионов лет оно станет ярче и чуть крупнее*.

Примерно через миллиард лет мы начнем поджариваться. Однако даже после того, как Земля встанет на путь превращения в обугленный безжизненный кусок породы, история Солнца будет еще далека от завершения. Повышение температуры Солнца, из-за которого сгорят внутренние планеты (Меркурий и Венера) и испарятся океаны на Земле, будет сопровождаться сожжением такого огромного количества водорода, что в итоге у заполненного гелием ядра останется лишь тонкая водородная оболочка. Затем температура в ядре повысится настолько, что гелий начнет превращаться в кислород и углерод, а Солнце раздуется и станет огромным красным гигантом. За следующие несколько миллиардов лет Солнце сожжет остатки водорода, после чего начнется настоящая агония. Ядро станет заполняться кислородом, а затем углеродом, — реакции ядерного синтеза на этом этапе будут поддерживаться за счет гравитационного

* По текущим оценкам, радиус Солнца уже увеличивается примерно на 1 дюйм в год. Но в то же время орбита Земли расширяется, так что мы удаляемся от Солнца примерно на 15 сантиметров в год (здесь я не буду извиняться за смешение единиц измерения), поэтому пока не похоже, чтобы поверхность Солнца приближалась к нам.

сжатия ядра. В конце концов, после того, как Солнце поглотит Венеру, а Земля превратится в дымящийся кусок породы, гравитация звезды будет уже недостаточной для поддержания температуры, необходимой для дальнейшего ядерного синтеза. Солнце сбросит внешнюю оболочку, и его ядро начнет сжиматься.

Можно было бы подумать, что это конец для звезды — истощенной, поглотившей ближайшие планеты, не способной поддерживать достаточно сильные термоядерные реакции, чтобы оставаться в стабильном состоянии. Но, к счастью, существует давление еще более сильное, чем то, которое обеспечивается реакциями синтеза, и оно может предотвратить окончательный коллапс Солнца и подобных ему звезд, миновавших стадию красного гиганта, позволив ему существовать в виде белого карлика. И этот вид давления имеет непосредственное отношение к квантовой механике.

КВАНТОВАЯ КУЧА

Первое, что вам следует запомнить, — это то, что большинство субатомных частиц, в том числе электроны, протоны, нейтроны, нейтрино и кварки, являются фермионами, что в контексте физики элементарных частиц означает их крайнюю самодостаточность. Они подчиняются принципу запрета (или исключения) Паули, согласно которому два и более тождественных фермиона не могут одновременно находиться в одном и том

же квантовом состоянии. Именно поэтому, как вы, наверное, помните из школьного курса химии, электроны в атомах занимают разные «орбитали», которые, по сути, представляют собой различные энергетические уровни.

По мере того как в ядре выгоревшей коллапсирующей звезды скапливается все больше плотно прижатых друг к другу атомов, их электроны становятся все более «дерганными». При таком давлении электроны уже не связаны с конкретными атомами, а спрессованы так сильно, что вынуждены перепрыгивать на более высокие энергетические уровни, чтобы не находиться в одном и том же квантовом состоянии. Это обеспечивает так называемое давление вырожденного электронного газа, которое способно остановить коллапс звезды и породить совершенно новый тип объекта: белый карлик.

Белый карлик — это звезда, которая уже не горит, поскольку в ней не происходят реакции термоядерного синтеза. Это твердый объект, существующий исключительно за счет квантово-механического принципа, который сводится к тому, что электроны просто не особенно любят друг друга. И он может тихо тлеть многие миллиарды лет, медленно угасая и остывая, до тех пор, пока не распадется в результате тепловой смерти, не загорится в процессе Большого сжатия или не будет разорван фантомной темной энергией в момент Большого разрыва наряду со всем остальным.

Но это только в том случае, если его масса не увеличится.

Давление вырожденного электронного газа способно на многое. Оно может поддерживать существование целой звезды, но только до определенного момента. Если что-то выведет белого карлика из состояния равновесия, например, если он поглотит вещество звезды-компаньона или столкнется с другим белым карликом, его масса увеличится настолько, что давление вырожденного электронного газа уже не сможет предотвратить дальнейший коллапс. После этого может произойти целый ряд событий.

Температура центрального ядра звезды резко увеличится, и она начнет сжигать углерод. Вещество звезды будет бурлить и перемешиваться. В конце концов, процесс дефлаграционного горения вызовет термоядерный взрыв такой мощности, что звезда будет окончательно разорвана на части.

Взрыв белого карлика сопровождается очень яркой вспышкой, которая на короткое время может затмить блеск галактики, и ее можно увидеть в телескоп с расстояния в миллиарды световых лет. Сверхновые, которые вспыхивали в отдаленных областях Млечного Пути и близлежащих галактиках, в древние времена были видны невооруженным глазом даже в дневное время*.

* Сверхновая 1006, вспышку которой наблюдали в период с 30 апреля по 1 мая 1006 года, вероятно, относилась к типу Ia и была вызвана столкновением двух белых карликов, случившимся на расстоянии около 7000 световых лет в нашей галактике. Ее остаток, напоминающий разноцветный клубок дыма, можно увидеть и сегодня.

Участников астрономического сообщества несколько смущает тот факт, что мы до сих пор имеем лишь приблизительное представление о механизме взрыва сверхновых типа Ia. Ученые продолжают спорить о том, чем именно он вызван, — перетеканием на белый карлик вещества со звезды-компаньона или столкновением двух белых карликов. Симулировать взрыв звезды чрезвычайно сложно в вычислительном отношении. В результате большинства симуляций получаются весьма впечатляющие визуализации бурлящего звездного вещества, так и не доходящие до стадии взрыва. Но ученые не сдаются. (Оказывается, звезды устроены не так просто, как мы думали. Особенно когда в дело вступают квантовая механика и механизм термоядерного взрыва.)

Причина, по которой мы считаем наблюдение сверхновых типа Ia полезным, заключается в том, что, судя по всему, в момент взрыва масса всех белых карликов одинаковая. В 1930 году двадцатилетний физик-вундеркинд из Индии по имени Субраманьян Чандрасекар плыл на корабле в Англию, чтобы продолжить обучение в Кембридже, и по пути случайно совершил революционное открытие в области звездной эволюции. Усовершенствовав расчеты и включив важные эффекты теории относительности, он обнаружил верхний предел массы, при котором давление вырожденного электронного газа способно поддерживать существование звезды. Это значение, соответствующее примерно 1,4 солнечной массы, получило название «предела Чандрасекара». Любой белый карлик, масса которого превышает эту критическую отметку, неминуемо взрывается в виде сверхновой. Хорошо понимая физику этого

взрыва, мы знаем, насколько яркой является вспышка сверхновой типа Ia, благодаря чему можем определить расстояние до нее.

Когда корабль Чандрасекара достиг берега, его прорывная идея распространилась по научному миру, словно фронт детонационной волны, навсегда изменив наше представление об этих странных и удивительных взрывающихся объектах. (Правда, убеждены были не все. Знаменитый астроном сэр Артур Эддингтон*, чьи расчеты усовершенствовал Чандрасекар, не особенно обрадовался, что его затмил какой-то выскочка, и в течение многих лет серьезно усложнял жизнь молодого физика, прежде чем признал превосходство его вычислений.)

КОСМИЧЕСКИЙ ПОПКОРН

Идея о том, что белые карлики взрываются, когда их масса превышает предел Чандрасекара, позволяет астро-

* Имя Эддингтона может показаться вам знакомым, поскольку в 1919 году он организовал экспедицию для наблюдения солнечного затмения, в ходе которой были получены первые доказательства общей теории относительности Эйнштейна. Наблюдения показали, что свет звезд, проходя рядом с Солнцем, отклоняется из-за искривления пространства, обусловленного его массой. (Такое наблюдение можно провести только во время солнечного затмения). Известный в то время заголовок гласил: «ЛУЧИ ОТ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ ИСКРИВЛЯЮТСЯ — МУЖЧИНЫ НАУКИ ВЗВОЛНОВАНЫ РЕЗУЛЬТАТАМИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗАТМЕНИЯ». Женщин науки они, по-видимому, не особенно впечатлили.

номам использовать эти звезды в качестве измерителей расстояния, внося некоторые корректировки для учета небольших различий между ними.

Точность подобных измерений по-прежнему остается предметом жарких споров среди астрофизиков. И это можно понять, учитывая, как много поставлено на карту. Сверхновые типа Ia являются золотым стандартом* измерения огромных космических расстояний. Именно благодаря им в конце 1990-х годов астрономы обнаружили ускорение расширения Вселенной, а сейчас они помогают в изучении природы темной энергии.

(Метод измерения расстояний, основанный на использовании взрывов далеких звезд, может показаться странным, учитывая, что мы не можем предсказать, когда и где они произойдут. Однако частота таких взрывов достаточно высока — примерно по одной сверхновой на галактику за столетие, а галактик так много, что, если мы будем каждую ночь фотографировать множество галактик, то, скорее всего, рано или поздно обнаружим вспышку там, где ее не было накануне, после чего сможем приступить к более подробным наблюдениям.)

Точность, с которой мы можем определить расстояние до галактики с помощью сверхновых, поистине

* Если бы сверхновые типа Ia производили золото, получился бы отличный каламбур. Однако, несмотря на то что во время их взрыва могут образовываться другие элементы (например, внушительное количество никеля), необходимые для образования золота экстремальные температуры и давление в основном достигаются лишь при столкновении нейтронных звезд. Увы.

впечатляюща, она достигает 1%. Это позволяет нам измерять скорость расширения Вселенной путем определения расстояний до галактик и скорости их удаления. Как вы помните из главы 3, мы говорим о скорости расширения в терминах постоянной Хаббла — числа, связывающего расстояние со скоростью удаления. На момент написания этой книги наблюдение вспышек сверхновых позволяло измерять постоянную Хаббла с точностью до 2,4%. Что довольно странно, поскольку вычисленное нами значение совершенно не соответствует оценке постоянной Хаббла, полученной с помощью наблюдений космического микроволнового фонового излучения.

РАСШИРЕНИЕ НЕСООТВЕТСТВИЯ

На протяжении последних нескольких лет, измеряя постоянную Хаббла с помощью сверхновых, мы получили значение около 74 км/с/Мпк, которое говорит о том, что галактика, находящаяся на расстоянии в один мегапарсек (около 3,2 миллиона световых лет), удаляется от нас со скоростью около 74 км/с. Галактика, находящаяся в два раза дальше, удаляется от нас примерно вдвое быстрее. Однако мы можем измерить постоянную Хаббла и не напрямую, тщательно изучив геометрию горячих и холодных пятен на карте реликтового излучения. При использовании такого способа измерения мы получаем значение около 67 км/с/Мпк. Несмотря на

то что эти методы опираются на исследование очень разных эпох космической истории, каждый из них позволяет вычислить текущую скорость расширения пространства. Если мы не ошибаемся относительно состава Вселенной, то оба метода вычисления постоянной Хаббла должны давать одинаковый результат. Но этого не происходит.

Это не казалось такой уж большой проблемой, поскольку никто не считал данные способы достаточно точными, чтобы раз и навсегда решить вопрос. До недавнего времени сторонники использования реликтового излучения предполагали наличие ошибки в лестнице космических расстояний, устранение которой могло бы однажды уменьшить полученное с ее помощью оценочное значение.

В то же время сторонники использования сверхновых полагали, что измерение реликтового излучения, предполагающее попытку определить форму самого пространства, является настолько сложной задачей, что в ходе ее решения наверняка могла закрасться ошибка, из-за которой полученное значение оказалось заниженным. Это предположение не лишено оснований, учитывая количество вычислений, необходимых для выяснения текущей скорости расширения Вселенной исходя из того, как она выглядела в младенчестве. Да и лестница космических расстояний тоже невероятно сложна. Даже если оставить в стороне всевозможные отклонения, которые могут возникнуть, если не учесть все имеющие значение свойства сверхновых, калибровка переменных звезд является

непростой задачей, и даже при выяснении расстояния до ближайших галактик мы иногда получаем значения с огромной погрешностью. Отчасти это обусловлено отличиями между популяциями переменных цефеид, находящимися на разных расстояниях от нас, и... в общем, тут можно продолжать бесконечно. Позвольте мне просто сказать, что споры все еще ведутся.

Хотя обе группы ученых продолжают считать, будто ошибаются именно оппоненты, ситуация становится все более неудобной, так как обе стороны совершенствуют свои методы, выявляя и устраняя причины путаницы, но при этом получают значения, которые по-прежнему не согласуются друг с другом.

Каким в итоге окажется решение этой проблемы, все еще неясно. Возможно, она действительно сводится к систематическим ошибкам в данных или к какой-то неправильности в самих способах измерения. Возможно, дело просто в статистической случайности, каким бы маловероятным это ни казалось. Некоторые из наиболее интригующих объяснений связаны с тем, что темная энергия представляет собой не космологическую постоянную, а нечто более зловещее, что может однажды привести к Большому разрыву. Существует гипотеза, которая могла бы разрешить проблему несоответствия между двумя оценочными значениями. Согласно ей, темная энергия со временем становится более мощной, чего и следовало бы ожидать на начальных стадиях преобладания в космосе фантомной темной энергии.

Однако паниковать пока рано. Как уже говорилось, с данными по-прежнему не все ясно. Большинство измерений параметра w дают значение, соответствующее -1 , и хотя значения меньше -1 иногда оказываются несколько более предпочтительными, это предпочтение не является статистически значимым. Что касается расхождения в значениях постоянной Хаббла, даже если все измерения проведены правильно, наиболее вероятными кажутся не апокалиптические объяснения, в том числе связанные с необычными моделями темной материи или изменениями условий в ранней Вселенной. На самом деле, даже если мы разберемся с темной энергией, этого будет недостаточно, чтобы полностью решить проблему, поэтому вполне разумно предположить, что ее решение однажды обнаружится в совершенно другом месте. И даже если в недавнем прошлом Вселенной действительно произошел резкий рост влияния темной энергии, намекающий на существование чего-то вроде фантомной темной энергии, до возможного Большого разрыва пройдет еще очень много времени.

На самом деле, единственное, что объединяет все описанные ранее сценарии конца Вселенной, — это то, что они определенно не реализуются в ближайшее время. Насколько мы можем судить, до начала самой экстремальной версии Большого сжатия пройдет не менее нескольких десятков миллиардов лет. Большой разрыв нам не грозит в ближайшие сто миллиардов лет. А тепловая смерть, которую большинство ученых считает еще более вероятным сценарием, если и случится, то в неопределимо далеком будущем.

КОНЕЦ ВСЕГО

Однако существует одна возможность, которая представляет для нас более серьезную угрозу, чем все остальные. Этот вариант конца света, по сути, обусловлен дефектом в самой ткани космического пространства. Он довольно правдоподобен, хорошо описан и подтверждается последними результатами самых точных из когда-либо проводившихся экспериментов в области фундаментальной физики. И он может случиться буквально в любой момент.

ГЛАВА 6

РАСПАД ВАКУУМА

То, чего боится человек, никогда с ним не случается. Случается то, о чем он никогда и не думал.

Конни Уиллис,
«Книга Страшного суда»

В марте 2008 года отставной офицер службы ядерной безопасности по имени Уолтер Вагнер подал иск в суд США с требованием предотвратить запуск Большого адронного коллайдера (БАК). По мнению Вагнера, это была отчаянная попытка спасти мир. Разумеется, его иск был обречен на провал. Во-первых, БАК контролируется Европейской организацией по ядерным исследованиям (ЦЕРН), а не правительством США. Во-вторых, переживания Вагнера, пусть и искренние, были совершенно необоснованными. В конце концов, руководство ЦЕРН выпустило несколько пресс-релизов, чтобы заверить общественность в безопасности используемых технологий, после чего строительство и эксплуатация БАК были возобновлены.

Но это не помогло предотвратить рост панических настроений среди некоторых слоев населения по мере приближения даты первых запланированных испытаний. БАК был создан для проведения самых мощных в истории экспериментов в области физики элементарных частиц, предполагающих столкновение протонов в четырех местах гигантской круглой охлажденной вакуумной трубы, длина окружности которой составляет около 27 километров. Эти столкновения внутри детекторов должны сопровождаться всплесками энергии, мощность которых достаточна для воссоздания условий Горячего Большого взрыва, имевших место спустя всего несколько наносекунд после рождения Вселенной. Ученые надеялись, что БАК поможет лучше изучить не только условия ранней Вселенной, но и саму структуру материи и энергии. Более ранние эксперименты показали, что законы физики энергезависимы, то есть поведение частиц и действие сил зависит от окружающих условий, поэтому столкновение частиц высоких энергий позволило бы ученым исследовать границы нашего понимания законов физики.

Однако в поле зрения ученых маячил и более заманчивый приз. До этого физики на протяжении десятилетий теоретизировали по поводу существования частицы, настолько важной для понимания материи, что ее открытие должно было завершить Стандартную модель физики элементарных частиц. Бозон Хиггса, если бы он был обнаружен, позволил бы подтвердить ведущую теорию, объясняющую, как фундаментальные частицы могли обрести массу на ранней стадии развития Вселенной. Кроме

того, мы надеялись, что это даст нам некоторое представление о физических законах, действующих за пределами нашей нынешней сферы исследований.

Но сама перспектива изучения неизвестных областей реальности вселяла страх в сердца некоторых людей. Никто и никогда не производил столкновений частиц такой высокой энергии. Никто не знал, как законы физики ведут себя в таких условиях.

По Всемирной паутине начали распространяться наихудшие сценарии развития событий. Кто-то предполагал, что установка откроет портал в другое измерение, разорвав саму ткань пространства. Кто-то говорил о возможном возникновении крошечной черной дыры, которая начнет расти и в итоге поглотит всю планету. Кто-то боялся, что в результате будет создана так называемая странная материя — своеобразное вещество, состоящее из странных, верхних и нижних кварков*, что, по мнению некоторых, могло запустить цепную реакцию в стиле «лед-девять»**. Однако физиков это не остановило. В ноябре 2009 года на ускорителе БАК произвели первые столкновения протонов высокой энергии.

* Существует шесть «ароматов», или «сортов», кварков, которые имеют разные массы и заряды: верхний, нижний, странный, очарованный, прелестный и истинный. Свои названия они получили в 1960-х годах.

** В книге Курта Воннегута «Колыбель для кошки» рассказывается о создании новой формы вещества под названием «лед-девять», которая более стабильна по сравнению с жидкой водой. Соприкоснувшись с частицей льда-девять, вода и сама превращается в это вещество, что создает угрозу существованию жизни на Земле.

Из того, что жизнь на этой планете все еще существует, следует, что ни одна из предполагаемых катастроф так и не произошла. (Если вы все еще волнуетесь, можете отслеживать ситуацию в режиме реального времени на сайте: **www.hasthelargehadroncolliderdestroyedtheworldyet.com**.) Но, может, нам просто повезло? Был ли этот эксперимент оправдан, учитывая потенциальные риски?

Физиков нельзя назвать самыми осторожными людьми, однако изучение сценариев типа «что, если» — это наш хлеб насущный, кроме того, возможность глубоко подумать о реальной физике, стоящей за гипотетической вероятностью всеобщего уничтожения, было бы очень жаль упускать*. В 2000 году четыре физика (один из которых впоследствии получил Нобелевскую премию) написали шестнадцатистраничную статью для журнала *Reviews of Modern Physics* под названием *Review of Speculative 'Disaster Scenarios' at RHIC* («Обзор спекулятивных “катастрофических сценариев” для RHIC»). RHIC (*The Relativistic Heavy Ion Collider*) — это релятивистский коллайдер тяжелых ионов, предшественник БАК, расположенный в Брукхейвенской национальной лаборатории, который был предназначен для столкновения ядер тяжелых элементов вроде золота при высоких энергиях. Сам по себе этот новаторский эксперимент вызывал беспокойство по поводу непредвиденных последствий, которые могли представлять угрозу существованию планеты (или Вселенной), и цель написания этой статьи заключалась в том, чтобы полностью исследовать и по возможности развеять эти опасения.

* Поверьте, я знаю, о чем говорю.

Полученные результаты были обнадеживающими. Основываясь на теоретических соображениях, исследователи оценили возможность создания странной материи или черных дыр как крайне маловероятную. Кроме того, их выводы подкреплялись и экспериментальными данными, а именно существованием Луны.

Аргументация в пользу любого потенциально разрушительного явления, порожденного коллайдером, основывается на идее о том, что столкновения частиц такой высокой энергии настолько беспрецедентны, что мы не можем предугадать их последствий. Однако при этом игнорируется важный факт: несмотря на то что уровни энергии, достигаемые на RHIC и БАК, непривычны для нас, жалких людишек, космические лучи, путешествующие по Вселенной, постоянно их достигают и сталкиваются между собой и с другими объектами. По словам авторов статьи, посвященной ускорителю RHIC, космические лучи с незапамятных времен проводят во Вселенной RHIC-подобные эксперименты. На протяжении миллиардов лет по всей Вселенной происходили столкновения при гораздо более высоких энергиях, чем может обеспечить любой из наших коллайдеров, и если бы они могли привести к разрушению космоса, мы бы наверняка это заметили.

«Минуточку, — скажете вы, — а что если столкновения космических лучей в глубоком космосе на самом деле невероятно разрушительны, но происходят слишком далеко, чтобы повлиять на нас? Что если по всему космосу разбросаны скопления странной материи, а мы просто этого не знаем?» Такое опасение вполне обоснованно.

Несмотря на то что в большинстве случаев частицы, произведенные в коллайдере, по нашему мнению, обладают остаточным импульсом, который позволяет им покинуть лабораторию сразу после возникновения, в ходе экспериментов мы вполне можем получить нечто опасное, способное задержаться в детекторе. Что тогда?

К счастью, для исследования этих эффектов мы можем использовать Луну. Данные, полученные от наземных детекторов и космических телескопов, говорят о том, что высокоэнергетические космические лучи бомбардируют Луну постоянно. (На самом деле, благодаря радиотелескопам мы можем использовать Луну даже в качестве детектора нейтрино*, что само по себе довольно здорово.) Если бы столкновения частиц высоких энергий могли превратить обычное вещество в странную материю, это уже давно произошло бы на Луне, и сейчас в небе мы бы видели совершенно другой объект. Если бы на Луне образовалась крошечная черная дыра и поглотила ее, это также повлияло бы на вид ночного неба. Не говоря уже о том, что люди были на Луне, гуляли по поверхности, играли в гольф и привезли оттуда образцы грунта. Судя по всему, Луна прекрасно себя чувствует, поэтому авторы работы, посвященной RHIC, были уверены, что ускоритель не представляет для нас опасности.

* Это возможно благодаря так называемому эффекту Аскарьяна, при котором нейтрино сверхвысокой энергии, проходя сквозь лунный реголит, создают всплеск радиоволн, которые, как мы надеемся, можно зафиксировать с помощью радиотелескопов. До сих пор наши телескопы были недостаточно чувствительны, но инструменты следующего поколения, вероятно, позволят нам уловить эти сигналы.

Правда, странная материя и черные дыры были не единственными сценариями апокалипсиса. Еще одно опасение, которое также удалось развеять путем наблюдения за высокоэнергетическими космическими лучами, заключалось в том, что столкновения частиц высоких энергий могут вызвать разрушительное для Вселенной квантовое событие под названием «распад вакуума». Эта идея основывается на гипотезе о том, что нашей Вселенной присуща некая фатальная нестабильность. Несмотря на то что такой сценарий может показаться пугающим, каким бы маловероятным он ни был, на момент ввода RHIC в эксплуатацию реальные доказательства существования такой нестабильности отсутствовали, поэтому данная возможность не рассматривалась всерьез.

Однако все изменилось в 2012 году, когда с помощью ускорителя БАК был обнаружен бозон Хиггса.

СОСТОЯНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Вернейший способ заставить специалиста по физике элементарных частиц поморщиться — это назвать бозон Хиггса «частицей бога», как он известен широкой публике. Недовольство ученых по поводу этого высокопарного прозвища вызвано не только смешением науки и религии (хотя некоторых именно это раздражает больше всего). Дело в том, что название «частица бога» ужасно неточное и, надо сказать, довольно дерзкое. Это не отменяет огромной важности бозона Хиггса для Стандартной модели физики элементарных частиц. Можно даже утверждать, что

именно он является ключом к объединению всего остального. Однако центральную роль в работе физики элементарных частиц и в природе космоса играет поле Хиггса, а не частица.

Если коротко, поле Хиггса представляет собой пронизывающее все пространство энергетическое поле, при взаимодействии с которым другие частицы обретают массу. Бозон Хиггса имеет такое же отношение к полю Хиггса, как фотон, переносчик электромагнитного взаимодействия (и света), к электромагнитному полю, — это локализованное «возбуждение» чего-то, что пронизывает обширное пространство. Более длинная версия этой истории имеет отношение к электрослабой теории, которая объединяет слабое взаимодействие с электричеством и магнетизмом, а также к разделению этих сил вследствие так называемого спонтанного нарушения симметрии.

(Здесь я вынуждена совершить над собой героическое усилие и вместо подробного описания квантовой теории поля ограничиться обсуждением нескольких ключевых вопросов. Однако имейте в виду, что если вы решите изучить математику, стоящую за всем этим, вы увидите, что все намного круче.)

В главе 2 мы говорили о том, что физика работает по-разному в зависимости от уровня энергии. Например, электромагнетизм и слабое взаимодействие проявляются как совершенно независимые феномены на тех уровнях энергии, с которыми мы имеем дело в повседневной жизни,

однако в ранней Вселенной, для которой были характерны очень высокие уровни энергии, эти силы представляли собой аспекты одного и того же явления. Поле Хиггса играло важную роль во время этого переходного периода. Когда условия изменились, то же произошло и с законами физики.

Во многом именно для этого мы и создаем ускорители частиц: чтобы воссоздать в небольшом пространстве внутри детекторов экстремальные условия, характерные для начальных стадий развития Вселенной, с помощью которых мы могли бы лучше понять основополагающие физические принципы, сводящие всё воедино. Основная идея заключается в существовании некоей всеобъемлющей математической теории, описывающей взаимодействия частиц при всех возможных условиях, и последовательное проведение их столкновений позволяет нам получить более полное представление об этой всеобъемлющей структуре.

В качестве аналогии можно привести воду. На самом фундаментальном уровне она представляет собой набор молекул, состоящих из определенным образом связанных атомов водорода и кислорода. Но в повседневной жизни мы воспринимаем воду в качестве однородной бесцветной жидкости, кристаллического твердого вещества, а в особенно тяжелые времена — в качестве удушающего влажного тумана, который заставляет вас мечтать об одежде, сшитой из полотенец*. Изучая поведение воды

* Эта часть книги писалась в штате Северная Каролина в августе.

в этих различных состояниях, мы можем сделать выводы о том, что она на самом деле собой представляет, даже если у нас под рукой нет мощных микроскопов, позволяющих рассмотреть отдельные атомы. Например, форма снежинки может многое рассказать нам о форме молекул, если мы посмотрим, как они организуются в кристаллы. То, как вода испаряется, кое-что говорит нам о связях, которые удерживают молекулы вместе. Если бы мы имели дело с водой лишь в одном из ее агрегатных состояний, мы не смогли бы составить о ней полного впечатления. Точно так же наше представление о взаимодействиях субатомных частиц меняется в зависимости от уровня энергии или температуры во время эксперимента, варьирование которых позволяет нам лучше понять, что с ними на самом деле происходит.

В физике элементарных частиц нас интересует, как частицы взаимодействуют друг с другом и чем обусловлены их фундаментальные свойства, такие как масса. Характерная особенность любой частицы, обладающей массой, состоит в том, что она не может ускориться без применения силы и не способна достичь скорости света. На самых ранних этапах существования Вселенной поле Хиггса подверглось изменению, в результате которого электрослабое взаимодействие разделилось на электромагнетизм и слабое ядерное взаимодействие, и некоторые частицы (правда, не фотон и не глюон) получили возможность взаимодействовать с самим полем Хиггса. Интенсивность этого взаимодействия определяет массу частицы. Фотон продолжает путешествовать в пространстве со скоростью света, а частицы, обладающие массой, движутся тем мед-

леннее, чем более сильное воздействие они испытывают со стороны поля Хиггса.

Сравнивать поведение частиц в условиях ранней Вселенной с их текущим поведением все равно что сравнивать собственное взаимодействие с паром и жидкой водой. Представьте, что пар — это поле Хиггса, то есть энергетическое поле, присутствующее в каждой точке пространства. А теперь представьте, что в какой-то момент поле Хиггса претерпело изменение, подобное конденсации пара в жидкую воду. Если вы привыкли иметь дело лишь с влажным воздухом, то пребывание в бассейне с водой станет для вас совершенно новым опытом. В результате внезапного изменения поля Хиггса сами законы физики как бы приобрели совершенно иную форму. Внезапно частицы, которые до этого могли беспрепятственно перемещаться в пространстве со скоростью света, замедлились под действием поля Хиггса, то есть обрели массу.

Этот процесс получил название «нарушение электрослабой симметрии».

ПУГЛИВАЯ СИММЕТРИЯ

Симметрия — это тонкое, абстрактное понятие, чрезвычайно трудно объяснимое без уравнений, но настолько важное для физики, что я не могу просто отмахнуться от него. Симметрия имеет ключевое значение как для описания существующих, так и для разработки новых

теорий природы. Если в ходе размышлений о мире вы привыкли использовать управляющие им математические уравнения, вас, вероятно, не удивит идея описания теорий в терминах симметрий, которым они подчиняются. В противном случае все это может показаться вам сущей тарабарщиной. Итак, давайте сделаем небольшой экскурс в эту тему, поскольку симметрия представляет собой нечто невероятно красивое, и как только вы узнаете о ней подробнее, вы начнете замечать ее повсюду.

Симметрия не сводится к зеркальному отражению чего бы то ни было. В физике огромную роль играют закономерности и то, как они позволяют нам получить более глубокое понимание некоторой основополагающей структуры. Возьмем, к примеру, периодическую таблицу элементов. Почему элементы организованы в строки и столбцы? Если вы изучали химию, вы знаете, что в столбцах сгруппированы элементы, имеющие общие свойства. Например, благородные газы, перечисленные в крайнем правом столбце, не склонны к участию в химических реакциях, тогда как находящиеся рядом с ними галогены отличаются высокой химической активностью. Эти закономерности обнаружили еще до того, как таблица была заполнена. На самом деле ее создатель Дмитрий Менделеев даже оставил пробелы для еще не открытых элементов, которые, как он знал, должны существовать, исходя из выявленных им закономерностей.

Закономерности в периодической таблице позволили теоретически обосновать заполнение электронных орбиталей, что привело к открытиям, имеющим отношение

к фундаментальной природе субатомных частиц. Разработка теорий всегда начиналась с выявления закономерностей в результатах наблюдений, после чего ученые приступали к поиску скрытых свойств, способных объяснить наблюдаемое явление. Все мы постоянно это делаем, даже если не отдаем себе отчета. Понаблюдав за дорожным движением в течение дня, вы можете сделать выводы о стандартном рабочем графике. По выцветшим местам ковра вы можете судить о том, какие части комнаты получают больше всего солнечного света (а также о том, как Земля ориентирована относительно Солнца).

В случае с физикой элементарных частиц использование симметрии во многом напоминает создание периодических таблиц, но для более мелких компонентов природы. Сходство между частицами, например, в плане заряда, массы или спина, может многое рассказать нам об особенностях их формирования и связях с фундаментальными взаимодействиями. Организация частиц с учетом их сходства позволяет физикам выявлять симметрии, которые могут оказаться основополагающими для целых теорий.

Иногда эти закономерности легче всего представить математически. Если вы обнаружите, что в уравнении, описывающем некий физический процесс, можно поменять местами несколько переменных, не повлияв на описываемое явление, значит, вы обнаружили математическую симметрию. И это, вероятно, может кое-что рассказать вам о лежащих в основе данного явления частицах или полях.

Основанный на симметрии способ рассмотрения частиц и их взаимодействий получил такое распространение в физике, что мы часто используем обозначения математических симметрий в качестве названий самих теорий. Например, электромагнетизм часто называют $U(1)$ -теорией, поскольку некоторые из его математических аспектов имеют тот же тип симметрии, что и окружность (сокращением « $U(1)$ » обозначается математическая группа поворотов окружности).

Нарушение симметрии — это событие, в результате которого условия внезапно изменяются таким образом, что теория, описывающая взаимодействия частиц, приобретает другую, менее симметричную структуру. После этого уже нельзя будет делать перестановки в уравнениях, а нарушение симметрии отразится и в физическом мире в виде изменения поведения частиц.

Некоторые используемые физиками симметрии являются абстрактными и могут быть выражены лишь математически, однако среди них есть и вполне привычные. О вращательной симметрии речь идет тогда, когда нечто выглядит одинаково при повороте на некоторый угол (например, окружность или пятиконечная звезда). Трансляционная симметрия означает, что нечто выглядит одинаково при сдвиге в сторону (например, длинный забор, сдвинутый на расстояние одной планки, или длинная прямая линия, смещенная на несколько сантиметров). Нарушение симметрии предполагает такое изменение ситуации, в результате которого симметрия перестает работать. Бокал обладает идеальной симмет-

рией вращения до тех пор, пока где-то на его кромке не появится след от губной помады. Забор обладает трансляционной симметрией до тех пор, пока не сломается одна из его планок. Даже на званом обеде может произойти нарушение симметрии, особенно после подачи спиртных напитков. В начале банкета, пока вы терпеливо ждете в окружении множества столовых приборов и небольших тарелок с хлебом, вы находитесь в ситуации, которой свойственна вращательная симметрия. Как только кто-то из ваших соседей потянется за куском хлеба, симметрия нарушится, и все остальные смогут последовать его примеру*.

С какой бы симметрией мы как физики ни работали, она будет отражена в описывающих взаимодействия уравнениях. Существуют способы кодирования вращательной, зеркальной и трансляционной симметрии, гарантирующие, что физика останется неизменной, как бы вы ни вращали, ни отражали и ни перемещали изучаемую систему. В уравнениях также могут быть закодированы и более тонкие виды симметрий, лучше всего описываемые с помощью теории групп и абстрактной алгебры; это удивительные разделы математики, обсуждение которых, к сожалению, выходит далеко за рамки данной книги.

* Если бы два человека одновременно потянулись к тарелкам с хлебом, находящимся на противоположной от них стороне стола, физики назвали бы такую ситуацию топологическим дефектом. В данном конкретном случае речь идет о доменной стенке, которая, если начнет доминировать во Вселенной, может привести к Большому сжатию. Вот почему я всегда жду, пока другие возьмут хлеб, прежде чем потянуться к тарелке.

Нарушение электрослабой симметрии, которое произошло спустя 0,1 наносекунды после возникновения Вселенной, представляло собой своеобразную перестройку структуры физики на фундаментальном уровне*. После этого правила взаимодействия частиц радикально изменились. Парообразное поле Хиггса превратилось в океан.

Однако водная аналогия не идеальна. Двигаясь сквозь толщу воды, вы замедляетесь, и если перестанете прикладывать усилия, то совсем остановитесь. Что касается массивных частиц, то их скорость не снижается по мере взаимодействия с полем Хиггса. В вакууме любой объект стремится продолжать делать то, что он делает. Массивные частицы, как правило, путешествуют по Вселенной на очень высоких (хотя и досветовых) скоростях. Основное различие между массивными и безмассовыми частицами заключается в том, что массивным частицам, движущимся в вакууме, для ускорения требуется толчок, тогда как безмассовые частицы перемещаются со скоростью света без всяких усилий. На самом деле, безмассовые частицы просто не могут двигаться медленнее скорости света.

Поэтому нам следует сказать спасибо, что поле Хиггса нарушило электрослабую симметрию, в противном случае мы не имели бы возможности просто спокойно посидеть. Поле Хиггса не только позволило частицам обрести массу, но и определило некоторые из фундамен-

* В главе 2 мы обсуждали этот переход и его значение для ранней Вселенной.

тальных физических констант, в том числе заряд электрона и значения масс частиц. То физическое состояние, в котором мы существуем, называется «вакуумом Хиггса» или «вакуумным состоянием». Если бы поле Хиггса имело какое-то другое значение или симметрия нарушилась как-то иначе, мы, вероятно, вообще не могли бы существовать. Мы находимся во Вселенной, где массы и заряды частиц идеально подходят для того, чтобы частицы объединялись в молекулы, формировали сложные структуры и обеспечивали химические процессы, поддерживающие жизнь. Если бы поле Хиггса имело другое значение, такое деликатное равновесие, вероятно, не было бы достигнуто, что сделало бы невозможным формирование этих связей. Своим материальным существованием мы обязаны тому факту, что поле Хиггса остановилось на нужном значении.

И тут возникают некоторые риски.

Эксперименты, проводимые на ускорителе БАК с целью воссоздания экстремальных условий ранней Вселенной, помогают нам не только лучше изучить существующие законы физики, но и понять, какими они могли бы быть при других обстоятельствах. В 2012 году, когда физикам наконец удалось создать бозон Хиггса в результате столкновения частиц, измерение его массы позволило получить недостающий фрагмент для завершения Стандартной модели физики элементарных частиц. Благодаря этому мы узнали не только о текущем значении поля Хиггса, но и обо всех возможных значениях, которые оно могло бы принять, появившись у него такая возможность.

Хорошая новость: измеренная масса бозона Хиггса полностью соответствует хорошо обоснованной и математически последовательной формулировке Стандартной модели, которая до сих пор с блеском выдерживала все экспериментальные испытания.

Плохая новость: последовательная Стандартная модель также говорит нам о том, что наш вакуум Хиггса — идеально сбалансированный набор законов, управляющих физическим миром, — нестабилен.

В таком случае дни нашего прекрасного космоса, судя по всему, сочтены.

ШАТКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ КОСМОСА

Идея о том, что наш вакуум может оказаться нестабильным, не нова. Уже в 1960-х и 1970-х годах физики писали статьи о возможном и катастрофическом для Вселенной процессе распада, способном уничтожить жизнь какой мы ее знаем, и любую возможность существования организованной материи. В то время распад вакуума был просто идеей, с которой можно забавляться в уравнениях, не имея никаких подтверждающих ее экспериментальных данных.

Сейчас все иначе.

Чтобы разобраться с распадом вакуума, сначала нужно познакомиться с концепцией потенциала, математической

конструкцией, описывающей то, как может измениться значение поля и где оно «предпочитает» находиться. Поле Хиггса можно представить в виде камешка, катящегося по склону долины. Форма этого склона и есть потенциал. Подобно тому, как камешек стремится оказаться на дне долины, поле Хиггса будет искать состояние с самой низкой энергией, соответствующее наименьшему значению потенциала, и остановится на нем, если ему ничто не помешает. Потенциал можно изобразить в виде U-образной кривой, нижняя часть которой соответствует этой самой долине. Нарушение электрослабой симметрии привело к возникновению потенциала, управляющего полем Хиггса, и, как мы думаем, это поле благополучно обосновалось на дне долины.

Проблема в том, что истинное дно может находиться в гораздо более низкой части потенциала и соответствовать другому вакуумному состоянию. Представьте себе наклоненную округлую W-образную кривую, одна из долин которой расположена ниже той, в которой в настоящее время находится поле Хиггса. Если потенциал Хиггса имеет второй, более низкий минимум, то это превращает его из хорошей математической конструкции в экзистенциальную угрозу для всего космоса.

В каком бы месте своего потенциала в данный момент ни находилось поле Хиггса, оно дает нам вполне приемлемую, удобную Вселенную. У нас есть физические константы, которые позволяют частицам организовываться в твердые жизнеспособные структуры. Если его потенциал имеет еще один, более низкий минимум, все сущее находится под угрозой.

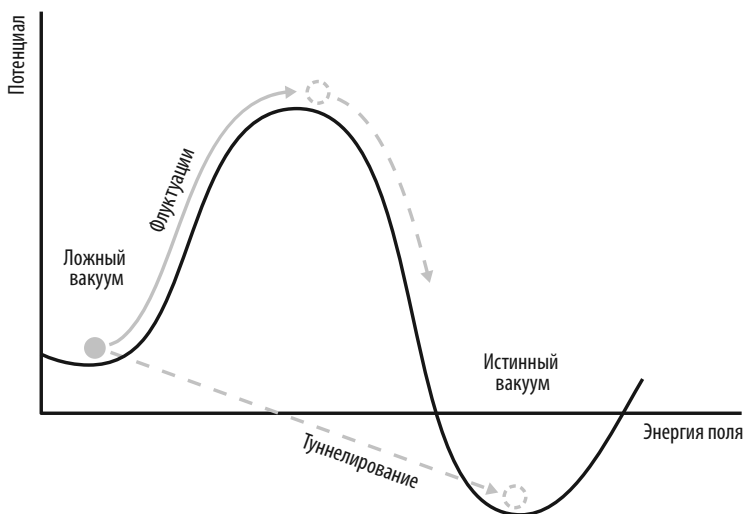


Рис. 17. Потенциал поля Хиггса с состоянием ложного вакуума. Каждый минимум потенциала соответствует возможному состоянию Вселенной. Если наше поле Хиггса находится в более высоком минимуме (ложный вакуум), оно может перейти в другое состояние (истинный вакуум) в результате высокоэнергетического события (отмеченного на диаграмме словом «флуктуации») или путем квантового туннелирования. Если наша Вселенная находится в ложном вакууме, переход поля Хиггса в состояние истинного вакуума будет настоящей катастрофой

В такой ситуации вакуум Хиггса можно назвать лишь метастабильным. То есть он стабилен только до определенного момента. Поле застряло в минимуме потенциала, который на самом деле больше напоминает не дно долины, а небольшое углубление в ее склоне. Поле может оставаться там в течение длительного времени —

ГЛАВА 6. РАСПАД ВАКУУМА

достаточного для возникновения галактик, рождения звезд, эволюции жизни, а также для производства бесчисленного количества никому не нужных фильмов о супергероях, однако существует вероятность, что достаточно сильное возмущение способно перебросить его через край, после чего ему уже ничто не помешает найти истинный минимум потенциала. И такое развитие событий было бы апокалиптически плохим по причинам, которые мы обсудим далее во всех кровавых подробностях.

К сожалению, лучшие из имеющихся у нас данных, полностью соответствующих Стандартной модели физики элементарных частиц, позволяют предположить, что наше поле Хиггса в настоящее время находится именно в таком углублении. Это метастабильное состояние также называется «ложным вакуумом» в отличие от «истинного» вакуума, который соответствует самому нижнему минимуму потенциала.

Что плохого в том, чтобы находиться в ложном вакууме? Вполне возможно, что все. Ложный вакуум в лучшем случае представляет собой лишь временную отсрочку для окончательного разрушения. В ложном вакууме законы физики, в том числе сама возможность существования частиц, зависят от деликатного баланса, который в любой момент может быть нарушен.

Это событие называется распадом вакуума. Оно происходит быстро, чисто, безболезненно и способно уничтожить абсолютно все.

КВАНТОВЫЙ ПУЗЫРЬ СМЕРТИ

Для того чтобы распад вакуума произошел, его должно что-то спровоцировать, то есть заставить поле Хиггса отправиться на поиски предпочтительного* для него минимума потенциала, соответствующего «истинному» вакууму. Таким триггером может послужить сверхмощный взрыв, катастрофическое испарение черной дыры или злосчастное квантовое туннелирование (о котором мы поговорим подробнее чуть позже). Если в любой точке космоса произойдет что-то подобное, будет запущен целый каскад апокалиптических событий, которому ничто во Вселенной не сможет противостоять.

Все начнется с возникновения пузыря.

На месте события-триггера образуется крошечный пузырь истинного вакуума. Он будет заключать в себе совершенно иной вид пространства, в котором физические процессы подчиняются другим законам, а частицы обладают иными свойствами. В момент формирования этот пузырь представляет собой бесконечно малое пятнышко. Однако он окружен чрезвычайно высокоэнергетической стенкой, способной сжечь все, с чем соприкоснется.

* Разумеется, у поля Хиггса нет никаких предпочтений; оно просто ведет себя в соответствии со своим потенциалом. Однако то, как оно спустилось бы в состояние истинного вакуума, появившись у него такая возможность, определенно создало бы впечатление, будто оно сделало это с особым энтузиазмом.

Затем пузырь начнет расширяться.

Поскольку истинный вакуум является более стабильным состоянием, Вселенная его «предпочитает» и переходит в него при первой же возможности, подобно тому, как камешек скатывается по склону, оказавшись на его вершине. Как только возникнет этот пузырь, поле Хиггса вокруг него внезапно опустится в истинный минимум. Исходное событие как бы выводит из шаткого равновесия все камешки, расположенные в непосредственной близости, что вызывает сход лавины. Все большая часть пространства начнет переходить в состояние истинного вакуума. Все, чему не повезет оказаться на пути расширения пузыря, сначала столкнется с его высокоэнергетической стенкой, движущейся почти со скоростью света, а затем подвергнется процессу, который можно назвать «тотальной диссоциацией», поскольку силы, которые ранее удерживали частицы вместе в атомах и ядрах, перестанут функционировать.

То, что вы не увидите приближения этой стенки, вероятно, к лучшему.

Каким бы драматичным ни выглядело вышеприведенное описание, если вы окажетесь на пути расширения пузыря, вы этого не заметите. То, что движется на вас со скоростью света, для вас невидимо, — любой намек, предупреждающий о приближении пузыря, достигнет вас одновременно с ним. Вы никак не сможете узнать о том, что на вас что-то надвигается, или просто заметить малейший признак опасности. Если пузырь приблизится к вам снизу, то в течение пары наносекунд с момента исчезновения

ваших ног вы все еще будете их видеть. К счастью, этот процесс совершенно безболезненный: ни на каком этапе ваши нервные импульсы не смогут угнаться за процессом вашего распада. Хотя бы этому можно порадоваться.

Разумеется, вами пузырь не ограничится. Любую планету или звезду, оказавшуюся в пределах его постоянно расширяющегося радиуса, постигнет та же участь. Целые галактики будут уничтожены. Истинный вакуум полностью обнулит всю Вселенную. Уцелеют лишь те области, которые в силу своей удаленности навсегда останутся за горизонтом пузыря благодаря ускоренному расширению космического пространства.

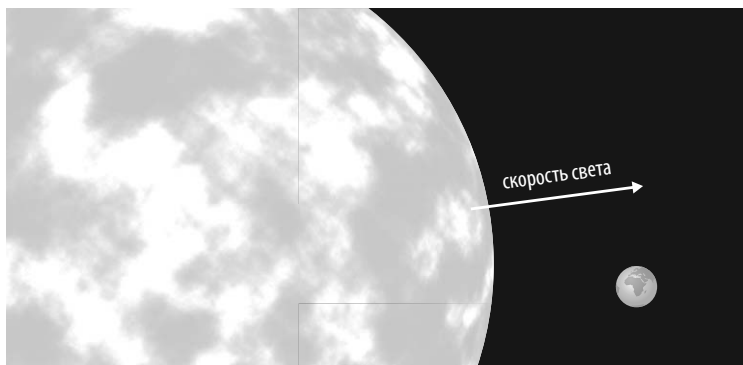


Рис. 18. Пузырь истинного вакуума. Если распад вакуума произойдет в каком-то месте космоса, это событие породит пузырь, расширяющийся во все стороны со скоростью света и уничтожающий все на своем пути

На самом деле вполне возможно, что пока мы тут сидим и спокойно пьем чай, распад вакуума где-то уже проис-

ходит. Может быть, нам повезло, и пузырь находится за пределами нашего космического горизонта, поглощая галактики, о которых мы ничего не знаем. А может быть, он произошел по космическим меркам прямо по соседству, и уже тихо подкрадывается, чтобы застать нас врасплох.

НАРЫВАЯСЬ НА НЕПРИЯТНОСТИ

Однако переживать по поводу возможного распада вакуума не стоит. В самом деле. По нескольким причинам. Среди них есть и очевидные: вы не сможете остановить этот процесс, если он начнется; вы не сумеете предсказать его начало; судя по всему, вам не будет больно; кроме того, скучать по вам в любом случае будет некому, так что какой смысл беспокоиться? Лучше проверьте батарейки в пожарной сигнализации, добейтесь закрытия угольных электростанций или что-нибудь в этом роде. Но если по какой-то причине эти доводы не кажутся вам достаточно обнадеживающими, я могу с достаточной степенью уверенности заявить, что распад вакуума вряд ли произойдет в течение следующих триллионов лет.

Теоретически он может быть вызван несколькими причинами. Самой очевидной является некое высокоэнергетическое событие, которое можно представить в виде землетрясения, выбивающего камешек из углубления в склоне и позволяющего ему отправиться на дно долины.

К счастью, «землетрясение» такой невообразимой силы маловероятно. По нашим оценкам, это событие должно быть гораздо более высокоэнергетическим, чем самые разрушительные из наблюдаемых нами космических взрывов, и безусловно на много порядков превосходить все то, что мы способны устроить с помощью таких созданных человеком машин, как Большой адронный коллайдер. Если у нас когда-либо опять возникнут подобные опасения, мы всегда можем вновь сослаться на тот факт, что столкновения частиц в космосе достигают и всегда достигали гораздо более высоких уровней энергий, чем те, которые способен обеспечить БАК или любая другая машина. Раз уж мы пережили их последствия, значит, наши современные ускорители частиц точно не представляют никакой опасности.

Сложность вызова события, обладающего достаточно высокой энергией для инициирования распада вакуума, обусловлена высотой потенциального барьера между ложным и истинным вакуумом. Если вернуться к аналогии с камешком, застрявшим в углублении склона долины, то потенциальный барьер — это выступающая кочка, придающая этому углублению форму кармана. Согласно нашему лучшему предположению относительно формы потенциала поля Хиггса, этот карман довольно глубок и отделен от минимума, соответствующего истинному вакууму, высоким горным хребтом. Количество энергии, которое потребовалось бы для того, чтобы перебросить камешек через хребет (или заставить поле Хиггса преодолеть его потенциальный барьер), настолько велико, что об этом не стоит беспокоиться.

Вот только... мы живем во Вселенной, которая не подчиняется подобным правилам. В основе нашего космоса лежит квантовая механика, а она говорит о том, что если вы существуете в субатомном масштабе, путь, по которому вы добираетесь из одного места в другое, изредка может быть проложен прямо сквозь твердые объекты. Если вы стоите перед стеной, то вместо того, чтобы перепрыгнуть через нее, вы можете просто пройти насквозь. Особенно если вы являетесь полем Хиггса.

ТУННЕЛИРОВАНИЕ В БЕЗДНУ

Идея квантового туннелирования может показаться научно-фантастической или сугубо теоретической концепцией, с которой забавляются физики, записывая непонятные уравнения. Квантовая механика действительно говорит о том, что мы никогда не можем точно определить, где находится частица или по какой траектории она движется. Поэтому для того, чтобы математика сработала, нужно выполнить вычисления для всех траекторий, включая самые странные, предполагающие, что частица перемещается из одной части лаборатории в другую через кофейню, находящуюся в другом городе. Однако это не значит, что частица действительно так делает, верно?

Оказалось, что на вопрос о том, как на самом деле ведет себя частица, ответить очень трудно. Именно поэтому

ученые на протяжении многих десятилетий спорили по поводу интерпретаций квантовой механики. То, как частица путешествует между точками А и Б, по-прежнему остается в некотором смысле загадкой, как и то, почему, будучи небольшим локализованным объектом, частица подчиняется математике, описывающей распространяющиеся в пространстве волны.

Тем не менее данные, с которыми согласны все, очень ясно дают понять, что туннелирование сквозь, казалось бы, непроходимые барьеры случается регулярно. Если уж частица оказалась зажатой в каком-то промежутке, стена ее не остановит. Подобное мастерство побега настолько характерно для частиц, что люди, разрабатывающие такие устройства как сотовые телефоны и микропроцессоры, вынуждены учитывать вероятность, что какой-нибудь электрон может внезапно материализоваться на другой стороне чипа. Это свойство даже применяется в некоторых технологиях, включая флеш-память. А сканирующие туннельные микроскопы используют так называемый туннельный ток для получения изображений отдельных атомов исследуемой поверхности.

Свойство электронов перепрыгивать через короткие промежутки или протискиваться сквозь изоляционные барьеры может показаться хорошим трюком, однако все становится гораздо более зловещим, когда вы понимаете, что на квантовое туннелирование способны не только частицы, но и поля. Например, поле Хиггса, отделенное от состояния истинного вакуума потенциалъ-

ным барьером, может туннелировать прямо в него. Как только вы это осознаете, единственная граница, отделяющая нашу гостеприимную Вселенную от тотальной космической катастрофы, покажется вам гораздо менее солидной.

Хорошая (в некотором роде) новость заключается в том, что даже такое странное событие, как квантовое туннелирование, следует определенным правилам, по крайней мере, когда речь идет об ожидаемой частоте его наступления.

Вероятность туннелирования зависит от физических характеристик системы, а это означает, что вероятность наступления такого события в течение заданного периода времени можно достаточно точно определить. Разумеется, на это способен далеко не каждый. Но какой бы сложной ни была квантовая механика для понимания или интерпретации, она, по крайней мере, позволяет производить расчеты.

Однако эти расчеты не дают нам ничего более определенного, чем оценка вероятности. Мы не можем с уверенностью заявить, что поле Хиггса не туннелирует из ложного вакуума в истинный и не создаст квантовый пузырь смерти прямо рядом с вами в течение следующих 30 секунд, запустив процесс всеобщего уничтожения. Мы можем сказать лишь то, что такой сценарий крайне маловероятен. (Во всяком случае, в части «следующих 30 секунд». Если наш вакуум действительно является метастабильным, то, строго говоря, этот пузырь однажды должен возникнуть.)

Согласно лучшим из имеющихся оценок, наш уютный вакуум вряд ли подвергнется радикальному изменению в ближайшее время, — на момент написания книги этот период оценивался в 10^{100} лет. К тому времени мы, вероятно, будем находиться в процессе тепловой смерти, а если нам совсем не повезет, — переживать Большой разрыв. В последнем случае мгновенное безболезненное уничтожение может показаться не таким уж плохим вариантом.

Итак, технически я не могу утверждать, что распад вакуума не может произойти в любой момент. Я также не могу сказать наверняка, что это уже не случилось где-то в Солнечной системе, в другой части Млечного Пути или в другой галактике и не породило расширяющийся со скоростью света пузырь, тихо приближающийся к нам прямо сейчас. Однако если параноя все-таки не дает вам покоя, я могу заверить вас в том, что у вас гораздо больше шансов быть пораженным молнией, попасть под машину, сгинуть под копытами разбушевавшегося быка или получить по голове метеоритом, чем столкнуться с пузырем истинного вакуума.

Но есть еще одно обстоятельство.

Мы уже сказали, что не можем вызвать распад вакуума, сталкивая частицы высокой энергии, а спонтанное туннелирование настолько маловероятно, что нам, пожалуй, стоит просто забыть о нем. Однако недавно физики описали еще один вариант уничтожения Вселенной вследствие распада вакуума и, надо сказать, довольно интересный.

МАЛЕНЬКАЯ, НО СМЕРТОНОСНАЯ

В 2014 году Рут Грегори, Ян Мосс и Бенджамин Уизерс, опираясь на предыдущие работы в этой области, опубликовали статью, которая привлекла мое внимание. В ней говорилось о том, что хотя спонтанный распад вакуума происходит очень медленно, присутствие черной дыры может значительно ускорить этот процесс и сделать его более интересным. Они утверждали, что настоящую опасность представляет маленькая черная дыра, поскольку черные дыры размером с частицу способны значительно повысить вероятность распада вакуума прямо над ними. Может быть, нам и не придется ждать 10^{100} лет.

В данном случае процесс напоминает конденсацию воды на пылинке в комнате с влажным воздухом или формирование облаков в верхних слоях атмосферы. Пылинка представляет собой место зарождения — особую точку, в которой этот процесс происходит легче, чем в других. Молекулам воды будет проще соединиться друг с другом, если сначала они прикрепятся к чему-то еще. Таким образом, наличие примеси может запустить цепную реакцию там, где в противном случае ситуация могла бы оставаться прежней. Оказывается, крошечные черные дыры могут выступать в качестве места зарождения пузырей истинного вакуума, но только в том случае, если они действительно очень маленькие.

К счастью для Вселенной, наше текущее понимание гравитационной физики говорит о том, что формирование таких черных дыр крайне маловероятно. Согласно нашим оценкам, черные дыры могут образоваться лишь при наличии массы, превышающей солнечную, в результате коллапса массивной звезды в конце ее жизненного цикла. Такие черные дыры могут увеличить свою массу путем поглощения вещества или слияния друг с другом, однако сокращение размера — это совсем другое дело. Они могут терять массу лишь за счет испарения Хокинга (см. главу 4), а это занимает очень много времени. Черная дыра, масса которой равна солнечной, имеет ожидаемое время жизни около 10^{64} лет. В какой-то момент ближе к концу этого периода черная дыра может стать достаточно маленькой для того, чтобы спровоцировать распад вакуума, однако нам еще очень долго не придется беспокоиться по этому поводу. Также было высказано предположение, что в ранней Вселенной крошечные черные дыры могли образовываться под влиянием чрезвычайно высокой плотности, характерной для стадии Горячего Большого взрыва, но пока у нас нет никаких свидетельств в пользу этой гипотезы. Однако если бы маленькие черные дыры действительно возникали и были способны дестабилизировать вакуум, нас бы здесь не было. Таким образом, если мы принимаем во внимание этот довод и допускаем вероятность распада вакуума, то мы должны признать ошибочной любую теорию, предполагающую формирование крошечных черных дыр в ранней Вселенной, просто на основании факта нашего существования.

Некоторые ученые просто ради интереса размышляют о возможных способах создания таких маленьких черных дыр. Идея эта не нова. Помимо того, что они «ужасно милые» в теоретическом смысле, эти миниатюрные монстры могут многое рассказать нам о действии гравитации, об их возможном испарении и даже о существовании дополнительных невидимых нам измерений пространства.

На протяжении многих лет физики изучали данные с ускорителей частиц, надеясь обнаружить признак того, что в результате одного из столкновений протонов в небольшом пространстве образовалось достаточно энергии для возникновения микроскопической черной дыры. Такая черная дыра, если и образуется, должна быть безвредной по традиционным представлениям, не учитывающим возможность распада вакуума. Согласно теории, она должна немедленно испариться под действием излучения Хокинга, и даже если этого не произойдет, она, скорее всего, унесется от нас с релятивистской скоростью, поскольку нацеливание нельзя выполнить настолько точно, чтобы после столкновения частицы полностью остановились. Кроме того, чтобы столкновения в коллайдерах могли породить крошечные черные дыры, гравитация, действующая на субатомные частицы, должна оказаться сильнее, чем предполагают эйнштейновские законы гравитации. И, насколько нам известно, такое может случиться лишь при наличии дополнительных измерений пространства. Мы поговорим о них подробнее в следующей главе, а пока достаточно сказать, что существование более

КОНЕЦ ВСЕГО

трех пространственных измерений может усилить гравитацию в очень малых масштабах, сделав возможным формирование маленьких черных дыр в результате столкновений в ускорителе БАК.

Таким образом, если нам удастся создать черную дыру с помощью БАК, мы получим доказательство того, что пространство имеет больше измерений, чем мы думали. Для ученого, стремящегося открыть новые захватывающие области физики, подобные новости кажутся фантастическими! Но, разумеется, было бы очень жаль, если бы крошечные черные дыры, которые мы пытаемся создать в ускорителе, могли вызвать распад вакуума и гибель Вселенной...

К счастью, они на такое не способны. Мы уверены в этом настолько, насколько это вообще возможно для физиков. Во-первых, как мы уже говорили, энергия столкновения космических лучей намного превосходит все то, что мы наблюдаем в своих ускорителях частиц. Если даже мы можем сталкивать протоны для создания черных дыр, то Вселенная делала это бесчисленное количество раз, и, как видите, мы все еще здесь! Так что либо черные дыры нигде не возникают, либо они совершенно безвредны.

Другая причина заключается в вероятном существовании порога значения массы, который должны преодолеть эти крошечные черные дыры, прежде чем они начнут представлять опасность хотя бы гипотетически. Масса черных дыр, созданных коллайдером, была бы гораздо ниже

этого уровня. И скорее всего, то же самое можно сказать о результатах большинства столкновений, происходящих в космосе. Чтобы доказать ограниченность размеров гипотетических дополнительных пространственных измерений, некоторые из нас уже приводили этот довод и указывали на то, что мы все еще живы*. (Как космологу, заинтересованному в тестировании различных физических теорий, мне нравится приводить в качестве одного из доводов отсутствие признаков космического апокалипсиса.)

Итак, если отвлечься от маленьких черных дыр, что можно сказать о распаде вакуума? Все остальные варианты гибели Вселенной, рассмотренные ранее, по крайней мере, предполагают такую отдаленность во времени, что все опасения по их поводу можно смело оставить постчеловеческим существам, которые будут населять космос после нас. Особенность распада вакуума заключается в том, что он может произойти в любой момент, даже если вероятность этого чрезвычайно мала. Кроме того, он предполагает тотальное разрушение Вселенной.

В 1980 году два теоретика, Сидни Коулман и Фрэнк Де Луччия, рассчитали, что пузырь истинного вакуума будет содержать не только элементарные частицы с совершенно иными (и смертоносными) свойствами, но и пространство, которое по своей природе гравитационно

* В данном случае «некоторые из нас» — это, в частности, я и мой коллега Роберт Макнис, вместе с которым в 2018 году мы написали статью для журнала *Physical Review D*. Это было весело.

нестабильно. По их словам, после образования пузыря все его содержимое коллапсирует в течение нескольких микросекунд. Вот что они написали:

Это удручает. Вероятность того, что мы существуем в ложном вакууме, никогда не была особенно обнадеживающей. Распад вакуума представляет собой окончательную экологическую катастрофу; в новом вакууме будут действовать другие физические константы; после распада вакуума невозможной станет не только жизнь, какой мы ее знаем, но и привычная нам химия. Тем не менее всегда можно было утешиться мыслью о том, что со временем в новом вакууме может возникнуть если и не жизнь, какой мы ее знаем, то, по крайней мере, некие структуры, способные радоваться своему существованию. Теперь и эта возможность исключена*.

РАДОСТЬ НЕВЕДЕНИЯ

Распад вакуума — это относительно новая идея, которая опирается на множество экстремальных видов физики, так что за следующие несколько лет наш взгляд на нее, скорее всего, резко изменится. Возможно, благодаря более подробным и строгим вычислениям мы получим другие результаты. Все эти вопросы очень сложны, и до достижения консенсуса нам еще далеко.

* Это описание остается одним из самых прекрасных примеров физической поэзии, которые я когда-либо видела в научном журнале.

Если мы признаем, что наш вакуум действительно является метастабильным, этот вывод может оказаться несовместимым с теорией космической инфляции. По нашим оценкам, квантовых флуктуаций на стадии инфляции и высокой температуры после нее должно было оказаться достаточно, чтобы спровоцировать распад вакуума в первые моменты существования космоса, что свело бы на нет наши шансы на существование. Очевидно, такого не произошло. Это говорит о том, что либо мы не понимаем устройство ранней Вселенной, либо распад вакуума в прошлом был невозможен.

Как бы вы ни относились к теориям о ранней Вселенной, серьезное рассмотрение возможности распада вакуума зависит от того, насколько вы доверяете Стандартной модели физики элементарных частиц, которая, как мы знаем, не является исчерпывающей. Темная материя, темная энергия и несовместимость квантовой механики и общей теории относительности указывают на то, что во Вселенной есть еще что-то, чего мы не знаем. То, что придет на смену Стандартной модели, вполне может избавить нас от необходимости переживать по поводу квантового пузыря смерти.

А может быть и так, что дальнейшие разработки в области фундаментальной физики расскажут нам о совершенно новых вариантах гибели Вселенной. Возможность существования дополнительных пространственных измерений, которые не дают покоя физикам, надеющимся создать миниатюрные черные дыры с помощью ускорителей частиц, обогащает Вселенную новыми

КОНЕЦ ВСЕГО

неизведанными областями. Подобно исследователю, достигшему края карты, мы протягиваем руку, не зная, что нам предстоит найти. Дополнительные пространственные измерения могут помочь нам разрешить некоторые проблемы в теориях гравитации, однако на полях постоянно расширяющейся космической карты мы наверняка обнаружим предупреждение: «здесь водятся монстры».

ГЛАВА 7

БОЛЬШОЙ ОТСКОК

ГАМЛЕТ: О боже! Заключите меня в скорлупу ореха, и я буду мнить себя повелителем бесконечности, только избавьте меня от дурных снов.

Уильям Шекспир, «Гамлет»
(пер. Б. Пастернака)

14 сентября 2015 года, в 9 часов 50 минут и 45 секунд утра по Гринвичу вы на миг стали чуточку выше.

Гребень гравитационной волны, которая вас омыла, путешествовал по космосу, искривляя само пространство, на протяжении 1,3 миллиарда лет, — с момента слияния двух черных дыр, масса каждой из которых в 30 раз превышала массу Солнца. Хотя вы, скорее всего, ничего не заметили. В конце концов, ваш рост увеличился менее чем на миллионную ширины протона, однако от внимания физиков из лазерно-интерферометрической

гравитационно-волновой обсерватории (LIGO) это не укрылось. Первое обнаружение гравитационных волн стало кульминацией многолетних поисков, потребовавших разработки новых технологий и создания самого чувствительного оборудования в истории экспериментальной физики. Выявление этой ряби на ткани пространства-времени послужило окончательным подтверждением общей теории относительности Эйнштейна.

Еще более важно, что это открытие ознаменовало начало новой эры астрономических наблюдений. Оно позволило взглянуть на Вселенную совершенно по-другому. Теперь вместо сбора света или высокоэнергетических частиц, испущенных удаленными объектами, мы могли почувствовать вибрацию самого пространства и впервые получить представление об отдаленных космических катастрофах, способных сотрясти самые основы реальности.

С момента этого первого открытия гравитационно-волновая астрономия продолжала поставлять нам сведения о катастрофических слияниях черных дыр и нейтронных звезд, а также позволяла нам с беспрецедентной точностью изучать работу гравитации. Однако гравитационные волны способны подсказать ответы и на более фундаментальные вопросы. Они могут не только дать нам новое представление о форме и происхождении нашей Вселенной, но и намекнуть на то, что может находиться за ее пределами, — на то, что может в итоге ее уничтожить.

НЕВЫНОСИМАЯ СЛАБОСТЬ ГРАВИТАЦИИ

Мы давно знаем, что с гравитацией что-то не так. Она работает слишком хорошо.

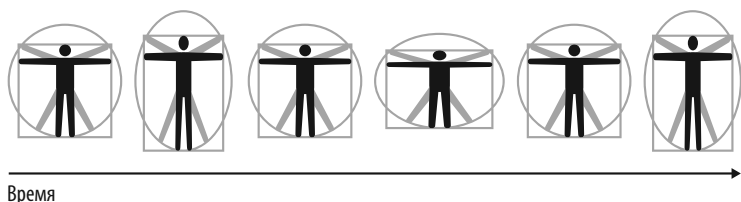


Рис. 19. *Иллюстрация эффекта прохождения гравитационной волны.* Когда гравитационная волна проходит сквозь пространство, она растягивает объекты по вертикали, одновременно сжимая их по горизонтали, а затем наоборот. Если вы находитесь на пути волны, вы попеременно становитесь то немного выше и тоньше, то немного короче и шире. Величина деформации вашего тела составляет около одной миллионной ширины протона

До сих пор общая теория относительности Эйнштейна с блеском выдерживала все испытания. На протяжении десятилетий физики пытались отыскать какое-нибудь отклонение, из-за которого простые* уравнения теории Эйнштейна могут перестать работать. В каких-нибудь

* «Простота» в данном случае вопрос перспективы. Работа с уравнениями общей теории относительности требует глубокого понимания дифференциальной геометрии, которая обычно изучается на старших курсах физических или математических факультетов. Однако если вы их выпускник, то эти уравнения могут показать вам столь же изящными и прозрачными, как тонкое стекло.

экстремальных условиях, например на краю черной дыры или в центре нейтронной звезды, эти уравнения должны дать сбой. До сих пор мы ничего не находили, но мы уверены, что ищем не напрасно.

Для этого у нас есть веские основания. По сравнению с другими силами гравитация кажется весьма странной. Она выглядит совершенно иначе с математической точки зрения, и она слишком слабая. Разумеется, когда речь идет о массе, достаточной для формирования галактики или черной дыры, гравитация кажется довольно сильной. Но в повседневной жизни она представляет собой самую слабую из всех сил, с которыми вы имеете дело. Каждый раз, когда вы поднимаете кофейную чашку, вы преодолеваете гравитационное притяжение целой планеты. Для того чтобы гравитация начала хотя бы конкурировать с ядерными силами, удерживающими атомы вместе, необходимо сжать массу Солнца до размера города.

Но сравнение сил — это еще не все. Идея о том, что все фундаментальные взаимодействия могут представлять собой различные аспекты одного и того же явления на чрезвычайно высоких уровнях энергии, как правило, считается ключом к истинному пониманию, как работает физика. Мы надеемся разработать некую всеобъемлющую «теорию всего», которая объединяет гравитацию с остальными силами, действующими на элементарные частицы, и объясняет, ну, в общем... все.

Однако пока гравитация не спешит нам подыгрывать. У нас есть подтвержденная экспериментами теория элек-

трослабого взаимодействия (объединяющая электромагнетизм и слабое ядерное взаимодействие). Кроме того, у нас есть несколько весьма многообещающих идей относительно Теории великого объединения, объединяющей электрослабое и сильное ядерное взаимодействия. Но каждый раз, когда мы пытаемся включить в теорию гравитацию, ее слабость разрушает всю картину. Даже если отвлечься от этого, гравитация и квантовая механика (которая описывает работу всех остальных сил) явно противоречат друг другу в предсказаниях о том, что должно происходить, например, на краю черной дыры. И если бы мы сумели привести гравитацию в соответствие с остальными силами, это нам очень помогло бы.

Для этого, судя по всему, есть несколько способов. Самый очевидный из них — отказаться от идеи объединения и позволить теории гравитации оставаться отдельной от всей физики. Вполне возможно, что никакой теории всего просто не существует, и мы никогда не сумеем собрать все эти фрагменты воедино. Однако мне как физику невыносима даже мысль об этом, так что предлагаю прибегнуть к ее на крайний случай.

Гораздо более привлекательная и захватывающая идея состоит в том, что проблема заключается в нашей теории гравитации, и если скорректировать или заменить общую теорию относительности, все встанет на свои места. В этом направлении было предпринято множество впечатляющих и вполне обоснованных попыток. Теории квантовой гравитации, наиболее известными примерами которых являются теория струн и петлевая квантовая

гравитация, по-прежнему активно обсуждаются теоретиками, стремящимися объединить гравитацию с физикой элементарных частиц и завязать все это струной. Или петлей. Ну, вы поняли. В каждом из этих сценариев мы получаем гравитацию, которая квантуется, то есть выражается в терминах частиц и полей, а не сил или искривления пространства. И эти частицы и поля хорошо сочетаются с квантовыми теориями поля, которые объясняют взаимодействия между кварками, электронами, фотонами и другими субатомными частицами. В этом случае гравитацию можно было бы представить как обмен частицами, называемыми гравитонами, подобно тому, как электромагнитное поле является результатом обмена фотонами. И гравитационные волны, которые мы в настоящее время описываем как растяжение и сжатие пространства-времени, также можно представить в виде движения гравитонов, проявляющих свою волнообразную природу.

К сожалению, несмотря на десятилетия кропотливого труда и чрезвычайно сложные расчеты, физики так и не пришли к единой теории. Мало того, что ни одна из выдвинутых идей не была подтверждена в ходе экспериментов с частицами, до сих пор даже не ясно, возможно ли это в принципе. В идеале мы сформулировали бы две теории, а затем выяснили, что они дают разные прогнозы для результатов экспериментов вроде тех, которые проводятся на Большом адронном коллайдере. Однако в данном случае перед нами стоит трудная задача сравнения теорий, эффекты которых становятся заметными лишь при энергиях, значительно превышающих все то, чего мы можем добиться, сталкивая частицы в ускорителе БАК.

Это заставило физиков предложить целый ряд решений, начиная от абстрактных аргументов, направленных на сужение диапазона возможных Вселенных, и заканчивая философскими дискуссиями о том, как добиться прогресса в областях, в которых получение экспериментальных доказательств может оказаться невозможным.

Тем из нас, кто возлагает надежды на новые данные, стоит поискать подсказки относительно теории всего в космологии, особенно в той ее области, которая посвящена изучению ранней Вселенной. Если вам нужны данные о взаимодействиях частиц при необычайно высоких энергиях, то найти новые способы исследования Большого взрыва, вероятно, будет значительно проще, чем построить ускоритель частиц размером с Солнечную систему.

И мы уже движемся в этом направлении. До сих пор мы сталкивались лишь с небольшим количеством физических явлений, которые нельзя было объяснить в рамках Стандартной модели физики элементарных частиц (или очень незначительных ее модификаций). Самые важные из них, темная материя и темная энергия, подтверждаются данными наблюдений. Однако абсолютно все эти доказательства были получены из области космологии и астрофизики. Выяснение того, что представляют собой эти таинственные компоненты космоса и как они работают, может оказаться лучшим ориентиром для дальнейшего развития наших теорий.

Еще одним доводом в пользу космологии является странный дисбаланс между материей и антиматерией во Вселенной.

Хотя нынешние теории предполагают, что количество материи и антиматерии должно быть одинаковым, наш повседневный опыт и тот факт, что мы не аннигилируем при соприкосновении с другими предметами, говорят о том, что обычная материя выигрывает с довольно большим отрывом. Как так получилось, до сих пор остается загадкой, но ключи к ее разгадке, вероятно, лежат в более глубоких и детальнейших исследованиях ранних стадий существования Вселенной, на которых и возникла эта асимметрия.

Где бы мы в итоге ни решили искать данные для формулирования теории всего, в нашем распоряжении есть два взаимодополняющих подхода. Один из них предполагает изучение уже наблюдаемых явлений, которые не вписываются в устоявшиеся физические теории, и создание новых, более совершенных теорий для их объяснения. Другой сводится к попытке сломать имеющиеся у нас теории, то есть описать гипотетические еще не исследованные крайние случаи и поискать такие способы анализа данных, которые могли бы рассказать о работоспособности теории в этих условиях. Прогресс в физике, как правило, достигается именно путем комбинирования этих двух подходов. Так мы перешли от ньютоновской гравитации, которая замечательно работает в повседневных ситуациях, к общей теории относительности Эйнштейна. Применение ОТО было бы излишним при изучении скользящего по наклонной плоскости блока, но эта теория абсолютно необходима для объяснения искривления светового луча вблизи чрезвычайно массивных космических объектов или небольшого смещения орбиты Меркурия в гравитационном колодце Солнца.

Когда-то нам пришлось заменить ньютоновскую гравитацию более изощренной общей теорией относительности; теперь пришло время заменить ОТО более совершенной теорией.

Однако ОТО так отчаянно сопротивляется этим попыткам, что вместо нее нам в итоге, вероятно, придется изменить саму Вселенную.

ОСВОБОЖДАЯ МЕСТО

В одном эпизоде сериала «Звездный путь: следующее поколение» в результате определенного стечения обстоятельств доктор Крашер оказывается единственным человеком на корабле, застрявшем в каком-то туманном пузыре. Множество странных событий, включая внезапное исчезновение остального экипажа и расхождения наблюдений с показаниями датчиков, заставляют ее предположить, что у нее галлюцинации. Однако когда ее медицинской диагностике не удается выявить каких-либо проблем, она приходит к следующему логическому выводу: «Если со мной все в порядке, значит, проблема, скорее всего, во Вселенной!» И, как оказалось (простите за спойлер, но эпизод вышел в 1990 году, и у вас было три десятилетия, чтобы его посмотреть), она была абсолютно права.

Уже в течение некоторого времени необъяснимая слабость гравитации подталкивает физиков к аналогичному выводу. Возможно, с силой гравитации все в порядке. Может быть, что-то не так со Вселенной, которая заставляет гравитацию казаться слабее, чем она есть.

Почему гравитация кажется более слабой? Ответ на этот вопрос может быть на удивление тривиальным. Она утекает. В другое измерение.

Вот как это работает. Как вам, вероятно, известно, обычно считается, что Вселенная имеет три пространственных измерения (восток-запад, север-юг, верх-низ). В теории относительности дополнительным измерением является время, и мы говорим о положении в четырехмерном пространстве-времени (то есть о позиции в пространстве и о некотором моменте временного континуума). В сценарии с большими дополнительными измерениями существует еще одно или несколько измерений, к которым мы не имеем доступа. Вся пространственная часть нашего пространства-времени ограничена трехмерной «браной» (от слова «мембрана»), а дополнительное пространство выходит за ее пределы в каком-то новом направлении или направлениях, которые наш ограниченный человеческий мозг может осмыслить лишь математически. Стоит заметить, что слово «большие» во фразе «большие дополнительные измерения» может ввести в заблуждение. Как правило, считается, что если наша Вселенная действительно имеет дополнительные измерения, она может быть фактически бесконечной в наших обычных трех измерениях, но расширяться в новых направлениях не более чем на миллиметр. (Представьте большой лист очень тонкой бумаги. Технически он представляет собой трехмерный объект, хотя два его измерения намного больше третьего.) Однако специалисту в области физики элементарных частиц, привыкшему измерять расстояния, сопоставимые с размерами атомов, миллиметры мо-

гут показаться милями. Дополнительное пространство, выходящее за пределы нашей браны, называется «балк».

В этом сценарии физика элементарных частиц и гравитация по-прежнему принципиально отличаются друг от друга, но не из-за присущей им силы. Разница заключается в том, что такие фундаментальные взаимодействия элементарных частиц, как электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия, проявляются лишь в пределах браны. Для них более обширный, многомерный балк просто не существует. Гравитация не столь ограничена. Она действует непосредственно на пространство-время, которое включает в себя и пространство-время, находящееся за пределами нашей трехмерной браны. Таким образом, гравитация, создаваемая массивным объектом в нашем пространстве, теряет небольшую часть своей силы, утекая в балк, подобно чернильной кляксе, бледнеющей по мере просачивания сквозь лист бумаги. Тот факт, что эти новые измерения настолько малы по сравнению с нашими обычными измерениями, означает, что утечка будет практически не заметна, пока вы не измерите гравитационное воздействие объектов на миллиметровых расстояниях, что крайне сложно. В конце концов, когда вы находитесь рядом с объектом и отступаете от него на миллиметр, вы обычно не замечаете, насколько уменьшилось его гравитационное воздействие на вас.

Когда вы поймете, как проводить измерения в миллиметровых масштабах, вы сможете проверить, соответствует ли наблюдаемое уменьшение силы тяжести тому, которое предсказывают стандартные уравнения. А теперь

вернемся к аналогии с чернилами. Если вы выльете на лист бумаги литр чернил, вы не заметите каких-либо потерь. Однако если вы будете капать по капле, то увидите, что часть чернил исчезает по мере впитывания в волокна бумаги. Если ширина дополнительных измерений не превышает миллиметра, а вы можете зафиксировать изменение силы тяжести даже в таких масштабах, то величина гравитации, утекающей в балк, будет сопоставима с той величиной, которую вы пытаетесь измерить. При этом вы заметите, что сила тяжести уменьшается быстрее по сравнению с предсказанием общей теории относительности для «непротекающего» пространства. В этом случае вы сразу поймете, что что-то не так.

До сих пор мы так и не достигли консенсуса в объяснении слабости гравитации и не нашли каких-либо убедительных доказательств ее утечки, несмотря на растущую точность измерений силы тяжести в очень малых масштабах. Какой бы привлекательной с теоретической точки зрения ни казалась идея о дополнительных измерениях, их существование по-прежнему остается лишь интригующей возможностью, а не доказанным свойством нашего космоса. Кроме того, от их изначального обоснования практически ничего не осталось, — почти все наиболее убедительные теории, объясняющие слабость гравитации через ее утечку, были исключены, поскольку предсказывали изменения такой величины, которую мы уже должны были заметить. Тем не менее, мы продолжаем поиски, потому что, если дополнительные измерения действительно существуют, они позволят совершенно иначе взглянуть на гравитацию и Вселенную. Если вся наша

Вселенная находится на бране, содержащейся в многомерном пространстве-времени, есть вероятность того, что существуют другие Вселенные, например на соседних бранах, которые могут влиять на нашу своей гравитацией. Более того, на основе взаимодействия между бранами можно сформулировать новый сценарий происхождения нашей Вселенной. И, соответственно, ее гибели.

Знакомьтесь: экипротическая Вселенная.

КОСМИЧЕСКИЕ АПЛОДИСМЕНТЫ

Впервые я узнала об экипротическом сценарии зарождения (и смерти) Вселенной на очень интересной лекции по физике в Кембриджском университете от одного из создателей данной модели, Нила Турока. Во второй раз я наткнулась на нее в научно-фантастическом рассказе об инопланетянах. Теоретические конструкции, разработанные для решения сложных проблем физики ранней Вселенной, нечасто упоминаются в художественной литературе, так что тот случай мне хорошо запомнился. Рассказ Лори Энн Уайт и Кена Уортона *Mixed Signals* («Смешанные сигналы») повествует о серии странных событий, связанных, как в итоге выяснилось, с гравитационными волнами. В частности, с необычайно мощными гравитационными волнами, не похожими на те, которые обычно возникают в результате столкновения черных дыр или нейтронных звезд. В конце концов, главные герои догадываются о том, что эти волны

являются сигналами от разумных существ, посылаемыми через многомерный балк из другой браны. Авторы даже упоминают название экиротической модели и объясняют, что, согласно этой теории, наша Вселенная представляет собой лишь одну из нескольких трехмерных бран, существующих в многомерном пространстве, в котором может распространяться только гравитация. И если гравитация способна распространяться через балк, то гравитационные волны могут представлять собой отличный механизм межбранной связи.

Хотя возможность существования других цивилизаций на соседних бранах не была технически исключена, главная цель этой гипотезы состояла в объяснении механизма происхождения и разрушения нашей Вселенной. Вскоре после той лекции и чтения научно-фантастического рассказа я приступила к написанию своей докторской диссертации по физике ранней Вселенной совместно с Полом Стейнхардтом, который вместе с Нилом Туроком работал над экиротической моделью. Несмотря на то что меня больше интересовали другие теории происхождения нашего космоса, экиротический сценарий то и дело всплывал в ходе групповых встреч и обсуждений. (Правда, инопланетяне почему-то так и не появились.)

С тех пор экиротический сценарий был пересмотрен и обобщен, и последняя его версия вообще не предусматривает никаких дополнительных измерений. Однако, как это часто бывает в науке, новая идея, которая в итоге может оказаться неработающей, все же способна заставить нас посмотреть на проблему под другим углом и направить ход

наших мыслей в совершенно новое (и, будем надеяться, более продуктивное) русло. Итак, начнем с рассмотрения исходной идеи. В конце концов, она предполагает невероятно драматический финал для нашего космоса.

Термин «экипротический» происходит от греческого слова «воспламенение» и намекает на предполагаемое огненное происхождение Вселенной и такой же ее конец. Стандартная неэкипротическая версия зарождения Вселенной предусматривает период космической инфляции*, который мы обсуждали в главе 2. Инфляция вызывает резкое растяжение космического пространства в течение крошечных долей первой секунды существования Вселенной, после чего вследствие распада так называемого инфлатонного поля**, ставшего причиной этого растяжения, космос наполняется огромным количеством энергии, что знаменует начало фазы Горячего большого взрыва. С другой стороны, исходная версия экипротической модели предполагает, что ранняя Вселенная нагрелась в результате впечатляющего столкновения двух соседних трехмерных бран, одна из которых содержала то,

* Теория инфляции представляет собой тот случай, когда первая версия теории остается полезной, несмотря на ее кардинальную переработку. Исходная версия инфляционной модели считается гениальной догадкой, несмотря на то, что, в конце концов, она оказалась полным провалом. Она вообще не работала и в течение года была полностью пересмотрена другими физиками. Однако правота ее создателей заключалась в предложенном ими общем классе решений, послуживших основой для блестящих прорывов, которые наконец сделали теорию Большого взрыва работоспособной. Обновленная версия, которая иногда называется «новой инфляцией», легла в основу теории инфляции, используемой сегодня.

** Мы любим давать частицам и полям названия с суффиксом «он».

чему предстояло стать нашим космосом. После столкновения браны отдаляются друг от друга, медленно расширяясь и дрейфуя в балке. Однако им суждено встретиться вновь. Экспиротический сценарий предполагает циклический процесс возникновения и разрушения космоса, повторяющийся снова и снова.

Лично я считаю, что все это обретет гораздо больше смысла, если вы используете самый старый инструмент физиков: свои руки.

Представьте, что ваша левая ладонь — это наша 3-брана, то есть трехмерная Вселенная, в которой мы живем. (Разумеется, данная иллюстрация не позволяет соблюсти масштаб.) Ваша правая ладонь представляет собой еще одну «скрытую» брану*. Сначала сложите ладони в молитвенном жесте. Это положение соответствует моменту космического творения — столкновения, которое вызывает исходное воспламенение. В этот момент обе браны наполнены невероятно плотной и адски горячей плазмой, в ней куются первые атомы и распространяются гудящие волны, которые мы в дальнейшем будем воспринимать в качестве флуктуаций в космическом микроволновом фоновом излучении. Теперь медленно разведите ладони на небольшое расстояние, удерживая их параллельно друг другу, а затем разведите пальцы. Этот жест иллюстрирует дрейф бран в многомерном балке. При этом пространство в каждой бране охлаждается и расширяется. Данная модель не пре-

* В официальной литературе такая брана называется «браной конца мира» (end-of-the-world brane), что кажется вполне уместным, учитывая ее расположение на границе пространства.

дусматривает фазу инфляции, только постепенное расширение после столкновения. И это расширение происходит не в пределах балка, разделяющего браны, а в пределах самих бран, расположенных параллельно друг другу. В нашей бране (ваша левая ладонь) это пространство соответствует наблюдаемому сегодня космосу. Несмотря на то что мы не можем заметить свое удаление от другой браны, мы видим, как от нас удаляются галактики по мере расширения нашего трехмерного пространства и постепенного опустошения Вселенной в процессе тепловой смерти. Мы не знаем, что происходит на вашей правой ладони, соответствующей скрытой бране. Может быть, там тоже есть цивилизации, наблюдающие за опустошением их собственной Вселенной. Может быть, это тихое, пустынное место, где по какой-то причине материя так и не научилась организовываться в жизнеспособные структуры. Может быть, там водятся говорящие щенки. Если мы не сумеем обнаружить гравитационно-волновой сигнал от этой скрытой браны, мы так никогда и не узнаем ее истинную природу и даже не получим доказательств ее существования.

Теперь снова медленно сведите ладони, а затем хлопните в них. После того как браны разошлись на максимальное расстояние и расширились, они начинают притягиваться, чтобы затем снова отскочить друг от друга. Этот хлопок, или отскок, уничтожил все на обеих бранах, покончил с нашей Вселенной и породил новый Большой взрыв. Обе Вселенные вернулись в хаотическое состояние, то есть снова наполнились горячей плазмой, в которой исчезли практически все следы того, что когда-то существовало в этом пространстве. Теперь разведите ладони

и повторите весь цикл. И еще раз. И еще. Как видите, мир на бране*, или экпиротическая Вселенная, — это вечные, катастрофические космические аплодисменты.

И ТАК ПО КРУГУ, СНОВА И СНОВА

Вопросы о том, действительно ли мы живем на бране и существуют ли другие браны в многомерном балке, до сих пор остаются открытыми. Тем не менее идея циклической Вселенной имеет некоторую привлекательность, поскольку является одной из немногих разумных альтернатив теории инфляции, допускающей вероятность повторения ее успехов**. Какие формы в итоге примут модели инфляции

* Термин «мир на бране» (braneworld) применяется к моделям, которые предполагают, что пространство имеет большее количество измерений, а наша наблюдаемая Вселенная существует на трехмерной бране в многомерном пространстве. Это напоминает своеобразную мультивселенную, однако обычно, когда мы говорим о мультивселенной, мы имеем в виду нечто иное, например области трехмерного пространства, в которых действуют другие законы физики, или даже многомировую интерпретацию квантовой механики, представляющей собой нечто совершенно иное. Любая модель, которая допускает существование чего-то, выходящего за пределы наблюдаемого космоса, является своеобразной теорией мультивселенной.

** Понятия «циклическая» и «отскакивающая» в данном случае более или менее взаимозаменяемы, однако модель отскакивающей Вселенной не обязательно должна быть циклической в том смысле, что она может предполагать лишь один «отскок», знаменующий переход от некоторого предшествующего Большому взрыву этапа к нашей нынешней Вселенной, которая затем просто умирает, не порождая новую.

и экипротической Вселенной, пока не ясно. Новейшие экипротические модели вообще не предусматривают никаких бран, в то время как некоторые современные версии инфляции допускают их существование. Основное различие между этими моделями заключается в том, что теория инфляции решает ряд космологических проблем с помощью периода быстрого расширения в очень ранней Вселенной, тогда как экипротическая модель предусматривает для этого период медленного сжатия непосредственно перед отскоком. В модели мира на бране это происходит во время сближения бран. Как и инфляция, экипротическая модель может оказаться совместимой с наблюдаемым распределением материи в современной Вселенной, и, возможно, даже объяснит, почему наш космос кажется таким однородным и плоским (в том смысле, что он не заворачивается сам в себя и не имеет сложной геометрии в большом масштабе). Тот факт, что пространство кажется странно однородным, имеет смысл, если браны огромны и перед отскоком располагаются параллельно друг другу. В этом случае взрыв может произойти везде в одно и то же время, а за счет небольших квантовых флуктуаций могут образоваться области более высокой плотности, из которых впоследствии сформируются галактики, их скопления и вся структура космического пространства.

Тем не менее, как и в случае с инфляцией, многие теоретические вопросы все еще не решены. Самый важный из них сводится к тому, что именно происходит во время отскока. Возникает ли истинная сингулярность? Или отскок не предполагает достижения максимальной плотности, что позволяет допустить возможность сохранения части

информации и ее перехода на следующий цикл? Последняя версия модели предполагает очень незначительное сжатие, так что ничего похожего на сингулярность в ней не возникает. Вместо столкновения бран в этой модели предусмотрено сжатие, обусловленное скалярным полем, которое напоминает поле Хиггса или то, что, по нашему мнению, могло вызвать инфляцию. Эта модель предполагает заманчивую возможность передачи информации на следующий цикл, а также нашу принципиальную способность когда-нибудь обнаружить соответствующие доказательства.

Что подводит нас к вопросу о данных наблюдений. Поскольку и теория инфляции, и экипротическая модель разрабатывались для решения одних и тех же космологических проблем, чтобы подтвердить или исключить любую из них, нам, вероятно, придется постараться. Все, что мы наблюдали в космосе до сих пор, кажется совместимым со стандартной инфляционной моделью, но мы не находили неопровержимых доказательств ее правильности. Однако мы также не видели ничего, что доказывало бы или опровергало экипротический сценарий. На протяжении многих лет ученые спорят по поводу теоретического превосходства циклических моделей над инфляционными, но что касается наблюдений, вопрос остается открытым. И для его окончательного разрешения нам бы очень пригодились однозначные доказательства.

Самой многообещающей идеей может оказаться поиск свидетельств существования первичных гравитационных волн — крупномасштабной ряби в пространстве, которая возникла не в результате слияния черных дыр или

нейтронных звезд, а еще в инфляционную эпоху, когда квантовые флуктуации в инфлатонном поле заложили первые семена структуры космического пространства. Их обнаружение послужило бы самым неопровержимым доказательством теории инфляции из всех возможных. В 2014 году участники космологического сообщества ненадолго загорелись энтузиазмом, когда руководители эксперимента под названием BICEP2* объявили, что нашли именно такие доказательства. В ходе исследования поляризации реликтового излучения они обнаружили закручивающийся узор, который могли оставить только гравитационные волны, искривлявшие пространство в эпоху первородного пламени. Это открытие считалось таким революционным, что получение Нобелевской премии за него было практически гарантировано. В конце концов, даже если оставить в стороне последствия для теории инфляции, эти результаты представляли собой неопровержимые доказательства существования гравитационных волн (полученные более чем за год до того, как обсерватория LIGO зафиксировала столкновение черных дыр), а благодаря связи с квантовыми флуктуациями они также были первым доказательством квантовой природы гравитации.

Но позднее выяснилось, что это не верно.

Спустя несколько месяцев физики и астрономы, не участвовавшие в экспериментах BICEP2, независимо друг от друга проанализировали данные и пришли к выводу, что

* Вторая серия экспериментов по исследованию реликтового излучения (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization).

обнаруженный узор можно полностью объяснить чем-то гораздо более приземленным: обычной космической пылью, наполняющей пространство галактики Млечный Путь. Если бы первичные гравитационные волны удалось обнаружить, они послужили бы доказательством против экпиротической модели, которая не предусматривает инфляционное «космотрясение», способное их породить. К сожалению, их не обнаружили, что отбросило нас на исходную позицию. Несмотря на то что теория инфляции предсказывает существование первичных гравитационных волн, она не говорит о том, что они должны быть обнаруживаемы. Самые популярные модели инфляции предполагают существование достаточно мощных гравитационных волн, однако вполне возможно представить модель, предусматривающую очень слабый сигнал, который нельзя отличить от помех, вызываемых космической пылью*. Правда, то, что пыль стоит у нас на пути, в принципе не доказывает и не опровергает факт существования данного сигнала.

Тем не менее подсказки можно получить и из других источников. Мы можем доказать или опровергнуть существование бран в ходе поисков дополнительных измерений или наконец обнаружить намеки на первичные гравитационные волны. Даже обычные гравитационные волны могут дать нам некоторые подсказки, демонстрируя про-

* Технически в некоторых моделях экпиротической Вселенной на фазе медленного сжатия можно было бы допустить возникновение крошечных первичных гравитационных волн. Однако они оказались бы слишком слабы для того, чтобы их вообще можно было обнаружить.

хождение сигнала сквозь балк (с помощью или без помощи инопланетян)* или помогая нам исследовать структуру пространства-времени путем наблюдения за тем, как оно колеблется. Согласно некоторым исследованиям, данные наблюдений за столкновениями черных дыр уже поставили под сомнение теории, предполагающие утечку гравитации в пустоту многомерного пространства. До сих пор результаты всех наших замеров соответствовали простой и скучной картине Вселенной, имеющей лишь три пространственных измерения.

Независимо от того, найдем мы дополнительные измерения или нет, идея циклической Вселенной, скорее всего, останется привлекательной альтернативой инфляционной модели. Одна из причин заключается в проблеме энтропии, то есть постоянного нарастания меры беспорядка во Вселенной, что в итоге приводит к тепловой смерти. Мы можем вычислить количество энтропии в наблюдаемой Вселенной, а также заглянуть в прошлое и выяснить, какой она была раньше, учитывая, что она неуклонно возрастала на протяжении всего периода существования космоса. Судя по всему, история Вселенной началась с высокоупорядоченного состояния, которое отличалось крайне низкой степенью энтропии. Эта идея вызывает сильный дискомфорт у многих космологов. Чем была обусловлена столь низкая степень энтропии в самом

* Насколько мне известно, идея существования материи на скрытой бране обсуждается в литературе, в отличие от возможности обнаружения столкновений черных дыр по другую сторону балка. Возможно, эта тема является слишком спекулятивной для серьезного исследования. Но, по моему, это было бы весело.

начале? Представьте, что вы входите в комнату, в которой, как вы считаете, до вас никого не было, и обнаруживаете на полу бесчисленные ряды фишек домино, выглядящие так, будто они просто упали друг на друга в определенной последовательности. Как это могло произойти?

Главное преимущество некоторых моделей циклических и отскакивающих Вселенных состоит в том, что они позволяют объяснить начальную низкую степень энтропии событиями, предшествовавшими отскоку. Согласно последней версии экипротической модели, разработанной Полом Стейнхардтом и Анной Иджас, в качестве исходной энтропии современной наблюдаемой Вселенной послужила вся энтропия крошечного участка предыдущей Вселенной.

Эта новая модель (которая была обнародована во время написания данной книги) имеет некоторые существенные преимущества по сравнению с предыдущими версиями экипротического сценария. В частности, она не предусматривает дополнительных пространственных измерений или сингулярности в момент отскока. На самом деле сжатие может быть довольно умеренным, то есть размер Вселенной может уменьшиться всего в два раза. Если оставить в стороне сложные детали, основная идея модели сводится к тому, что циклическим является процесс эволюции Вселенной и сочетание ее ингредиентов. Как уже говорилось, за сжатие и отскок отвечает заполняющее Вселенную скалярное поле, а не столкновение бран.

Если эта новая циклическая модель действительно описывает нашу Вселенную, то в отдаленном будущем мы

ГЛАВА 7. БОЛЬШОЙ ОТСКОК

заметим, как дальние галактики останавливаются и начинают медленно приближаться к нам. Сначала это будет похоже на раннюю стадию Большого сжатия, сопровождающуюся ростом температуры фонового излучения. Однако мы будем уничтожены еще до того, как заподозрим неладное, когда энергия скалярного поля внезапно преобразуется в излучение, породив Большой взрыв, знаменующий начало очередного цикла Вселенной.

Интересно, что эта новая версия экпиротической модели имеет одно сходство с предыдущей, допуская, что гравитационные волны могут представлять собой своеобразный сигнал, передающийся от одной Вселенной другой. Старая версия допускала прохождение гравитационных волн через балк. В новой версии гравитационные волны могут сохраняться при переходе с одного цикла на другой, поскольку перед отскоком космическое пространство сжимается не слишком сильно. Эти сигналы были бы чрезвычайно трудноуловимыми, но если бы они существовали, то могли бы кое-что рассказать нам о предыдущей Вселенной.

Так что следите за пространством.

* * *

Разумеется, экпиротические сценарии не являются единственными моделями отскакивающей Вселенной.

Роджер Пенроуз, пионер современной космологии, коренным образом изменивший наш взгляд на гравитацию,

предложил собственную модель циклической Вселенной, в которой Большой взрыв происходит после тепловой смерти предыдущей Вселенной. Эта модель предполагает объединение далекого будущего пространства-времени одной Вселенной с сингулярностью в начале другой. На протяжении многих десятилетий Пенроуз был одним из самых выдающихся космологов, указывающих на серьезность проблемы энтропии в стандартных сценариях ранней Вселенной. И он не считает, что ее можно разрешить с помощью теории инфляции. Недавно он сказал мне: «Когда я впервые услышал об этом, я подумал, что эта теория не проживет и недели».

Альтернативная модель Пенроуза под названием «Конформная циклическая космология» предполагает, что вблизи сингулярности энтропия работает иначе. Если его гипотеза верна, то это означает, что для границы между циклами характерна очень низкая энтропия, и процесс возникновения новой Вселенной не включает стадию инфляции. Модель Пенроуза также предполагает интригующую возможность, что какой-то отпечаток событий, произошедших на предыдущих циклах, может сохраниться в виде наблюдаемых особенностей космического микроволнового фонового излучения. Пенроуз и его соотрудники заявили, что доказательства существования таких отпечатков уже сейчас можно обнаружить в данных, правда, их заявление было воспринято скептически. Будут ли эти особенности реликтового излучения рассматриваться в качестве доказательства существования Вселенной до Большого взрыва, пока не ясно.

Между тем один из разработчиков экипротического сценария Нил Турок сформулировал совершенно новую модель Вселенной, в которой Большой взрыв является всего лишь переходной точкой. В основе этой гипотезы, разработанной Лэтамом Бойлом, Туроком и их бывшим учеником Кираном Финном, лежат аргументы симметрии из физики элементарных частиц, переведенные на космический уровень. Согласно данной гипотезе, наша Вселенная и обращенная во времени версия космоса встречаются в момент Большого взрыва, словно два конуса, соприкасающиеся вершинами. В недавней статье ученые описали это как «возникающую из ничего пару Вселенная — Антивселенная». Вполне вероятно, что конусообразная сингулярность может предусматривать собственное решение проблемы энтропии, хотя данная модель и ее детали на момент написания этой книги все еще находились на стадии разработки. Тем не менее она дает некоторые конкретные предсказания о природе темной материи, а значит, может быть проверена в ходе предстоящих экспериментов.

Итак, что же дальше? Был ли Большой взрыв уникальным событием или некой катастрофической переходной точкой? Будет ли наше существование резко прервано другой Вселенной, обрушившейся на нас, словно мухобойка из другого измерения? Позволят ли данные из области космологии или физики элементарных частиц, наконец, узнать истинную природу пространства-времени? Насколько мы близки к пониманию далекого будущего нашего космоса и какая дополнительная информация нам нужна для окончательного ответа на этот вопрос?

Чем все закончится?

КОНЕЦ ВСЕГО

Как это обычно бывает в науке, изучение космоса предполагает постоянную, непрекращающуюся работу. Однако за последние несколько десятилетий в этой области был достигнут значительный прогресс, и новые идеи возникают все чаще. В ближайшем будущем у нас появятся новые инструменты, которые позволят получить беспрецедентное представление об истории происхождения нашего космоса и предоставят новые сведения о Большом взрыве, темной материи, темной энергии и нашей возможной судьбе. В последней главе данной книги мы поговорим о том, что именно нам могут показать эти новые инструменты, а также о результатах работы на передовом крае науки, которые уже намекают, что наша Вселенная гораздо более странная, чем мы могли себе представить.

ГЛАВА 8

БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

Насколько велики песочные часы?

И как глубок песок?

Я даже не надеялся узнать, но вот
я здесь стою.

Хозиер, «Плана нет»

(Hozier, «No Plan»)

В 1969 году Мартин Рис еще не стал королевским астрономом, лордом Рисом, бароном Ладлоу. Он был постдокосмологом в Кембриджском университете, размышлял о конце всего и опубликовал шестистраничную статью под названием «The Collapse of the Universe: An Eschatological Study» (Коллапс Вселенной: эсхатологическое исследование), которую он же впоследствии назвал «довольно забавной». Во введении Рис заявил, что хотя данные наблюдений пока не однозначны, они указывают, что «Вселенной суждено коллапсировать. Все структурные особенности космической сцены будут уничтожены в процессе этого

разрушительного сжатия». Думаю, что самым забавным в своей работе Рису показалось то, что, согласно его вычислениям, в ходе грядущего коллапса звезды могут быть уничтожены фоновым излучением извне. А кого может не позабавить мысль о возгорании звезд?

Несмотря на аргументы, приведенные Рисом в пользу теории Большого сжатия, данные оставались неоднозначными на протяжении нескольких десятилетий, поэтому было неясно, является ли Вселенная замкнутой (обреченной на сжатие) или открытой (вечно расширяющейся). В 1979 году Фримен Дайсон из института перспективных исследований в Принстоне решил исследовать другую сторону вопроса, заявив: «Я не буду подробно обсуждать модель замкнутой Вселенной, поскольку сама мысль о существовании в коробке вызывает у меня приступ клаустрофобии». Модель открытой Вселенной представлялась ему более привлекательной и просторной альтернативой. В своей статье «Time Without End: Physics and Biology in an Open Universe» (Время без конца: физика и биология в открытой Вселенной) он представил количественные предсказания и проанализировал значимость идеи открытой Вселенной для человечества, разработав метод, с помощью которого будущие жители космоса, регулируя свою деятельность и периодически впадая в спячку, могли бы бесконечно продолжать свое существование в вечно расширяющемся космосе*. Несмотря на то что большая часть статьи была

* К сожалению, единственная допускающая это модель открытой Вселенной не предусматривает космологической постоянной, так что текущие данные, похоже, загасили даже эту крошечную искру надежды.

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

посвящена расчетам и обсуждению теоретических вопросов, во введении он довольно резко раскритиковал сообщество физиков за пренебрежение темой конца Вселенной. «Изучение далекого будущего сегодня кажется столь же сомнительным занятием, каким тридцать лет назад казалось исследование далекого прошлого», — писал он, подразумевая нехватку серьезных работ по данной теме*. Затем последовал его космологический призыв к оружию: «Если анализ отдаленного будущего поднимет вопросы, связанные с конечным смыслом и целью жизни, давайте исследуем их смело и без смущения».

Я не могу сказать, что космическая эсхатология наконец получила должный уровень признания как академическая дисциплина. В научной литературе по-прежнему очень редко встречаются статьи, в которых наша возможная судьба исследовалась бы с той же строгостью и глубиной, что и наше происхождение. Тем не менее, изучение обоих концов временной шкалы помогает нам по-разному исследовать принципы, лежащие в основе наших физических теорий. Помимо понимания нашего будущего или прошлого, они могут помочь нам осознать фундаментальную природу самой реальности.

«Размышления о конце Вселенной, так же как и о ее начале, позволяют вам лучше понимать происходящее

* Удивительно, но сам Дайсон так и не решился опубликовать свою статью. Это сделал его друг, который без его разрешения направил работу в журнал *Reviews of Modern Physics*. Недавно Дайсон сказал мне, что не считал статью подходящей для этого журнала. «Как обычно, это дело вкуса», — добавил он.

в настоящий момент и проводить более точную экстраполяцию. Я считаю, что экстраполяция играет огромную роль в области фундаментальной физики», — заявила Хиранья Пейрис, космолог из университетского колледжа Лондона. В 2003 году она возглавила одну из команд, занимавшуюся интерпретацией первой детальной карты реликтового излучения, полученной с помощью зонда микроволновой анизотропии Уилкинсона (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, WMAP). С тех пор Пейрис продолжает работу на переднем крае наблюдательной космологии. В последние годы она подумывает об использовании данных наблюдений, симуляций и настольных моделей для проверки некоторых ключевых аспектов физики ранней и поздней Вселенной, таких как возникновение «пузырьковых Вселенных» на стадии космической инфляции и механика распада вакуума. При изучении всех этих вопросов она руководствуется одной и той же мотивацией. «Я считаю, что этот период требует всестороннего осмысления. Пока неясно, как то, что мы делаем сейчас, соотносится с этими периодами, но я думаю, что выполнение такой работы позволит нам кое-что узнать о фундаментальной теории».

Нам, безусловно, предстоит многому научиться. В настоящее время космология и физика элементарных частиц находятся в неловком положении, поскольку обе области в некотором смысле являются жертвами собственного успеха. Каждое направление предусматривает точное и всестороннее описание мира, которое очень хорошо работает в том смысле, что до сих пор нам не удалось найти ничего, что бы ему противоречило. Однако недостаток

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

в том, что мы понятия не имеем, почему эти описания работают.

В настоящее время в космологии царит парадигма под названием «модель соответствия», или «модель Лямбда-CDM». Согласно ей, Вселенная состоит из четырех основных компонентов: излучения, обычной материи, темной материи (в частности, «холодной» темной материи, CDM (Cold Dark Matter)) и темной энергии в форме космологической постоянной (обозначаемой в уравнениях греческой буквой лямбда, Λ). Количества всех этих компонентов точно измерены, и в настоящее время на космологическую постоянную приходится самый большой кусок космического пирога. Мы хорошо понимаем, как их соотношение менялось по мере расширения Вселенной, и у нас есть подробное описание самых ранних этапов, включая период очень быстрого расширения, называемого инфляцией. Кроме того, у нас есть проверенная теория гравитации — эйнштейновская общая теория относительности, которая в модели Лямбда-CDM считается абсолютно правильной. Учитывая, что космологическая постоянная в настоящее время играет важнейшую роль в эволюции космоса, в рамках этой парадигмы мы можем использовать наше понимание гравитации и компонентов Вселенной для предсказания будущего нашего космоса. И это неминуемо подводит нас к выводу о том, что в далеком будущем Вселенной грозит тепловая смерть.

Проблема модели соответствия заключается в абсолютной загадочности наиболее важных ее элементов — темной

материи, космологической постоянной и инфляции. Мы не знаем, что такое темная материя; мы не знаем, как произошла инфляция (и действительно ли она имела место); мы не можем объяснить существование космологической постоянной и того, почему она имеет значение, противоречащее физике элементарных частиц. В то же время мы не нашли в данных ничего, что опровергало бы эту модель. У нас нет доказательств, что темная энергия каким-либо образом эволюционирует (это шло бы вразрез с космологической постоянной), ничто не говорит о том, что темную материю можно обнаружить экспериментально (правда, доказательств обратного тоже нет), и за 100 лет в ходе множества экспериментов мы ни разу не видели, чтобы поведение гравитации противоречило общей теории относительности Эйнштейна.

Эндрю Понцен, коллега и соавтор Пейрис (и мой бывший сосед по офису в Кембридже), исследует теоретические аспекты темной материи и уже представил ряд новаторских решений для объяснения формы, которую принимает темная материя в галактиках. По его словам, мы довольно хорошо разбираемся в космологии в том смысле, что наши данные вполне соответствуют модели, включающей темную материю и темную энергию, и, скорее всего, в будущем это не изменится. Нам известно количество и поведение каждого компонента Вселенной. С другой стороны, мы не знаем, как связать темную материю или темную энергию, на которые приходится 95% массы Вселенной, с фундаментальной физикой. «В этом смысле мы вообще ничего не понимаем», — заявил он.

Между тем, в области физики элементарных частиц дела обстоят не менее удручающе. Еще в 1970-х годах ученые разработали Стандартную модель физики элементарных частиц для описания всех известных частиц: кварков, из которых состоят протоны и нейтроны, лептонов, к которым относятся нейтрино, электрон и их сородичи, и так называемых калибровочных бозонов, переносчиков фундаментальных взаимодействий (электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия). Несмотря на некоторые незначительные корректировки, такие как превращение нейтрино из абсолютно безмассовой в очень легкую частицу, Стандартная модель оказалась фантастически успешной и с блеском выдержала все экспериментальные испытания. Она даже позволила предсказать существование бозона Хиггса, недостающей части головоломки. За прошедшие годы в ходе экспериментов с частицами мы не обнаружили ничего, что не предсказано Стандартной моделью.

Можно было бы подумать, что это настоящий триумф. Теория работает! Все происходит так, как мы и предсказывали!

Почему же мы просто не наслаждаемся своими блестящими успехами?

Потому что это в некотором смысле наихудший сценарий. Несмотря на то что Стандартная модель отлично соответствует результатам экспериментов, мы знаем, что в ней, как и в космологической модели Лямбда-CDM, отсутствуют некоторые очень важные компоненты.

Помимо того, что эта модель вообще ничего не говорит о темной материи или темной энергии, ей свойственны так называемые «проблемы тонкой настройки» параметров Вселенной, без которой разумная жизнь не могла бы существовать. В идеале у нас должна быть некая теоретическая основа, объясняющая, почему параметр принял то или иное значение. Когда единственным объяснением является аргумент вроде «в противном случае с нами случится что-то плохое» или, что еще хуже, «так показали измерения», это очень обескураживает.

На протяжении нескольких десятилетий мы надеялись перейти от подтверждения важных аспектов Стандартной модели к поиску границ ее применимости, а затем сделать открытия с использованием модели, пришедшей ей на смену. В 1970-х годах для исправления теоретических недостатков Стандартной модели была предложена модель под названием «суперсимметрия» (сокращенно SUSY), предусматривающая новые математические связи между различными типами частиц и объясняющая странную структуру Стандартной модели и ее параметров. Она также предполагала существование целого ряда новых частиц («суперсимметричных партнеров» для частиц Стандартной модели), которые могли быть получены в результате столкновений чуть более высокой энергии по сравнению с достижимой в коллайдерах того времени. Кроме того, суперсимметрия считалась еще одним шагом в направлении многообещающей теории струн, которая должна была объединить гравитацию и квантовую механику в единое целое.

К сожалению, несмотря на многолетнюю работу по улучшению и модернизации ускорителя БАК, мы так и не увидели никаких признаков обещанных суперсимметричных частиц. Некоторые физики продолжали надеяться на суперсимметрию, предлагая корректировки, затрудняющие поиск новых частиц, но в какой-то момент они стали столь экстремальными, что в суперсимметрии появилось столько же теоретических проблем, как и в Стандартной модели. А сигнал до сих пор не обнаружен. Время от времени возникает волнение, вызванное физиками, спешащими объяснить неожиданные события, произошедшие в одном из детекторов ускорителя частиц. Однако до сих пор все эти странности в данных представляли собой лишь статистическую случайность, не воспроизводимую в ходе последующих экспериментов.

Вот что сказала мне по этому поводу Фрейя Блэкман, физик-экспериментатор, занимающаяся анализом данных БАК на предмет того, что выходит за рамки Стандартной модели: «За двадцать лет работы в этой области я была свидетелем многочисленных крайностей, а также появления и дальнейшего опровержения многих популярных моделей. Побеседовав с людьми, вы можете заметить, что некоторые из них разочарованы, поскольку им очень долго говорили, что они уже давно должны были что-то обнаружить. А эксперименты не показывают ничего, что выходило бы за рамки Стандартной модели». Однако, по ее мнению, это разочарование неуместно. Не потому, что люди не видят подсказок, которые на самом деле там есть, а просто потому, что никто не гарантировал, что эти эксперименты позволят обнаружить что-то новое.

Тем не менее отсутствие ориентиров в результатах экспериментов может вызвать у некоторых исследователей достаточно сильный дискомфорт, чтобы заставить их бросить физику элементарных частиц и заняться космологией. Именно так и поступил Педро Феррейра, космолог из Оксфордского университета, который во время обучения в докторантуре переключился с квантовой гравитации на космологию и теперь изучает реликтовое излучение и общую теорию относительности в астрофизике, надеясь обнаружить в этих областях более многообещающие идеи. «В физике элементарных частиц с 1973 года не происходило никаких революционных открытий, которые можно было бы проверить экспериментально», — сказал он. В этой области появилось много новых теоретических идей, и некоторые из них казались довольно многообещающими, но без четких экспериментальных доказательств существования чего-то, выходящего за рамки Стандартной модели, было трудно понять, куда двигаться дальше и какое из многочисленных предположений, скорее всего, является правильным. «Мы собрали так много замечательных данных, но решили ли мы проблему квантовой гравитации? Я так не думаю. Да и как мы вообще можем узнать, решили мы ее или нет?»

К счастью, ученые не сдаются. Я поговорила с десятками космологов и специалистов по физике элементарных частиц о перспективах развития теоретической физики, космологии и Вселенной в целом, и хотя не услышала единого мнения об оптимальном подходе, мне все-таки удалось выявить пару общих тем. Одной из них является диверсификация: в каких бы крупных международных

экспериментах или наблюдательных программах мы ни решили участвовать, важно диверсифицировать применяемые подходы и предлагать идеи, позволяющие по-новому взглянуть на старые проблемы (и это касается как теории, так и сбора данных). Другая тема сводится к тому, что нам следует собирать как можно больше новых данных и анализировать их всеми возможными способами.

Клиффорд В. Джонсон, физик-теоретик из университета Южной Калифорнии, занимается теорией струн, черными дырами, дополнительными измерениями пространства и нюансами энтропии. Из тех, кого я знаю, он, вероятно, глубже всех погружен в чистую теорию, и его очень радует современная ситуация с данными. «По-моему, нам не хватает хорошей общей идеи, но недостатка в источниках данных у нас не наблюдается, — сказал он. — Это напоминает мне о днях, предшествовавших формулированию квантовой теории». В те дни представления о структуре атомов и ядер сыпались как из рога изобилия, но ни одно из них не было достаточно убедительным. «Но затем мы получили все эти замечательные данные, благодаря которым теория в итоге начала обретать форму. Не вижу причин, почему бы этому не повториться. Судя по истории развития науки, именно так это и работает».

Итак, давайте поговорим о данных. О том, что и как мы исследуем в космологии и физике элементарных частиц. Что это может рассказать нам о физике современной Вселенной и ее возможном конце. А затем опять дадим слово теоретикам, чтобы познакомиться с некоторыми из наиболее невероятных обсуждаемых ими концепций.

ПРИКОСНОВЕНИЕ К ПУСТОТЕ

Если мы хотим узнать что-нибудь о далеком будущем космоса, нам лучше обратиться к гигантскому невидимому постоянно расширяющемуся слону-убийце: к темной энергии. После того как в 1998 году было выяснено, что Вселенная расширяется с ускорением, новая парадигма сформировала для нас будущее, в котором преобладает темная энергия, — будущее, где космос постепенно становится все более пустынным, холодным и темным, до тех пор, пока все структуры не распадутся и Вселенная не достигнет состояния тепловой смерти. Однако это лишь экстраполяция, основанная на предположении, что темная энергия представляет собой неизменную космологическую постоянную. Как мы уже говорили, если то, что отвечает за ускоренное расширение пространства, относится к категории фантомной темной энергии или каким-то образом меняется со временем, последствия для космоса будут совершенно иными.

К сожалению, темная энергия не поддается непосредственному наблюдению. Насколько мы можем судить, ее нельзя обнаружить в ходе лабораторных экспериментов, она невидима, равномерно распределена в пространстве и становится заметной лишь благодаря косвенным эффектам в масштабах, значительно превышающих размер нашей галактики.

Вообще говоря, мы можем исследовать лишь две вещи. Во-первых, историю расширения Вселенной, которую мы

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

в настоящее время изучаем, глядя на очень далекие сверхновые и вычисляя скорость их удаления. Во-вторых, историю формирования структуры Вселенной, под которой мы подразумеваем галактики и их скопления, поскольку космологов мало интересуют такие мелочи, как звезды и планеты. В данном случае процесс измерения является гораздо более сложным, но позволяет творчески использовать огромные массивы данных. Хитрость в том, чтобы получить изображения и спектры как можно большего числа галактик на гигантском пространстве (и большом отрезке космической истории), а затем с помощью статистических методов сделать выводы о процессе формирования этих структур. Комбинируя эти два способа измерения, мы можем выяснить, как растягивающие пространство свойства темной энергии повлияли на Вселенную в целом и насколько сильно они препятствовали объединению материи в такие структуры, как галактики, их скопления и мы сами.

Когда у вас есть лишь две вещи, которые вы можете измерить, чтобы определить судьбу Вселенной, имеет смысл постараться и сделать это как можно точнее. В последние двадцать лет наблюдался всплеск интереса к новым телескопам и методам съемки, применяемым в том числе для исследования темной энергии. Некоторые из них предназначены для выяснения значения параметра уравнения состояния темной энергии (см. главу 5) на основе результатов измерения скорости расширения и роста структур. Если на протяжении всей истории космоса значение w остается равным -1 , мы имеем дело с космологической постоянной. А если оно хотя бы немного отклоняется от этого значения, то мы получим множество Нобелевских премий. Однако

даже среди астрономов, не интересующихся темной энергией или не верящих в возможность обнаружения чего-то кроме космологической постоянной, исследования темной энергии пользуются популярностью в качестве универсальной миссии по сбору данных о галактиках.

Прекрасным примером является Большой обзорный телескоп (LSST, Large Synoptic Survey Telescope), недавно переименованный в обсерваторию имени Веры Рубин (VRO, Vera C. Rubin Observatory). Этому телескопу размером 8,4 метра, расположенному в горах Чили, предстоит фотографировать несколько миллионов сверхновых и 10 миллиардов галактик, производя съемку южного неба каждые несколько дней. Такая повторная съемка отлично подходит для исследований сверхновых, поскольку позволяет нам наблюдать за увеличением и уменьшением их яркости на протяжении нескольких дней, пока виден взрыв. Однако этот метод исследования отлично подходит и для изучения удаленных галактик, которые невозможно рассмотреть другими способами, поскольку позволяет накладывать друг на друга снимки, сделанные в разное время.

(В качестве отступления. Недавно я посетила конференцию на тему «Планетарная оборона», где докладчики обсуждали методы наблюдений, позволяющие обнаруживать потенциально опасные астероиды, которые могут столкнуться с нашей хрупкой маленькой планетой. Благодаря телескопу VRO мы сможем значительно раньше замечать такие объекты, по крайней мере в южном небе, а значит, у нас будет больше шансов их остановить. Меня очень радует мысль, что попытки понять темную энер-

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

гию, которая грозит Вселенной гибелью, могут помочь нам спасти мир в краткосрочной перспективе.)

В каких бы целях ни использовался телескоп VRO, его значение для космологии невозможно переоценить хотя бы потому, что предоставленный им огромный массив качественных данных повышает вероятность того, что мы найдем что-то новое и удивительное. По словам Пейрис, VRO способен изменить правила игры. «Теперь мы видим Вселенную не так, как прежде, — сказала она. — А каждый раз, когда мы смотрим на Вселенную иначе, мы узнаем что-то новое».

VRO — это далеко не единственная многообещающая программа наблюдений. В настоящее время появляется множество новых телескопов и способов съемки, и каждый способен показать нам космос таким, каким мы его еще не видели. К наиболее перспективным относится класс новых космических телескопов, таких как космический телескоп имени Джеймса Уэбба (JWST, James Webb Space Telescope), телескоп «Евклид» (Euclid) и широкоугольный инфракрасный обзорный телескоп (WFIRST, Wide Field Infrared Survey Telescope), которые будут делать снимки глубокого космоса в инфракрасном диапазоне, позволяя нам увидеть галактики, находящиеся от нас так далеко, что весь их свет сместился из видимой в инфракрасную область спектра.

Даже обсерватории, изучающие реликтовое излучение, подключились к исследованию темной энергии. В главе 2 мы говорили о том, что изучение реликтового излучения может рассказать нам о ранней Вселенной и происхождении структуры космоса. В то время, когда был испущен

свет реликтового излучения, темная энергия не играла во Вселенной никакой роли, ее эффект полностью компенсировался экстремальной плотностью вещества и излучения. Поэтому вас может удивить тот факт, что наблюдение реликтового излучения можно использовать, чтобы получить представление о текущем поведении темной энергии. Хитрость в том, что вся космическая структура, которую мы стремимся изучить, — все галактики и их скопления — находится между нами и реликтовым излучением, и каждый из этих объектов своей гравитацией слегка искривляет пространство, в котором находится.

Представьте, что у вас есть снимок пруда с чистой водой, сквозь которую видна галька на дне. Даже если вам неизвестно точное расположение и форма каждого камешка, вы, вероятно, сможете заметить разницу между спокойной и подернутой рябью водой, сравнив искаженный вид камешков с имеющимся у вас представлением о том, как они должны выглядеть. Подобным же образом мы можем, по крайней мере, в статистическом смысле, выявить небольшие вызванные веществом искажения в свете реликтового излучения. Так называемое линзирование реликтового излучения представляет собой фантастический инструмент для изучения процесса роста космической структуры. Мы надеемся усовершенствовать данный метод с помощью новых обсерваторий, предназначенных для исследования КМФИ, однако мы уже использовали эффект линзирования для составления карты распределения всей темной материи в наблюдаемой Вселенной. Разумеется, эта карта имеет очень низкое разрешение и напоминает размытую карту мира, воспроизведенную по памяти с помощью от-

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

печатков пальцев, тем не менее тот факт, что мы вообще способны сделать что-то подобное, весьма впечатляет.

Рене Гложек, космолог из университета Торонто, использует карты реликтового излучения и галактик для лучшего понимания нашей космологической модели, в частности, темной энергии и конечной судьбы Вселенной. Она отмечает, что комбинирование наборов данных, собранных телескопами вроде VRO, и новыми обсерваториями, изучающими КМФИ, позволит добиваться все более значительных результатов по мере расширения этих наборов. Используя технику под названием «взаимная корреляция», мы можем сравнить данные о положении объектов из каталогов галактик с полномасштабной картой распределения вещества, составленной на основе эффекта линзирования реликтового излучения. Это позволит нам получить более точные результаты и уменьшит вероятность того, что мы упустим какие-либо отклонения от модели Лямбда-CDM. По словам Гложек, альтернативные теории, использующие изменения в гравитации для имитации эффектов темной энергии, в объединенных наборах данных будут выглядеть совсем иначе. «Я думаю, спрятаться им будет просто негде».

Что еще интересного можно увидеть, располагая изображениями миллиардов галактик? Во-первых, можно наблюдать эффект сильного гравитационного линзирования, который заключается в том, что галактика (или скопление галактик) так сильно искажает окружающее пространство, что свет от объекта, находящегося непосредственно за ней, расщепляется на несколько изображений или распространяется в виде огибающей галактику дуги.

Представьте, что вы смотрите на свечу сквозь изогнутое стекло в основании пустого бокала. При этом вы увидите пламя в виде дуги или круга. В случае гравитационной линзы отдельные изображения формируются вследствие искривления траекторий разных лучей света. Это означает, что, если в линзируемой галактике вспыхнет сверхновая, на каком-то изображении она появится раньше, чем на другом, поскольку свет, формирующий второе изображение, добирается до нас по более длинному пути.

Помимо того, что с помощью этого трюка вы можете произвести впечатление*, подобные задержки во времени предоставляют новый способ измерения скорости расширения Вселенной, поскольку при вычислении таких огромных расстояний данный параметр становится очень важным фактором. А мы отчаянно нуждаемся в новых способах измерения скорости расширения пространства, поскольку наши нынешние методы дают слишком разные результаты.

Как вы помните из главы 5, при измерении скорости расширения (также известной как постоянная Хаббла) с использованием сверхновых мы получаем одно число, а при измерении с помощью реликтового излучения — другое. Результаты альтернативных измерений, склоняющиеся в ту или иную сторону, не помогли разрешить это противоречие. (Недавно мы получили некую среднюю величину, которая, к сожалению, не согласуется ни

* «Видишь вон ту звезду? Она взорвется через год. Плюс-минус четыре месяца». (Адаптировано из работы Трева и др. (Treu et al.) 2016, опубликованной в журнале *The Astrophysical Journal*.)

с одним из значений.) Измерение задержки, вызванной гравитационным линзированием, может помочь в решении этой проблемы, поскольку благодаря телескопу VRO количество систем, которые мы можем для этого использовать, увеличится с нескольких единиц до сотен. Результаты измерения гравитационных волн с помощью таких инструментов, как LIGO (см. главу 7), также будут нелишними, а в течение следующего десятилетия они могут достичь уровня точности, необходимого для окончательного разрешения данного вопроса.

ВЗГЛЯД ПОД ДРУГИМ УГЛОМ

Что мне особенно нравится в космологии, так это то, что она побуждает применять творческий подход и смотреть на физику Вселенной под разными углами. Речь не идет о бесконтрольных полетах фантазии. Вы не можете просто что-то выдумать. Однако вы можете (и должны) постоянно находить новые способы рассмотрения проблем, чтобы получить как можно больше информации из тех данных, которые предоставляет вам Вселенная.

Творческое мышление особенно важно, когда мы сталкиваемся с вопросами наподобие: «Как можно улучшить модель Лямбда-CDM или Стандартную модель?» Все, что мы пробовали до сих пор, соответствовало предсказаниям; где нам искать подсказки, ведущие к новым моделям, если мы не можем сломать что-нибудь в текущей?

Клиффорд Джонсон настроен оптимистично и считает, что отсутствие четких ориентиров может быть для нас даже полезным: «Я не могу указать на что-то конкретное и заявить: “Вот за этим будущее!” Я просто чувствую, что те многообразные подходы, которые мы были вынуждены применять, сослужили нам хорошую службу».

Итак, мы открываем новые направления исследований. Уже проводятся радиообзоры для изучения темных веков Вселенной — периода между возникновением реликтового излучения и формированием первых звезд. С их помощью ученые надеются отыскать что-нибудь, противоречащее текущей космологической модели. Существуют новые виды детекторов гравитационных волн, которые используют такие методы, как квантовая интерференция между атомами и объединение сигналов от пульсаров. Они могут предоставить нам информацию о поведении черных дыр и физике ранней Вселенной. Эксперименты, направленные на разработку новых способов поиска темной материи, могут подсказать нам, как можно расширить Стандартную модель физики элементарных частиц или изменить наш подход к космологии. Исследуя поляризацию реликтового излучения, мы можем отыскать сигнатуры космической инфляции, которые полностью изменят наше понимание ранней Вселенной. С другой стороны, отсутствие подобных сигналов может побудить исследователей заняться разработкой альтернативных теорий, например моделей отскакивающей Вселенной. Лабораторные эксперименты, направленные на изучение энергии вакуума, могут разрешить проблему темной энергии, если она все-таки не является космологической постоянной. Мы даже можем не-

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

посредственно измерить скорость расширения Вселенной, наблюдая за изменением видимой скорости удаленного источника света на протяжении десятков лет.

Педро Феррейра тоже с оптимизмом смотрит на это разнообразие подходов. По его словам, несмотря на то что такой поиск может показаться слишком специализированным и бессистемным, огромное количество людей, по отдельности ломающих головы над новыми идеями, может оказаться именно тем, что нам нужно: «У кого-то из них может внезапно случиться озарение: “О! Вот как можно заглянуть в будущее”».

Другой вопрос, сколько времени займет реализация подобной программы. Если мы пытаемся лишь провести различие между космологической постоянной и какой-либо другой формой темной энергии, у нас есть буквально все время мира и даже еще немного. Ни одна из наших теорий не допускает, что темная энергия может разрушить нашу планету прежде, чем это сделает Солнце.

Распад вакуума — совсем другое дело. Стандартная модель физики элементарных частиц, та самая, которая выдержала все придуманные нами экспериментальные испытания, ставит нас в опасное положение — на грань тотальной нестабильности. Является ли это реальным риском или всего лишь причудливым результатом экстраполяции неполной теории, зависит от того, кого вы спросите. (Я опросила нескольких экспертов и получила ответы в диапазоне от «это говорит о том, что наша теория ошибочна» и «риск очень мал» до «возможно, до сих

пор нам просто везло». Понимайте, как хотите.) В любом случае, если мы хотим иметь возможность сказать что-то более обнадеживающее, чем «волноваться бесполезно, потому что вы в любом случае ничего не почувствуете»*, нам понадобятся конкретные данные.

К счастью, мы знаем, где их взять.

МАШИНЫ ДЛЯ СОВЕРШЕНИЯ ОТКРЫТИЙ

Ни одно место на Земле не ассоциируется с возможным разрушением космоса так плотно, хотя и совершенно незаслуженно, как ЦЕРН. Дом Большого адронного коллайдера представляет собой обширный кампус, состоящий из лабораторий и офисных зданий, занимающий около шести квадратных километров на границе Франции и Швейцарии недалеко от Женевы. По сути, это специализированный приграничный город с собственным пожарным и почтовым отделением, а также лабораториями, механическими цехами и фабрикой по производству антиматерии. Физики из ЦЕРНа начали ускорять и сталкивать протоны еще в 1950-х годах, задолго до создания ускорителя БАК, в ходе проведения сложных экспериментов по изучению природы субатомных частиц. Эти эксперименты помогли создать Стандартную модель физики

* Ну, спасибо, Хосе Рамон Эспиноза, мадридский теоретик и научный сотрудник ЦЕРН.

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

элементарных частиц, и на протяжении более пятидесяти лет нам так и не удалось обнаружить в ней каких бы то ни было пробелов.

Но сотрудники ЦЕРН продолжают поиски. И не только потому, что разбивать частицы вдребезги довольно весело.

Самое важное в подобных экспериментах — энергия. Чем сильнее вы разгоните частицы перед столкновением, тем более высокой энергии достигнете и тем больший диапазон новых аспектов физики будет вам доступен. Энергия столкновения напоминает некое платежное средство, которое можно обменять на массу частицы по курсу $E = mc^2$. Если полная энергия столкновения превышает эквивалентную массу частицы, какую вы пытаетесь создать, то у вас есть шанс добиться успеха при условии, что ваша теория допускает какое-либо взаимодействие между этой частицей и теми, которые вы сталкиваете. Расширения Стандартной модели, как правило, предусматривают гораздо более тяжелые частицы по сравнению с обнаруженными до сих пор, а это значит, что нам нужно достичь более высоких энергий, чтобы их найти. Однако даже если вам удастся достичь нужного уровня, для получения статистически значимого результата вам потребуется создать несколько частиц. Большой адронный коллайдер работал годами, сталкивая бесчисленные триллионы* протонов и собирая необходимое количество данных, чтобы ученые могли с достаточной уверенностью объявить об обнаружении бозона Хиггса.

* Вероятно, около 10^{15} , просто мне не нравится слово «квадриллион».

Именно из-за этой постоянной гонки ЦЕРН приобрел зловещую репутацию экзистенциальной угрозы. Принято считать, что если человечество еще никогда не достигало такого уровня энергии, сконцентрированной в одном месте, то никто не знает, что может произойти. К основным опасениям относятся те тревожные сценарии, которые мы обсуждали в предыдущих главах, например образование маленьких черных дыр или катастрофический распад вакуума. К счастью, мы можем не тревожиться по поводу описанных до сих пор сценариев просто потому, что уровни энергии, достижимые на ускорителе БАК, совершенно не сопоставимы с теми, которые характерны для столкновений частиц во Вселенной. Однако некоторых особо впечатлительных и далеких от физики людей очень сложно успокоить, несмотря на то что БАК работает, не нанося никакого вреда, уже более десяти лет. На момент моего посещения ЦЕРНа в феврале 2019 года интернет-шутки о том, как БАК открывает портал в другое измерение или переводит Вселенную на «плохие рельсы», были все еще широко распространены.

Сам по себе кампус ЦЕРН ничем не примечателен. Выйдя из сверкающего вестибюля общественной приемной, вы попадете на территорию промышленного предприятия, заполненную множеством невысоких однотипных зданий 1960-х годов с темными металлическими ставнями на окнах. Каждое пронумерованное здание занято лабораторией или исследовательской группой, двери офисов снабжены временными бумажными табличками с именами постоянно меняющихся научных сотрудников. Во всем кампусе едва ли наберется более ста постоянных сотрудников ЦЕРН. Помимо них в лабораториях и офисах центра

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

работают тысячи исследователей со всего мира, проводящих там от недели до нескольких лет в рамках реализации масштабных экспериментов. Проходя по длинным тускло освещенным коридорам, вы можете подумать, что находитесь не в самом известном из мировых экспериментальных центров, а в здании физического факультета обычного университета и наблюдаете, как аспиранты и докторанты набирают какой-то текст в своих ноутбуках или записывают на досках уравнения и рабочие графики.

Однако эта иллюзия нормальности быстро рушится, как только вы узнаете, какие именно эксперименты они проводят.

В ходе своего визита в ЦЕРН я испытала на себе обе крайности этой организации. В некоторые дни я спокойно изучала работы в светлом офисе на втором этаже в отделе теоретической физики, время от времени выходя в кафетерий, чтобы набросать уравнения и поговорить с другими теоретиками о распаде вакуума и моих собственных исследованиях темной материи. В другие дни я надевала каску и спускалась на 100 метров под землю, чтобы посмотреть на 25-метровый цилиндр, заполненный невообразимо сложными инструментами. Экспериментальные установки ЦЕРН относятся к самым совершенным и точным машинам, когда-либо созданным людьми. На протяжении нескольких десятилетий тысячи специалистов занимались их проектированием и сборкой, чтобы однажды суметь выявить крошечные изменения в движениях и энергиях частиц, распадающихся за считанные микросекунды. Между тем теоретики с помощью сложнейших

уравнений пытаются понять, что говорят результаты экспериментов о природе космоса. Это безумное место.

В то же время оно чрезвычайно забюрократизированно. Институт работает в соответствии с международными договорами, управляется коалицией из 23 стран и принимает исследователей из всех уголков планеты. Столь широкое сотрудничество обусловлено масштабом и уровнем затрат, однако организационная структура ЦЕРН такова, что будущее центра и любых новых экспериментов зависит не только от научных соображений, но и от международной политики. Во время моего визита самой обсуждаемой темой в кафетерии был не очередной захватывающий результат эксперимента, а серия газетных статей, посвященных возможному созданию так называемого Будущего кольцевого коллайдера (FCC, Future Circular Collider), огромного ускорителя частиц, для которого 27-километровый БАК будет выступать в качестве предварительного ускорителя, разгоняющего протоны до нужной скорости, прежде чем они начнут циркулировать в кольце FCC. Энергия в ускорителе FCC будет достигать 100 ТэВ, что примерно на порядок выше того уровня, которого можно достичь с помощью БАК.

Как сказала мне Фрейя Блэкман во время моего визита, на подготовку этих экспериментов требуются десятилетия, и столько же времени может уйти на анализ результатов текущих экспериментов, так что обсуждение дальнейшего направления исследований нужно начинать уже сейчас. Полный анализ данных, которые мы уже получаем с помощью БАК, займет еще лет десять или даже пятнадцать. «Так что пришло время решать, — говорит

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

Блэкман. — Какой коллайдер нам нужен? Электрон-позитронный? Линейный или круговой? Каковы преимущества и недостатки каждого из них? Хотим ли мы сразу перейти к более мощной протон-протонной установке?»

Споры по поводу будущих коллайдеров, особенно такого амбициозного проекта, как FCC, могут быть довольно жаркими. Даже если забыть о стоимости (которая составляет как минимум 10 миллиардов евро), неизвестно, удастся ли с помощью более крупного коллайдера обнаружить новые частицы. Вполне возможно, что неуловимая «новая физика», которую мы ищем, проявляется на таких высоких уровнях энергии, каких нельзя достичь даже на гигантских установках вроде FCC. А может быть и так, что погоня за увеличением энергии направляет нас по неверному пути, а подсказки о том, где искать новую физику, содержатся в уже собранных данных.

Исследователи, с которыми я разговаривала в ЦЕРН, были абсолютно уверены, что увеличение энергии необходимо для продвижения вперед, даже если речь идет о более полном понимании Стандартной модели. Однако это, в конце концов, грозит распадом вакуума. Если дамоклову мечу суждено висеть над нашими головами, неплохо было бы знать, чем он там занят.

Андре Дэвид, исследователь, работающий с БАК, и участник коллаборации CMS (Compact Muon Solenoid, компактный мюонный соленоид), который показал мне детектор во время моего посещения ЦЕРН, отметил, что именно для ответа на этот вопрос и реализуются проекты наподобие

ФСС. «Одна из причин, по которой люди говорят: “Нам нужен коллайдер на 100 ТэВ”, заключается в том, что тогда у нас будет реальный шанс разобраться с этой штукой».

По словам Дэвида, перед нами стоит вопрос природы поля Хиггса и его (а также нашей) дальнейшей судьбы. Анализ уже собранных данных может способствовать более глубокому пониманию природы поля Хиггса, но с помощью нового коллайдера мы могли бы наконец ответить на вопрос о том, что в действительности означает эта нестабильность, которая угрожает нам распадом вакуума.

Как вы помните из главы 6, потенциал поля Хиггса — это математическая структура, которая определяет эволюцию данного поля и, что особенно важно для нас, его способность нас погубить. В некотором смысле он представляет собой святой Грааль для специалистов по физике элементарных частиц. Однако современные теории мало что могут рассказать нам о форме этого потенциала. Судя по имеющимся у нас данным, на его форму влияют несколько различных трудно вычисляемых аспектов Стандартной модели, а в случае существования теории с более высокими уровнями энергии картина может полностью измениться.

Некоторые исследователи, с кем я беседовала, включая теоретика ЦЕРН (и главного апологета суперсимметрии) Джона Эллиса, считают, что кажущаяся нестабильность поля Хиггса на самом деле представляет собой не экзистенциальную угрозу, а скорее признак того, что мы чего-то не понимаем в существующей теории.

Хосе Рамон Эспиноза, теоретик, изучающий распад вакуума, надеется разобраться с потенциалом поля Хиггса и с тем ненадежным положением, в котором мы находимся, не дожидаясь появления пузыря истинного вакуума*. «Нет никаких причин для того, чтобы потенциал поля был именно таким, — заявил он. — Мы живем в совершенно особенном месте. Лично мне все это кажется довольно интригующим; может быть, оно пытается нам что-то сказать». Ключ к пониманию потенциала Хиггса в итоге зависит от так называемых бегущих констант связи — параметров, определяющих силу взаимодействия частиц или полей и то, как они изменяются при увеличении энергии столкновений. «Это будет одним из главных посланий БАК, если мы не найдем ничего другого, — сказал Эспиноза. — Разумеется, если БАК позволит обнаружить новую физику, она, скорее всего, будет противоречить бегущим константам связи. Тогда может случиться все что угодно. Потенциал может быть стабильным, а может оказаться еще более нестабильным, чем мы думаем».

Благодаря лучшему пониманию поля Хиггса мы можем не только предсказать судьбу космоса, но и выяснить, как работает масса и почему сила фундаментальных взаимодействий имеет именно ту величину, которую мы измеряем. Кроме того, это может указать нам путь к теории, объединяющей все взаимодействия, или помочь нам разобраться с квантовой гравитацией.

* Эспиноза подчеркнул, что такой подход является особенно нежелательным и «ничему не сможет нас научить просто потому, что мы даже не заметим его появления».

Было бы здорово, если бы результаты наблюдений или экспериментов подсказали путь к улучшению модели Лямбда-CDM или Стандартной модели. Потому что с чисто теоретической точки зрения дела обстоят очень и очень странно.

СКВОЗЬ ТУСКЛОЕ СТЕКЛО

Недавно я наткнулась на старую черно-белую фотографию Поля Дирака, нобелевского лауреата и одного из создателей квантовой механики, на которой он изображен стоящим с топором на плече на территории института перспективных исследований в Принстоне. Во время своих многочисленных визитов туда в период с 1930-х по 1970-е годы он бродил по лесу позади института, расчищая новые пути, по которым могли бы гулять теоретики, обсуждая и обдумывая природу реальности. Меня по этим тропам водил Нима Аркани-Хамед, теоретик, вознамерившийся разнести в щепки наше современное понимание квантовой механики и самого пространства-времени.

Аркани-Хамед разрабатывает метод расчета взаимодействия между частицами, используя совершенно новый подход, основанный на абстрактной математике и не учитывающий пространство и время. Эта работа все еще находится на ранней стадии и пока применяется к определенным идеализированным системам, а не к результатам экспериментов. Однако если у него получится, последствия будут потрясающими. «Пока все, что мы видим, — это просто детские игрушки, верно? Я пойму, если вы не воспримете

всерьез то, что было достигнуто до сих пор, — сказал он. — Однако уже начали вырисовываться примеры конкретных физических систем, похожих на те, что мы видим в реальном мире, которые можно описать без всякого пространства-времени или квантовой механики». Когда я ответила, что с трудом могу себе представить существование во Вселенной, где пространство и время не являются чем-то реальным, он рассмеялся: «Добро пожаловать в наш клуб».

Прежде чем вы отбросите эту идею как преувеличение эксцентричного теоретика, я должна отметить, что в таком ключе думает не только Аркани-Хамед. «Я уверен, что вы слышали это от многих людей, — сказал мне Клиффорд Джонсон несколько месяцев спустя, — я думаю, что мы всё лучше понимаем одну из идей, о которой долго говорили в рамках теории струн, — то, что пространство-время не является чем-то фундаментальным».

А, эту мелочь. Ну да, разумеется.

Джонсон подходит к вопросу несколько иначе. В теориях квантовой гравитации есть интригующие намеки на неожиданные связи между физикой, действующей в малых и больших масштабах, которые не имеют смысла в рамках нашего привычного понимания пространства-времени. Упрощенно это можно объяснить так: если вы представите, что проводите некие эксперименты в гипотетическом пространстве с радиусом R , то их результаты будут в точности совпадать с результатами таких же экспериментов, проведенных в гораздо меньшем пространстве с радиусом равным $1/R$. В теории струн это называется

Т-дуальностью, и такое странное совпадение должно сообщить нам что-то важное. «Если вы спросите коллег, — сказал Джонсон, — они ответят, что в некотором роде ничего из этого не является реальным. В том смысле, что, подрывая понятия большого и малого, вы, по сути, подрываете понятие самого пространства-времени».

Некоторые теоретики пытались меня успокоить. Шон Кэрролл, космолог из Калифорнийского технологического института, который в настоящее время занимается основами квантовой механики, считает, что мы поторопились, исключив пространство-время из списка реальных вещей. «Оно реально, но не фундаментально, — сказал он. — Так же, как вот этот стол реален, но не фундаментален. Это просто более высокий уровень эмерджентного описания и не значит, что нечто не является реальным». Вообще, нам не следует слишком сильно заикливаться на этом, поскольку речь не идет о том, что пространства-времени не существует. Просто если бы мы действительно поняли, из чего оно состоит, то на более глубоком уровне оно выглядело бы как нечто совершенно иное.

Но меня это не успокоило*. Как физик я всегда стараюсь бесстрастно подходить к своему предмету, однако при мысли о том, что пространство-время реально лишь в том смысле,

* Шон Кэрролл еще сказал мне, что, если его интерпретация квантовой механики верна, то в параллельных Вселенных существует множество копий нас с вами, которые прямо сейчас подвергаются последствиям распада вакуума. Так что к этому человеку, наверное, все-таки не стоит обращаться за помощью в преодолении экзистенциального кризиса.

ГЛАВА 8. БУДУЩЕЕ БУДУЩЕГО

что о нем можно говорить и на нем можно сидеть, но оно не является основой Вселенной, мне начинает казаться, что оно в любой момент может просто исчезнуть подо мной.

Вопрос о том, какое отношение это имеет к возможному концу Вселенной, остается открытым. Каким бы реальным или нереальным ни было пространство-время, мы живем в нем, и то, что с ним происходит, не может не затронуть нас. Однако если размышления об эмерджентном пространстве-времени или новых формулировках квантовой механики приведут нас к более глубокой фундаментальной теории, это может радикально изменить наше мировоззрение. Возможно, как считает Джонсон, связи между большими и малыми масштабами действительно предполагают совершенно иную судьбу космоса. Может быть, если бы мы пересмотрели квантовую механику, то, наконец, сумели бы объяснить темную энергию. Даже если мы остановимся на космологической постоянной и неминуемой тепловой смерти, согласно Аркани-Хамеду, нам все равно потребуется серьезно пересмотреть теорию, чтобы иметь возможность рассуждать о том, на что способны квантовые флуктуации с точки зрения бальцмановского мозга или теоремы Пуанкаре о возвращении. «На мой взгляд, очень маловероятно, что все это может быть осмыслено и объяснено в рамках квантовой механики, — сказал он. — Я думаю, что нам требуется некоторое расширение квантовой механики для того, чтобы говорить об этом».

Вопрос о том, в какой степени природа Вселенной в принципе объяснима, тоже остается открытым. На протяжении

последнего десятилетия физики пытались разобраться с концепцией ландшафта — гипотетической мультивселенной, состоящей из различных параллельных Вселенных, условия в которых радикально отличаются от наших. Если такой ландшафт действительно существует, это может означать, что свойства пространства, в котором мы живем, являются исключительно вопросом экологии, а не заданы каким-то глубоким, пока не известным нам принципом. Такой вид мультивселенной предусматривается в некоторых версиях теории инфляции, допускающих постоянное возникновение новых пузырьковых Вселенных в извечном пространстве. «Идея о том, что наш мир является уникальным решением, представляется мне ошибочной, — говорит Аркани-Хамед. — Но, с другой стороны, когда вы пытаетесь осмыслить концепцию ландшафта и вечной инфляции, вы попадаете в такое болото, что сама постановка проблемы начинает казаться неправильной». Даже если допустить существование множества Вселенных, главная проблема никуда не исчезнет. «Вопросы применимости квантовой механики к космологии возникли почти с самого начала. В них нет ничего нового. Они казались очень сложными пятьдесят лет назад; они остаются таковыми и сегодня».

«Я уверен, что нам следует просто вернуться тем же путем, — считает Нил Турок, физик-теоретик и космолог, изучающий альтернативы теории космической инфляции, который много лет руководил институтом теоретической физики “Периметр” в Канаде. — Нам нужно отмотать назад пятьдесят лет и сказать: “Ребята, мы строим замки из песка”».

ДОЛГОСРОЧНАЯ ПЕРСПЕКТИВА

В астробиологии существует знаменитое уравнение Дрейка, предназначенное для определения числа цивилизаций в нашей галактике, с которыми мы можем вступить в контакт. Все, что вам нужно сделать, это подставить в него количество звезд, долю звезд, обладающих планетами, количество планет с подходящими условиями для зарождения жизни, вероятность возникновения разумных форм жизни и т. д. В конце вы получите количество сообщений своей межзвездной голосовой почты, на которое вы можете рассчитывать. Разумеется, большую часть коэффициентов определить невозможно, по крайней мере, на основании имеющихся у нас данных, так что результат расчета пока не имеет смысла. Уравнение Дрейка полезно тем, что оно заставляет нас задуматься о своих предположениях относительно внеземной жизни, чтобы определить границы нашего понимания этого вопроса.

В ходе разговора с Хираньей Пейрис я подумала о том, что с вопросом о конце Вселенной дела обстоят примерно так же. Я предположила, что в данном случае значение имеет не результат расчета, а сам процесс вычисления. «Итоговое число и правда не важно, — согласилась она, — но само обдумывание различных вариантов, по-моему, вполне полезно». И такой мысленный эксперимент в итоге может окупиться. «Благодаря этому мы можем найти отличный способ проверки гипотез, который не потребует

КОНЕЦ ВСЕГО

ожидания результатов на протяжении семи миллиардов лет».

Как долго нам ждать этого прорыва? Мы не знаем (и не можем знать). В настоящее время мы исследуем самый край карты. Клиффорд Джонсон уверен, что мы движемся к лучшему, более глубокому пониманию физики, но и он признает, что все не так просто. «Может случиться так, что мы потратим пару сотен лет на сбор данных, а потом поймем, что ответ находился у нас под носом все это время. Это будет очень досадно. Однако, учитывая важность вопросов, которыми мы занимаемся, это не проблема. Кто сказал, что на них необходимо ответить в течение одной человеческой жизни?»

Итак, мы продолжаем прокладывать новые пути через лес, чтобы посмотреть, что там скрывается. Когда-нибудь в далеком будущем Солнце расширится, Земля погибнет, и сам космос придет к своему концу. А пока мы можем исследовать Вселенную, применяя все свои творческие способности для поиска новых способов познания нашего космического дома. Мы можем учиться, создавать необычайные вещи и делиться ими друг с другом. И до тех пор, пока мы остаемся мыслящими существами, мы не перестанем задаваться вопросом: «А что же дальше?»

ГЛАВА 9

ЭПИЛОГ

«Но если нет гарантии, что результаты наших действий сохранятся надолго, если даже лучшие наши жесты имеют лишь малый шанс пережить нас самих, есть ли хоть одна причина не сдаваться?»

«Для этого есть множество причин, — сказал Радд. — Мы здесь, и мы живы. В этот прекрасный вечер последнего идеального летнего дня».

Аластер Рейнольдс, «Звездный лед»

Мартин Рис не возводит никаких соборов.

Солнечным июньским утром во время нашего разговора, состоявшегося в его офисе в институте астрономии Кембриджского университета, он сказал мне, что о человечестве, каким мы его знаем, вскоре никто и не вспомнит. «В Средние века строители соборов с радостью создавали то, что должно было их пережить, поскольку верили, что их внуки это оценят и проживут жизнь так же, как они. Я не думаю,

что мы можем сказать о себе то же самое». Рис привык размышлять о далеком будущем, — он написал несколько книг о будущем человечества и различных способах, как оно может обречь себя на гибель. По словам Риса, культурная и технологическая эволюция так стремительно ускоряется, что мы не можем предсказать, каким станет разум в ближайшие несколько сотен или тысяч лет. Однако мы можем быть уверены, что в любом случае ему не будет до нас никакого дела. «По-моему, сегодня оставить наследие на сто лет вперед гораздо сложнее, чем раньше», — сказал Рис.

«Вас это расстраивает?» — спросила я.

«Это меня очень огорчает. Однако мир вовсе не обязан нам нравиться».

Невозможно серьезно размышлять над концом Вселенной, не примирившись с тем, что это значит для человечества. Даже если вам кажется, что Рис придерживается слишком пессимистичной позиции, любая временная шкала предусматривает момент, в который наследие нашего вида просто... исчезает. Какую бы рационализацию, основанную на наследии, мы ни использовали для примирения с собственной смертью (кто-то вырастил детей, кто-то совершил великие дела или каким-то образом сделал мир лучше), ничто из этого не сможет пережить конец Вселенной. В какой-то момент в космическом смысле само наше существование перестанет иметь значение. Скорее всего, Вселенная рано или поздно превратится в холодный, темный и пустой космос, и все, что мы сделали, будет полностью забыто. Что это означает для нас сейчас?

Хиранья Пейрис резюмировала одним словом: «грустно».

«Это очень удручает, — призналась она. — Я не знаю, что еще сказать по этому поводу. Когда я говорю о возможном конце Вселенной в ходе своих лекций, некоторые люди начинают плакать».

Это заставляет смотреть на вещи в перспективе. «По-моему, очень интригующе, что история Вселенной включает в себя столь интересный и насыщенный событиями период, — сказала Пейрис. — И все же, судя по всему, нам предстоит провести гораздо более длительное время в кромешной тьме и холоде. Это ужасно. Если смотреть с такой точки зрения, то нам очень повезло оказаться на том этапе развития космологии, когда мы впервые открываем все эти вещи».

«На мгновение мне тоже становится грустно, — согласился Эндрю Понцен. — Но затем я вспоминаю о наших текущих трудностях здесь, на Земле, и думаю: “Да бросьте”. У нас есть гораздо более серьезные проблемы, чем возможная тепловая смерть Вселенной. Это заставляет меня задуматься о более краткосрочных проблемах нашей цивилизации. Если я и буду о чем-то беспокоиться, то о них, а не о тепловой смерти».

«Видимо, смерть Вселенной просто не затрагивает меня эмоционально, — продолжает Понцен, — чего нельзя сказать о гибели Земли. Я не против умереть лет через пятьдесят, но я не хочу, чтобы через пятьдесят лет погибла Земля».

Мне очень близка такая точка зрения. Тепловая смерть, распад вакуума, Большой разрыв или что-то в этом роде находятся далеко не в самом начале списка вещей, о которых нам следует беспокоиться (даже если оставить в стороне тот факт, что мы в принципе бессильны их предотвратить). Как живым существам нам свойственно в первую очередь заботиться о собственной жизни и о жизни тех, кто близок нам с пространственно-временной точки зрения, поэтому мы в основном не задумываемся об отдаленном будущем космоса.

Но лично для меня в некотором эмоциональном смысле существует большая разница между «нам суждено жить вечно» и «нам суждено умереть». Нима Аркани-Хамед чувствует то же самое: «На самом глубоком уровне... вне зависимости от того, задумываются люди об этом или нет (и если не задумываются, то обкрадывают сами себя)... если в жизни и есть цель, то лично я не знаю такой, которая не была бы связана с чем-то, выходящим за пределы нашего короткого существования. Я думаю, что многие люди на каком-то уровне — опять же, явно или неявно — начинают заниматься наукой, искусством или чем-то подобным именно из-за ощущения величия и прикосновения к чему-то вечному. Слово "вечное" в данном случае бесконечно важно».

Фримен Дайсон надеялся найти возможность навсегда сохранить разумную жизнь. В своей статье 1979 года он предложил способ обеспечения бесконечного существования разумной машины за счет постепенного замедления процесса работы и периодического переключения в режим гибернации. К сожалению, его вычисления были

основаны на предположении о том, что расширение Вселенной происходит с постоянной скоростью, а теперь мы знаем, что это не так. Если ускорение будет продолжаться, план Дайсона не сработает. «Тогда я расстроился бы, — признался он. — Но я считаю, что нам следует принимать то, что дает природа. Как и факт конечности нашей жизни. Это не так уж трагично. Во многих отношениях это делает Вселенную еще более интересной. Она постоянно меняется. Но, возможно, и сама Вселенная когда-нибудь прекратит свое существование. Разумеется, я предпочел бы, чтобы эволюция продолжалась вечно».

Кто знает? Может быть, в некотором смысле так оно и есть. Роджер Пенроуз допускает более радостный вариант. На протяжении последних лет десяти он развивал свою модель под названием «Конформная циклическая космология», согласно которой Вселенная снова и снова переходит от Большого взрыва к тепловой смерти. Кроме того, эта модель допускает возможность сохранения части информации при переходе с одного цикла на другой. По его словам, представление о том, что эта информация может поведать что-либо о разумных обитателях предыдущих Вселенных, все еще остается лишь спекуляцией, но последствия этой возможности могли бы оказаться очень глубокими. «Я не говорю, что верю в это, но в некотором смысле идея о возможном сохранении наследия после смерти кажется мне менее удручающей».

Нас также может немного успокоить вероятность существования мультивселенной. Джонатан Притчард, космолог из Имперского колледжа в Лондоне, которому довелось

поработать над множеством тем, начиная с космической инфляции и заканчивая эволюцией галактик, надеется, что в какой-то далекой и не связанной с нами области Вселенной что-то просуществует еще долго после того, как мы превратимся в бесполезное тепловое излучение. «Где-то там есть мультивселенная, где все время что-то происходит, — сказал он. — Мне нравится эта идея».

«Но мы-то все равно умрем», — заметила я.

«Речь идет не только о нас», — невозмутимо ответил он.

Если нам самим и не суждено присоединиться к вечному празднику мультивселенной, наша приближающаяся смерть, по крайней мере, может оказаться полезной для физики. По мнению Нила Турока, перспектива конца времен в сочетании с существованием нашего космического горизонта задает для Вселенной жесткие границы и, таким образом, облегчает задачу ее понимания. Световая волна, распространяющаяся в ограниченной, расширяющейся с ускорением Вселенной, может претерпеть лишь ограниченное количество колебаний даже в бесконечном будущем. «Мы живем, по сути, в коробке, верно? И она конечна. Если это так, я думаю, нам следует порадоваться, поскольку тогда ее можно изучить. Проблема понимания Вселенной станет гораздо более простой, если Вселенная окажется конечной, — сказал он. — Конечной с точки зрения прошлого, конечной в пространстве благодаря горизонту, конечной с точки зрения будущего, потому что для всего предусмотрено конечное число колебаний. Вот это да! Тогда Вселенная окажется познаваемой. Я по натуре оптимист, но, по-моему, мир — это наша устрица».

ГЛАВА 9. ЭПИЛОГ

Если Вселенной, так или иначе, суждено прийти к концу, я думаю, нам следует с этим смириться. Педро Феррейра тоже так считает. «Я думаю, это здорово, — сказал он. — Так просто и так чисто».

«Я никогда не понимал, почему люди так расстраиваются по поводу конца, смерти Солнца и всего остального, — продолжил он. — Лично мне нравится безмятежность, заключенная в этой идее».

«Значит, вас не беспокоит, что в итоге от нашего наследия во Вселенной ничего не останется?» — спросила я.

«Ничуть, — ответил он. — Мне очень нравится наша недолговечность... И всегда нравилась. Эта мимолетность всех вещей. Это действие. Этот процесс. Это путешествие. Кого волнует его финал?»

И все же меня не покидает тревога. Я пытаюсь не заикливаться на этом, на конце всего, на последней странице, на окончании великого эксперимента существования. Это путешествие, повторяю я себе. Это путешествие.

Вероятно, можно немного утешиться тем, что, как бы там ни было, это не наша вина. Рене Гложек считает это несомненным плюсом.

«Мне нравится тот факт, что моя работа, даже если я делаю ее на все сто процентов и являюсь выдающимся ученым, ничего не меняет в судьбе Вселенной, — сказала Гложек. — Все, что мы пытаемся сделать, — это понять ее. И даже если мы поймем Вселенную, мы ничего не сможем

КОНЕЦ ВСЕГО

сделать, чтобы ее изменить. Мысль об этом скорее освобождает, чем пугает».

Для Гложек тепловая смерть не является чем-то гнетущим или скучным. Она называет ее «холодной и красивой». По ее словам, при этом Вселенная как бы разбирается сама с собой.

«Я надеюсь, прочитав вашу книгу, люди поймут, что, наблюдая за светом — и (или) гравитационными волнами, однако давайте пока ограничимся светом, — и используя относительно простую математику, человеческий разум способен делать невероятные выводы об устройстве Вселенной, — добавила Гложек. — И пусть мы не можем ничего изменить, это знание... даже если оно однажды исчезнет, а все люди умрут, это знание прямо сейчас имеет огромное значение. Именно поэтому я и занимаюсь тем, чем занимаюсь».

Думаю, я понимаю, что она имеет в виду. Хотела бы я раскрыть секреты Вселенной, даже если бы не могла поделиться этими знаниями или сохранить их? Безусловно. Это кажется достаточно важным. «У всего этого есть какая-то цель, даже если, в конце концов, все будет потеряно».

«Потому что это влияет на то, кем вы являетесь прямо сейчас, верно? — согласилась она. — Я рада, что мы живем в такую эпоху, когда можем наблюдать за темной энергией и при этом не быть разорванными ею на части. Весь смысл в том, чтобы понять это, затем насладиться этим, а потом... "Всего хорошего, и спасибо за рыбу!" Круто».

Круто.

БЛАГОДАРНОСТИ

Я никогда не думала, что однажды напишу книгу, и не справилась бы с этой задачей без помощи огромного количества людей. Я попробую перечислить здесь лишь некоторых из моих многочисленных друзей и коллег, которые на протяжении последних нескольких лет поддерживали меня и давали ценные советы. Если вы один из этих людей, вне зависимости от того, указано здесь ваше имя или нет, примите мою благодарность за все, что вы сделали, и знайте, что эта книга отчасти является и вашей. (Надеюсь, она вам понравилась!)

В самом начале у меня была лишь смутная идея написать на бумаге несколько слов и надеяться, что кто-нибудь их в конце концов прочитает. К счастью, на протяжении всего процесса меня ободрял и сопровождал мой замечательный, терпеливый и профессиональный литературный агент Молли Глик, а также целая команда настоящих энтузиастов из издательства Scribner. Я особенно благодарна Дэниелу Лёделу за его отзывы и поправки, которые позволили существенно улучшить рукопись, а также Нэн Грэм за то, что она поверила в мою способность написать эту книгу. Я хочу сказать спасибо Саре Голдберг, Розалин

Махортер, Эбигейл Новак и Зои Коул из издательства Scribner, а также Касиане Ионите, Этти Иствуд и Дахмикке Райт из издательства Penguin UK, которые на протяжении последних нескольких месяцев неустанно трудились над тем, чтобы выпустить эту книгу в мир. Я благодарна Нику Джеймсу за прекрасные иллюстрации на ее страницах, а также Лорел Тилтон и Ане Габеле за организационную поддержку.

Одной из самых больших радостей в процессе работы над книгой была возможность поговорить о науке с огромным количеством удивительных физиков и астрономов, повлиявших на мое понимание космоса. За ответы на мои многочисленные вопросы я благодарна Энди Альбрехту, Ниме Аркани-Хамеду, Фрейе Блэкман, Шону Кэрроллу, Андре Дэвиду, Фримену Дайсону, Ричарду Истеру, Хосе Рамону Эспинозе, Педро Феррейре, Стивену Граттону, Рене Гложек, Эндрю Джаффе, Клиффорду В. Джонсону, Хиранье Пейрис, Стерл Финни, Роджеру Пенроузу, Эндрю Понцену, Джонатану Притчарду, Мередит Роулс, Мартину Рису, Блейку Шервину, Полу Стейнхардту, Андрее Тамм и Нилу Туроку. За чтение отдельных глав и чрезвычайно полезную обратную связь я очень признательна некоторым из вышеперечисленных людей, а также Адаму Беккеру, Лэтану Бойлу, Себастьяну Каррассу, Бранду Фортнеру, Ханналор Герлинг-Дансмор, Саре Кендрию, Тоду Лауэру, Вейкангу Лину, Роберту Макнису, Тоби Опферкуху и Рабель Риберио. Содержащиеся в рукописи ошибки (а я уверена, что их там немало) остались там из-за моей неспособности вложить в страницы всю коллективную мудрость вышеперечисленных людей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Несмотря на то что основная нагрузка, связанная с ответами на мои технические вопросы, легла на физиков, эти два года я бесконечно приставала почти ко всем, кого знаю, с вопросами, просьбами прочесть черновик, дать совет, а также донимала своим беспокойством по поводу всего, что касалось моей книги. Я глубоко признательна своим друзьям и членам семьи за их терпение, а также всем знакомым писателям, которые поделились со мной опытом. Я благодарю своих близких (особенно маму и сестру Дженнифер) за то, что они поддерживали меня на протяжении всей жизни, а также за то, что позволяли мне заполнять все наши семейные встречи беседами о науке и книгах. Я благодарю Мэри Робинетт Ковал за советы и идеи для заголовков; Дорон Вебер за поддержку моего начинания. Я также благодарю Дэниела Абрахама, Дина Бернетта, Монику Бирн, Брайана Кокса, Хелен Черски, Кори Доктороу, Брайана Фитцпатрика, Тай Франк, Лизу Гроссман, Робина Инса, Эмили Лакдавалла, Зею Мерали, Розмари Моско, Рэндалла Манро, Дженнифер Уэльет, Сару Паркак, Филадельфа, Джона Скальци, Терри Вёртса, Энн Уитон и Уила Уитона за чрезвычайно полезные советы по написанию книг; Шарлотту Мур, Брайану Малоу и группу LA Nerd Brigade за бесконечную поддержку и участие в обсуждении идей; а также Эндрю Хозье-Бирна за вдохновение и потрясающий саундтрек.

Как профессор, работающий по временному контракту, я не осмелилась бы даже начать этот проект без поддержки университета штата Северная Каролина, чья инновационная программа Leadership in Public Science Cluster («Лидерство в области формирования общественной

КОНЕЦ ВСЕГО

научной грамотности») позволила мне проложить академический путь, предусматривающий некоторое пространство для налаживания связи с общественностью. Физический факультет и Колледж наук оказали мне огромную поддержку и помогли сбалансировать роли автора, исследователя, наставника и преподавателя.

В ходе проведения исследований для книги мне довелось посетить ряд учреждений, побеседовать с коллегами-физиками и посмотреть на ведущуюся в этой области работу под другим углом. Я особенно благодарна сотрудникам ЦЕРН, института перспективных исследований, института теоретической физики «Периметр», физического центра Аспена, имперского колледжа Лондона, университетского колледжа Лондона, института космологии им. Кавли в Кембридже и Оксфордского института Бикрофта за их гостеприимство.

И, наконец, я выражаю особую благодарность замечательному персоналу кофейни Jubala Coffee на улице Хиллборо, в которой была написана большая часть этой рукописи. Я просто в восторге от вашего зеленого чая и овсянки.

ОБ АВТОРЕ

Кэти Мак специалист по теоретической астрофизике и занимается исследованием ряда вопросов в области космологии — науки, изучающей историю Вселенной. В настоящее время она занимает должность доцента кафедры физики в университете штата Северная Каролина, а также участвует в программе Leadership in Public Science Cluster («Лидерство в области формирования общественной научной грамотности»). Помимо научных исследований, Кэти Мак активно пишет статьи, которые публикуются в таких журналах, как *Scientific American*, *Slate*, *Sky&Telescope*, *Time* и *Cosmos Magazine*, где она является обозревателем. Ее можно найти в Твиттере под ником @AstroKatie.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- В**ISER2, эксперимент 239
- Т**-дуальность 277
- U(1)**-теория 194
- Абсолютно черное тело**
излучение 45
- Агирре, Энтони 140
- Адрон 65
- Азот 69
- Альбрехт, Андреас 141
- Андромеды, галактика 75, 90,
125
- Аннигиляция 66
- Антиматерия 65, 225
- Антинейтрино 127
- Аресибо, обсерватория 41
- Аристотель 13
- Астробиология 281
- Атомное ядро 67
- Балк** 229
- Бегущая константа связи 275
- Безмассовая частица 196
- Бекенштейн, Джейкоб 131
- Белый карлик 168, 171
- Бериллий 68
- Берк, Бернард 41
- Благородный газ 192
- Блэкман, Фрейя 255, 272
- Бовуар, Симона де 13
- Бойл, Лэтам 245
- Больцмановский мозг 143
- Большие дополнительные
измерения 228
- Большое сжатие 25, 75, 87, 89,
106, 114, 179
- Большой адронный коллайдер
(БАК) 66, 181, 268
- Большой взрыв 23, 88, 103
горячий 37, 70, 182, 212
излучение 38
наблюдение 35
открытие 14
подтверждение теории 68
послесвечение 92
- Большой обзорный телескоп 260
- Большой отскок 219
- Большой разрыв 147, 157, 179
- Брана 228
- Брукхейвенская национальная
лаборатория 184
- Будущий кольцевой коллайдер
272
- Вагнер, Уолтер** 181
- Вакуум**
истинный 201, 203
ложный 201
метастабильный 200
распад 181, 187, 267
Хиггса 197

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Вакуумное состояние 197
Венера 10, 169
Верхний кварк 183
Взаимная корреляция 263
Вильсон, Роберт 38
 Нобелевская премия 43
Виртуальные частицы 113, 133
Водород 34, 67, 168
Вселенная
 бесконечная 36
 возраст 29
 вторичный нагрев 64
 геометрия 105
 гипотетическая 22
 де Ситтера 144
 замкнутая 106
 изолированная система 129
 история 25
 коллапсирующая 94
 наблюдаемая 35, 42
 начало 10
 неизбежная гибель 17
 открытая 107
 параллельная 36
 плоская 106
 после тепловой смерти 140
 пузырьковая 250
 расширение 77
 статичная 111
 сценарии гибели 24
 устойчивое состояние 14
 центр 78
 циклическая 95
 экспиротическая 231
Всемирного тяготения, закон 19
Вторая космическая скорость 88
Вторичный нагрев Вселенной 64
Второй закон термодинамики 129
Галактика 19, 23, 111
 неправильная 77
 скопление 98
 спиральная 97
 столкновение 75
 формирование 73
 цвет свечения 79
 ядро 94
Галоген 192
Гамма-излучение 66, 81
Гарвардская обсерватория 165
Гейзенберга, принцип
 неопределенности 62
Гелий 68, 168
Геометрия космоса 105
Гидростатическое равновесие 168
Гложек, Рене 263
Глюон 65, 190
Горизонт
 событий 131
 частиц 116
Горячий Большой взрыв 37, 70, 182
Гравитационная волна 219
 детектор 266
Гравитационного линзирования, эффект 98, 263
Гравитационный коллапс 48
Гравитационный колодец 72
Гравитация 55, 88, 103, 111
 квантование 224
 квантовая 223
 ньютоновская 226
 слабость 221
 утечка 228
 экстремальная 52
Гравитон 224
Градиент энергии 138
Грегори, Рут 211
Давление вырожденного электронного газа 171
Дайсон, Фримен 145, 248, 286
Дейтерий 67
Детектор частиц 97

КОНЕЦ ВСЕГО

- Джонсон, Клиффорд В. 257
Джонсон, Мэтью 140
Дике, Роберт 38
Дирак, Поль 276
Доплера, эффект 79
Доплеровское смещение 79
Дополнительные
 пространственные
 измерения 26, 214, 228
Дрейка, уравнение 281
Дэвид, Андре 273
- Европейская организация по
ядерным исследованиям
(ЦЕРН) 181, 268**
- Закон Хаббла 84**
Замкнутая Вселенная 106
Заряд 193
Звезда
 гибель 93
Звуковые волны 80
Земля 76
Зонд микроволновой
 анизотропии Уилкинсона
 (WMAP) 250
- Иджас, Анна 242**
Имперский колледж в Лондоне
 287
Институт астрономии
 Кембриджского
 университета 283
Институт перспективных
 исследований 248, 276
Инфлатонное поле 233
Искривление пространства 20,
 98
Истинный вакуум 201, 203
- Калибровочный бозон 253**
Калифорнийский
 технологический институт
 278
- Кальций 69
Кассиопея, созвездие 75
Квантовая интерференция 266
Квантовая механика 52
Квантовое туннелирование 200,
 207
 вероятность 209
Квантовой гравитации, теория
 53
Квантовые флуктуации 113
Квантовый пузырь 202
Кварк 64, 170
 ароматы (сорта) 183
 -глюонная плазма 65
Квинтэссенция 114
Кембриджский университет 173
Киббл, Том 41
Кислород 69
Колдуэлл, Роберт 155
Компактный мюонный соленоид
 273
Конец времен 11
Конформная циклическая
 космология 244
Коперника, принцип 31
Коперник, Николай 31
Космическая инфляция 58
Космический рассвет 71
Космический телескоп имени
 Джеймса Уэбба 261
Космическое микроволновое
 фоновое излучение 38, 43,
 92, 117
 карта 47
 красное смещение 119
 линзирование 262
 отклонения в плотности 47
 поляризация 239
Космолог 21
Космологическая постоянная
 109
 проблема 113

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Космологический принцип 30
Космология 18, 21
 и физика элементарных
 частиц 19
Коулман, Сидни 215
Красное смещение 81, 118
 высокое значение 86
 низкое значение 86
 нулевое 86
Красный гигант 76, 169
Кривая блеска 104
Критическая плотность 99
Кэрролл, Шон 140, 278
- Лаборатория Белла 38
Лазер 44
Лазерная локация Луны 162
Лазерно-интерферометрическая
 гравитационно-волновая
 обсерватория (LIGO) 219
Ландшафт 280
Лао-Цзы 13
Лед-девять 183
Леки, Энн 27
Леметр, Жорж 84
Лептон 253
Лестница расстояний 163
Ливитт, Генриетта Суон 165
Линейное время 27
Линзирование реликтового
 излучения 262
Литий 68
Ложный вакуум 201
Луна 19
 как детектор нейтрино 186
 лазерная локация 162
Лучча, Фрэнк Де 215
Лямбда-CDM, модель 251
- Магнетизм 56
Максимальная энтропия 135
Масса 193
Массивная частица 196
Материя 65, 225
 темная 23, 71, 97
Мегапарсек 176
Межгалактический газ 23
Мезон 65
Менделеев, Дмитрий 192
Меркурий 10, 19, 169
Местная группа галактик 77,
 125
Метастабильное состояние 200
Микроволнового излучения,
 детектор 38
Микроволны 39
Млечномеда 76
Млечный Путь 19, 32, 40, 125
 столкновение с Андромедой
 75
Модели 36
Мосс, Ян 211
Мультивселенная 280
- Наблюдаемая Вселенная 35, 42
Нарушение электрослабой
 симметрии 191
Нейтрино 170
 детектор 186
Нейтрон 20, 56, 67, 127, 170
Нейтронная звезда 231
Неправильная галактика 77
Нижний кварк 183
Ницше, Фридрих 12, 141
Ньютон, Исаак 19, 20
- Обзора, эффект 17
Обсерватория имени Веры Рубин
 260
Общая теория относительности
 19, 95, 220
 космологическая постоянная
 110
Оксфордский университет 256
Орбиталь 171, 192
Открытая вселенная 107
Отрицательное давление 151

- Параллакс 164
- Параметр замедления 103
- Паркса, обсерватория 39
- Пейрис, Хиранья 250
- Пензиас, Арно 38
 - Нобелевская премия 43
- Пенроуз, Роджер 243, 287
- Первичный бульон 67
- Первичный нуклеосинтез 67
- Периодическая таблица элементов 192
- Петлевая квантовая гравитация 223
- Пиблс, Джим 38
- Планка, постоянная 53
- Планк, Макс 53
- Планковская длина 53
- Планковская масса 53
- Планковская энергия 53
- Планковская эпоха 55
- Планковское время 53
- Плоская Вселенная 106
- Поверхность последнего рассеяния 69
- Поле Хиггса 188, 196
- Помехи 39
- Понцен, Эндрю 252, 285
- Порядок 113
- Постоянная Хаббла 85, 176
 - значение 176
 - методы вычисления 176
- Потенциал 198
 - минимум 199
- Потенциальный барьер 206
- Предел Чандрасекара 173
- Призма 81
- Принстонский университет 38
- Принцип запрета Паули 170
- Притчард, Джонатан 287
- Проблема космологической постоянной 113
 - однородности 59
 - отклонений в плотности 61
 - тонкой настройки 254
- Пространство 110
 - де Ситтера 135
- Пространство-время 32
 - движение света в 34
 - искривление 20, 98
 - структура 19
- Протон 56, 67, 170
- Пузырьковая Вселенная 250
- Путешествия во времени 27
- Равновесие де Ситтера 141
- Радиообзор 266
- Радиосигнал 81
- Радиус Хаббла 118
- Распад вакуума 26, 181, 187, 267
 - вероятность 210
 - возможные причины 205
 - триггер 202
- Расширение пространства 16, 35, 58
 - локальная скорость 99
 - открытие 79
 - параметр замедления 103
 - скорость в прошлом 162
 - ускорение 105
- Реионизация эпоха 73
- Реликтовое излучение 43
- Релятивистский коллайдер тяжелых ионов (RHIC) 66, 184
- Рис, Мартин 247, 283
- Рубин, Вера 97
- Саган, Карл 69
- Сверхновая звезда
 - взрыв 74, 76, 91
 - типа Ia 104, 167
- Свет
 - искривление пространства 98

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- разложение 81
- эффект Доплера 80
- Световой год 29
- Световой конус 34
- Симметрия 191
 - нарушение 194
 - трансляционная 194
- Сингулярность 50, 95, 237
- Синее смещение 81
- Скалярное поле 238
- Скорость
 - света 28
 - убегания 88
- Солнечная система 76
 - измерение расстояний 164
- Солнце 9, 20, 76
 - эволюция 169
- Спектральные линии 81
- Спин 193
- Спиральные туманности 111
- Спонтанное нарушение симметрии 188
- Стандартная модель 182, 187
- Стандартная свеча 104, 164
- Статистическая механика 138
- Стейнхардт, Пол 232, 242
- Странная материя 183
- Странный кварк 183
- Стрела времени 129, 135
- Струи частиц 76, 91, 93
- Суперсимметрия 254
- Темная материя 23, 71, 97, 147
 - холодная 251
- Темная энергия 25, 114, 149, 258
 - изучение 147
 - уравнение состояния 152
- Темные века 71, 266
- Теорема Пуанкаре о возвращении 140
- Теория
 - великого объединения 55, 223
 - всего 57
 - квантовой гравитации 223
 - космической инфляции 61
 - относительности (общая) 32, 52
 - относительности (специальная) 32
 - струн 57, 223, 254
 - электрослабого взаимодействия 222
- Тепловая смерть 101, 127, 161, 179
- Тепловое излучение 44
- Теплота 136
- Термодинамическое равновесие 59
- Термоядерная реакция 168
- Тернер, Кен 41
- Толстой, Лев 15
- Точность измерений 161
- Трансляционная симметрия 194
- Тритий 68
- Турок, Нил 231, 245, 288
- Уайт, Лори Энн 231
- Углерод 69
- Уизерс, Бенджамин 211
- Уилкинсон, Дэвид 38
- Университетский колледж Лондона 250
- Университет Торонто 263
- Университет Южной Калифорнии 257
- Уортон, Кен 231
- Уравнение состояния 152, 259
- Фермион 170
- Феррейра, Педро 256, 267, 289
- Физика расширяющейся Вселенной 88
- Физика элементарных частиц и космология 19

КОНЕЦ ВСЕГО

- Финни, профессор 16
Финн, Киран 245
Фотон 69, 70, 72, 188, 190
Фрост, Роберт 10
Хаббла — Леметра, закон 84, 89, 99
Хаббл, Эдвин 83, 111
 закон 84
 постоянная 85, 176
 радиус 118
Хиггса, бозон 41, 182, 187
Хокинг, Стивен 22, 126, 131
Цвикки, Фриц 97
Центр зародышеобразования 211
Цефеида 165
Чандрасекар, Субраманьян 173
Частота 80
Черная дыра 20, 23, 76, 91, 231
 дополнительные измерения 214
 испарение 126, 133
 маленькая 211
 сверхмассивная 94
 ускоритель частиц 183, 213
 энтропия 131
Широкоугольный инфракрасный обзорный телескоп 261
Эддингтон, Артур 174
Эйнштейн, Альберт 19, 98
 космологическая постоянная 109
 теория гравитации 21, 95
 уравнения гравитационного поля 50, 107
Экспиротическая Вселенная 231
Электричество 55
Электромагнетизм 64, 190
 U(1)-теория 194
Электромагнитный спектр 80
Электрон 67, 127, 170
Электрослабая теория 188
Электрослабое взаимодействие 64, 190
 разделение 65
Эллис, Джон 274
Энергетические уровни 171
Энергия вакуума 113
Энтропия 128, 241
 второй закон термодинамики 129
 максимальная 135
 стрела времени 129
Эпоха
 великого объединения 55
 галактик 73
 кварков 64
 реионизации 73
Эспиноза, Хосе Рамон 275
Эсхатология 11
Ядерное взаимодействие
 сильное 56
 слабое 56

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научно-популярное издание

БОЛЬШАЯ НАУКА

Мак Кэти

КОНЕЦ ВСЕГО

**5 СЦЕНАРИЕВ ГИБЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АСТРОФИЗИКИ**

Главный редактор *Р. Фасхутдинов*
Руководитель направления *В. Обручев*
Ответственный редактор *Ю. Лаврова*
Младший редактор *Ю. Клюшина*
Художественный редактор *А. Шуклин*

Страна происхождения: Российская Федерация
Шығарылған елі: Ресей Федерациясы

В коллаже на обложке использованы фотографии:
NASA images, Dean Drobot / Shutterstock.com
Используется по лицензии от Shutterstock.com

ООО «Издательство «Эксмо»
123308, Россия, город Москва, ул.ная Зорге, дом 1, стр.оное 1, этаж 20, каб. 2013.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru
Фабричный – ЭКСМО-АМД Белогосим,
123308, Ресей, қала Мәскеу, Зорге көшесі, 1-й, 1-кітапхана; 20 қабап, офис: 2013 к.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru
Тауар белгісі: «Эксмо»

Интернет-магазин: www.book24.kz

Интернет-магазин: www.book24.kz

Интернет-магазин: www.book24.kz
Интернет-магазин: www.book24.kz
Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы»
Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Дистрибутор и представитель по приему претензий на продукцию,
в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»
Қазақстан Республикасындағы дистрибутор және өнім бойынша арыз-талпаптарды
қабылдаушы өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Алматы қ., Давитбаевский көш., 3-й, литер В, офис 1.
Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92. E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Сертификация туралы ақпарат: сайт:www.eksmo.ru/certification
Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ
о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»
www.eksmo.ru/certification
Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылмаған

Дата изготовления / Подписано в печать 21.10.2020. Формат 60x90^{1/16}.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 19,0. Тираж экз. Заказ





ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!

БОМБОРА

ИЗДАТЕЛЬСТВО

БОМБОРА – лидер на рынке полезных и вдохновляющих книг. Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.

Мы в соцсетях:

   [bomborabooks](https://bomborabooks.com)  [bomбора](https://bomбора.com)
[bomбора.ru](https://bomбора.com)

ISBN 978-5-04-117189-6



9 785041 171896 >

16+

В электронном виде найти издательства вы можете
купить на www.litres.ru

ЛитРес:
Один клик до книги



Москва. ООО «Торговый Дом «Эксмо»

Адрес: 123308, г. Москва, ул. Зорге, д.1, строение 1.
Телефон: +7 (495) 411-50-74. **E-mail:** reception@eksmo-sale.ru

По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми
покупателями обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»
E-mail: international@eksmo-sale.ru

*International Sales: International wholesale customers should contact
Foreign Sales Department of Trading House «Ekmo» for their orders.*
international@eksmo-sale.ru

По вопросам заказа книг корпоративным клиентам, в том числе в специальном
оформлении, обращаться по тел.: +7 (495) 411-68-59, доб. 2261.
E-mail: ivanova.ey@eksmo.ru

Оптовая торговля бумажно-беловыми
и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:
Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел./факс: +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: kanc@eksmo-sale.ru, сайт: www.kanc-eksmo.ru

Филиал «Торгового Дома «Эксмо» в Нижнем Новгороде
Адрес: 603094, г. Нижний Новгород, улица Карпинского, д. 29, бизнес-парк «Грин Плаза»
Телефон: +7 (831) 216-15-91 (92, 93, 94). **E-mail:** reception@eksmonn.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Санкт-Петербурге
Адрес: 192029, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 84, лит. «Е»
Телефон: +7 (812) 365-46-03 / 04. **E-mail:** server@szko.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Екатеринбурге
Адрес: 620024, г. Екатеринбург, ул. Новинская, д. 2щ
Телефон: +7 (343) 272-72-01 (02/03/04/05/06/08)

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Самаре
Адрес: 443052, г. Самара, пр-т Кирова, д. 75/1, лит. «Е»
Телефон: +7 (846) 207-55-50. **E-mail:** RDC-samara@mail.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Ростове-на-Дону
Адрес: 344023, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, 44А
Телефон: +7(863) 303-62-10. **E-mail:** info@rnd.eksmo.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Новосибирске
Адрес: 630015, г. Новосибирск, Комбинатский пер., д. 3
Телефон: +7(383) 289-91-42. **E-mail:** eksmo-nsk@yandex.ru

Обособленное подразделение в г. Хабаровске
Фактический адрес: 680000, г. Хабаровск, ул. Фрунзе, 22, оф. 703
Почтовый адрес: 680020, г. Хабаровск, А/Я 1006
Телефон: (4212) 910-120, 910-211. **E-mail:** eksmo-khv@mail.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Тюмени
Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Тюмени
Адрес: 625022, г. Тюмень, ул. Пермьякова, 1а, 2 этаж. ТЦ «Перестрой-ка»
Ежедневно с 9.00 до 20.00. Телефон: 8 (3452) 21-53-96

Республика Беларусь: ООО «ЭКМО АСТ Си энд Си»
Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Минске
Адрес: 220014, Республика Беларусь, г. Минск, проспект Жукова, 44, пом. 1-17, ТЦ «Outleto»
Телефон: +375 17 251-40-23; +375 44 581-81-92
Режим работы: с 10.00 до 22.00. **E-mail:** exmoast@yandex.by

Казахстан: «РДЦ Алматы»
Адрес: 050039, г. Алматы, ул. Домбровского, 3А
Телефон: +7 (727) 251-58-12, 251-59-90 (91,92,99). **E-mail:** RDC-Almaty@eksmo.kz

Украина: ООО «Форс Украина»
Адрес: 04073, г. Киев, ул. Вербовая, 17а
Телефон: +38 (044) 290-99-44, (067) 536-33-22. **E-mail:** sales@forsukraine.com

**Полный ассортимент продукции ООО «Издательство «Эксмо» можно приобрести в книжных
магазинах «Читай-город» и заказать в интернет-магазине: www.chitalai-gorod.ru.**
Телефон единой справочной службы: 8 (800) 444-8-444. Звонок по России бесплатный.

Интернет-магазин ООО «Издательство «Эксмо»

www.book24.ru

Розничная продажа книг с доставкой по всему миру.
Тел.: +7 (495) 745-89-14. **E-mail:** imarket@eksmo-sale.ru

book 24.ru

Официальный
интернет-магазин
издательской группы
«ЭКМО-АСТ»