

ЛОУРЕНС КРАУСС

ВОСЕ

ИЗ

НИЧЕГО

КАК ВОЗНИКЛА ВСЕЛЕННАЯ

Не исключено, что по своему влиянию на доктрину о высшем разуме это самая значительная научная книга после «Происхождения видов» Дарвина.

АНО
альпина нон-фикшн

РИЧАРД ДОКИНЗ

Томасу, Пэтти, Нэнси и Робину —
за то, что вдохновили меня
на создание чего-то из ничего...

A
UNIVERSE
FROM
NOTHING

WHY THERE IS SOMETHING
RATHER THAN NOTHING
LAWRENCE M. KRAUSS



A Division of Simon & Schuster, Inc.

ЛОУРЕНС КРАУСС ■ ■

ВСЁ

ИЗ

НИЧЕГО

КАК ВОЗНИКЛА ВСЕЛЕННАЯ

АНО
АЛЬПИНА НОН-ФИКШН

Москва
2019

УДК 524.85
ББК 22.68
К78

*Дополненное и переработанное издание книги
«Вселенная из ничего. Почему не нужен Бог, чтобы
из пустоты создать Вселенную»*

Переводчики Анастасия Бродоцкая, Наталья Лисова
(предисловие ко второму изданию; небольшое интервью с автором)

Научный редактор Игорь Лисов

Редактор Антон Никольский

Краусс Л.

К78 Всё из ничего: Как возникла Вселенная / Лоуренс Краусс ; Пер.
с англ. — М. : Альпина нон-фикшн, 2019. — 283 с.; вкл. илл.

ISBN 978-5-91671-951-2

Известный физик и автор книг-бестселлеров Лоуренс Краусс предлагает новаторский взгляд на то, как возникло в начале времен все, что существует вокруг нас.

Откуда взялась Вселенная? Что было до нее? Что принесет будущее? И наконец, почему вообще существует что-то, а не ничто?

Краусс — один из немногих видных ученых наших дней, кому удалось преодолеть пропасть между наукой и популярной культурой. Он описывает поразительно красивые экспериментальные наблюдения и головоломные новые теории, которые не только наглядно показывают, что нечто может возникнуть из ничего, но и утверждают, что нечто возникает из ничего *всегда*. Книга «Всё из ничего: Как возникла Вселенная», снабженная новым предисловием о том, какое значение имеет открытие бозона Хиггса, отличается характерным для Краусса мрачным юмором и необыкновенно ясными объяснениями, которые переносят нас к началу начал и дают новейшие свидетельства того, как развивалась наша Вселенная, — и указания на то, чем она, скорее всего, кончит.

Эта дерзкая и актуальная книга прекрасно читается. Она представляет революционный взгляд на самые фундаментальные принципы существования и является мощным противоядием против устаревшего философского, религиозного и научного мышления.

УДК 524.85
ББК 22.68

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

© Lawrence M. Krauss, 2012
Originally Published by Atria Books, a Division
of Simon & Schuster Inc.
© Издание на русском языке, перевод, оформление.
ООО «Альпина нон-фикшн», 2019

ISBN 978-5-91671-951-2 (рус.)
ISBN 978-1-4516-2445-8 (англ.)

Оглавление

Предисловие ко второму изданию.....	7
Предисловие.....	19
Глава 1. Сага о тайнах Вселенной: начало.....	31
Глава 2. Сага о тайнах Вселенной: космос на вес.....	65
Глава 3. Свет из начала времен.....	83
Глава 4. Много шума из ничего.....	101
Глава 5. Неудержимая Вселенная.....	125
Глава 6. Бесплатный обед на краю Вселенной.....	143
Глава 7. Наше печальное будущее.....	161
Глава 8. Его величество случай?.....	181
Глава 9. Из ничего — нечто.....	205
Глава 10. Нестабильность «ничего».....	221
Глава 11. Дивные новые миры.....	243
Эпилог.....	255
Послесловие Ричарда Докинза.....	261
Об авторе.....	267
Небольшое интервью с автором.....	269
Предметно-именной указатель.....	277

На этом месте в 1897 году ничего не произошло.
ТАБЛИЧКА НА СТЕНЕ ТАВЕРНЫ «ВУДИ-КРИК».
Вуди-Крик, КОЛОРАДО

Предисловие ко второму изданию

Уже после появления первого издания этой книги инстинктивная негативная реакция некоторых комментаторов на саму идею возникновения Вселенной из ничего была уравновешена крупным научным открытием, подкрепляющим эту возможность. Тот факт, что существование бозона Хиггса нашло подтверждение, проясняет наши представления о связи пустого, на первый взгляд, пространства и нашего существования. В этом новом предисловии я хочу поговорить сразу и о бозоне Хиггса, и об отрицательной реакции на книгу «Всё из ничего: Как возникла Вселенная».

Выбрав для своей книги подзаголовок «Почему существует нечто, а не ничего?»*, я хотел связать замечательные открытия современной науки с вопросом, который более двух тысяч лет мучает теологов, философов, естествоиспытателей и широкую публику. Я не до конца осознавал, что такая формулировка может привести к путанице того же рода, что возникает всякий раз, когда кто-нибудь публично вспоминает о *теории* эволюции.

В обычной бытовой речи слово «теория» означает совсем не то, что в науке. И слово «ничто» для некоторых тоже большой вопрос, своеобразная красная линия,

.....
* Оригинальное подзаглавие книги — *Why There Is Something Rather than Nothing*. — *Прим. издателя*.

которую люди не готовы пересечь, поэтому само употребление этого слова, так же как употребление слова «Бог», может расколоть аудиторию надвое и затуманить более серьезные вопросы. Аналогичное замечание можно сделать и по поводу вопроса «почему?»: использование слов «почему» и «ничто» вместе может быть не менее взрывоопасным, чем смесь дизельного топлива с аммиачной селитрой.

В главе 9 этой книги я упоминаю один существенный факт, который теперь хочу представить и здесь. Когда в науке кто-то спрашивает «почему?», то на самом деле он имеет в виду вопрос «как?». «Почему?» в науке — не слишком разумный вопрос, потому что подразумевает цель; как знает любой родитель маленького ребенка, «почему?» можно спрашивать без конца, вне зависимости от того, каким был ответ на предыдущий вопрос. В конечном итоге единственный, судя по всему, способ закончить подобный разговор состоит в том, чтобы ответить: «Потому что!»

Наука по ходу дела *меняет* смысл вопросов, особенно вопросов типа «почему?», то есть вопросов о причине. Вот один из ранних примеров этого, на котором хорошо видны многие вопросы — черты тех недавних откровений, о которых я рассказываю в книге.

Прославленный астроном Иоганн Кеплер утверждал в 1595 г., что на него снизошло откровение: ему внезапно показалось, что он сумел ответить на имеющий глубокое значение вопрос причины: «Почему планет шесть?» Ответ, как он считал, связан с пятью Платоновыми телами — священными объектами геометрии, грани которых представляют собой правильные многоугольники — треугольники, квадраты и т. п. — и которые могут быть

вписаны в сферы, чьи размеры увеличиваются с ростом числа граней у соответствующего тела. Тогда, если эти сферы разделяют орбиты шести известных планет, предположил он, можно считать, что относительные расстояния планет от Солнца и тот факт, что планет ровно шесть, раскрывают перед человеком в самом глубоком смысле мысль Бога-математика. (Идея о том, что геометрия священна, восходит еще к Пифагору.) Вопрос «почему планет шесть?» — тогда, в 1595 г., — считался раскрывающим смысл и цель существования Вселенной.

Сегодня, однако, мы понимаем, что вопрос этот не имеет смысла. Во-первых, мы знаем, что планет на самом деле не шесть, а девять. (Для меня Плутон всегда останется планетой. Дело не только в том, что мне нравится подкалывать своего друга Нила Деграсса Тайсона, настаивая на этом, но еще и в том, что моя дочь в четвертом классе делала на природоведении проект по Плутону и я не хочу, чтобы ее работа оказалась напрасной!) Что намного важнее — мы знаем, что наша Солнечная система не уникальна, чего не знал Кеплер и вообще никто в ту эпоху. Уже открыто более двух тысяч планет, обращающихся вокруг других звезд (и открыто, кстати говоря, спутником, носящим имя Кеплера!)

И тогда важное значение приобретает вопрос не «почему?», а «как так получилось, что в нашей Солнечной системе девять планет?» (или восемь, в зависимости от того, что вы думаете о Плуtone). Поскольку совершенно ясно, что существует множество разных солнечных систем с очень разными свойствами, то в реальности мы хотим знать, насколько наша система типична, какие особые условия, возможно, привели к тому, что в ней ближе всего к Солнцу находятся четыре каменные

планеты в окружении нескольких гораздо более крупных газовых гигантов. Ответ на этот вопрос, возможно, прольет свет, к примеру, на наши шансы обнаружить жизнь еще где-то во Вселенной.

Но самое главное, что мы понимаем: в числе шесть (или восемь, или девять) нет никакого скрытого смысла, нет ничего, что указывало бы на цель или замысел... В распределении планет во Вселенной нет никаких указаний на «цель». Мало того что вопрос «почему?» превратился в «как?»; вопрос «почему?» вообще больше не имеет проверяемого смысла.

Таким образом, когда мы спрашиваем: «Почему существует нечто, хотя могло бы не существовать ничего?» — на самом деле имеем в виду: «Как так получилось, что существует нечто, хотя могло бы не существовать ничего?» Это приводит меня ко второму недопониманию, возникшему в результате неудачного выбора слов. Существует множество «чудес» природы, которые кажутся настолько устрашающими, что многие уже отказались от мысли найти разумное объяснение нашего появления на свете и просто списывают все на Бога. Но вопрос, который мне небезразличен и которым наука вполне может заниматься, — это вопрос о том, как вообще все в нашей Вселенной могло возникнуть из отсутствия чего бы то ни было и как, если угодно, бесформенность дала начало форме. Именно это так поражает нас интуитивно, что отвергается сознанием. Это, кажется, противоречит всему, что нам известно об окружающем мире, — в особенности тому факту, что энергия в разных ее формах, включая и массу, сохраняется. Здравый смысл подсказывает, что «ничто» — в смысле отсутствия чего бы то ни было — должно обладать нулевой полной энергией. Тогда откуда же взялись

те 400 млрд или близко к тому галактик, из которых состоит наблюдаемая Вселенная?

Для меня тот факт, что для освоения научных представлений о природе нам необходимо «усовершенствовать» то, что мы называем «здравым смыслом», — один из самых замечательных и освобождающих аспектов науки. Реальность освобождает нас от предрассудков и неверных представлений, возникших потому, что интеллект унаследован нами от наших животных предков, которым для выживания необходимо было знать, не притаились ли за деревьями или в пещерах хищники, но совершенно не нужно было думать о волновой функции электрона в атоме. Современная концепция Вселенной настолько чужда всему, во что даже ученые верили всего лишь столетие назад, что мы можем лишь воздать должное мощи научного метода, а также творческому началу и упорству людей, которые жаждут разобраться в ней. Это достойно восхищения. Как я рассказываю в книге, вопрос о том, как нечто могло произойти из ничего, и возможные ответы на него даже более интересны, чем возможность возникновения галактик из пустого пространства. Наука указывает возможный путь зарождения самого пространства (и времени) и, может быть, дает также представление о том, как законы физики, определяющие динамику пространства и времени, могут возникнуть случайным образом.

Для многих, однако, предлагаемых потрясающих ответов на эти давние загадки недостаточно. Их завораживает более глубокий вопрос несуществования. Можем ли мы понять, как так вышло, что абсолютное ничто, где отсутствует даже потенциальная возможность существования чего бы то ни было, не правит миром до сих пор?

.....

Сможет ли кто-нибудь когда-нибудь сказать хоть что-то помимо того факта, что ничто, которое стало нашим чем-то, было частью «чего-то» еще, чему потенциальная возможность нашего существования или любого существования вообще была изначально присуща?

В этой книге я проявляю достаточно легкомысленное отношение к данной проблеме, потому что мне не кажется, что она добавляет хоть что-то к продуктивной дискуссии, тему которой можно сформулировать так: «На какие вопросы можно реально получить ответы, зондируя Вселенную?» Я отбросил этот философский вопрос, но не потому, что считаю, что люди, которые занимаются некоторыми его аспектами, не пытаются изо всех сил сформулировать логические вопросы. Я отбрасываю здесь этот аспект философии скорее потому, что считаю, что он обходит действительно интересные и доступные физические вопросы, связанные с происхождением и эволюцией нашей Вселенной. Несомненно, некоторые сочтут это признаком моей собственной ограниченности; может быть, они будут правы. Но именно в этом контексте следует читать эту книгу. Я не утверждаю, что у меня есть ответы на вопросы, на которые не может ответить наука, и я очень старался определять в тексте, что именно подразумеваю под терминами «ничто» и «нечто». Если эти определения отличаются от тех, которые хотелось бы принять вам, так тому и быть. Напишите собственную книгу. Но не отбрасывайте замечательное человеческое приключение, каким является современная наука, только потому, что оно вас не утешает.

А теперь хорошие новости! Летом 2012 года физики всего мира, включая и меня, зависали перед экранами компьютеров в самое странное время суток, чтобы

посмотреть в прямом эфире, как ученые Большого адронного коллайдера под Женевой объявят, что им удалось наконец обнаружить одно из важнейших недостающих звеньев головоломки, которую представляет собой природа, — частицу Хиггса (или бозон Хиггса).

Гипотеза о бозоне Хиггса была выдвинута почти 50 лет назад для объяснения расхождений между теоретическими предсказаниями и экспериментальными наблюдениями в физике элементарных частиц; обнаружение частицы Хиггса венчает собой одно из самых замечательных интеллектуальных приключений в истории человечества. Всякий, кто интересуется прогрессом знания, должен иметь об этой истории хотя бы примерное представление. Обнаружение этой частицы делает случайность нашего существования и образования Вселенной из ничего — тему данной книги — еще более замечательной. Это открытие — еще одно доказательство того, что Вселенная, воспринимаемая нашими чувствами, — всего лишь верхушка громадного и по большей части скрытого от глаз космического айсберга и что пустое, на первый взгляд, пространство может дать семена нашего существования.

Предсказание частицы Хиггса сопровождало замечательную революцию, полностью изменившую наши представления о физике элементарных частиц во второй половине XX века. Всего пятьдесят лет назад, несмотря на громадные успехи физики в предыдущие столетия, мы понимали лишь одно из четырех фундаментальных взаимодействий природы — электромагнетизм — как полностью непротиворечивую квантовую теорию. Однако всего за одно следующее десятилетие не только три из четырех известных взаимодействий поддались нашим усилиям, но было открыто новое элегантно

.....

природы. Выяснилось, что все известные взаимодействия можно описать в рамках одной математической системы и что два из них, электромагнетизм и слабое ядерное взаимодействие (которое, например, управляет ядерными реакциями, питающими энергией Солнце), на самом деле являются разными физическими проявлениями одной фундаментальной силы.

Как могут два таких разных взаимодействия быть связаны между собой? В конце концов, фотон — частица, передающая электромагнетизм, — не имеет массы, тогда как частицы, передающие слабое взаимодействие, очень массивны — почти в сто раз массивнее, чем те частицы, из которых строятся атомные ядра; именно этим объясняется слабость этого взаимодействия.

Британский физик Питер Хиггс и несколько других ученых показали, что если существует невидимое в остальном фоновое поле (поле Хиггса), пронизывающее все пространство, то частицы, передающие некоторое взаимодействие, такое как электромагнетизм, могут взаимодействовать с этим полем и, по существу, испытывать сопротивление своему движению, замедляться, подобно пловцу, который пытается плыть в патоке. В результате эти частицы могут вести себя так, как будто они тяжелые, как будто обладают массой. Физик Стивен Вайнберг (и немного позже Абдус Салам) применил эту идею к модели слабого и электромагнитного взаимодействий, предложенную несколько ранее Шелдоном Глэшоу, и все отлично сошлось.

Эту идею можно распространить на остальные частицы в природе, включая те, из которых состоят протоны и нейтроны, а также на фундаментальные частицы, такие как электроны; все вместе эти частицы образуют атомы

нашего тела. Если некая частица сильнее взаимодействует с этим фоновым полем, она ведет себя как более тяжелая. Если она взаимодействует с полем слабее, она ведет себя как более легкая. Если она вообще с ним не взаимодействует, то остается лишенной массы.

Если можно сказать, что нечто звучит слишком хорошо, чтобы быть правдой, это наш случай. Чудо массы — мало того, чудо самого нашего существования (поскольку если бы не Хиггс, то не было бы ни звезд, ни планет, ни людей) — возможно, судя по всему, только благодаря некоему скрытому во всех остальных отношениях фоновому полю, единственное действие которого, как представляется, состоит в том, чтобы мир выглядел именно так, как он выглядит.

Но полагаться на невидимые чудеса — дело религии, не науки. Чтобы убедиться в том, что эта замечательная случайность реальна, физики обратились еще к одной грани квантового мира. С каждым фоновым полем связана некоторая частица, и если выбрать в пространстве точку и как следует по ней ударить, то можно вышибить вполне реальные частицы. Фокус в том, чтобы ударить достаточно сильно по достаточно маленькому объему. А это проблема. Пятьдесят лет работы, включая неудачную попытку постройки в США ускорителя для проверки этих идей, не дали никаких признаков существования бозона Хиггса. Мало того, я готов был поставить на то, что его не существует, поскольку работа в теоретической физике научила меня тому, что природа, как правило, обладает гораздо более богатым воображением, чем мы.

До июля 2012 года.

Открытие бозона Хиггса не снабдит нас, возможно, ни улучшенным тостером, ни более быстрым автомобилем. Но это событие — замечательное свидетельство способности человеческого разума раскрывать тайны природы, а созданной нами технологии — управлять ими. В том, что кажется пустым пространством — по существу, ничем, — скрыты те самые элементы, благодаря которым наше существование возможно.

Открытие поля Хиггса усиливает многие идеи, о которых я рассказываю в этой книге. Идея о том, что в самом начале существования Вселенная прошла через период сверхсветового расширения, называемого инфляцией, в результате которого возникли, по существу, все пространство и вещество в наблюдаемой Вселенной почти из ничего, опирается на возможность того, что в начале времен господствовало другое поле, во многом похожее на поле Хиггса, которое мы, кажется, теперь открыли.

Существование поля Хиггса, пронизывающего сегодня все пространство, тоже ставит перед нами несколько важных вопросов, в первую очередь таких: «Какие условия в ранней Вселенной привели к такой космической случайности?»; «Почему это поле имеет именно ту величину, которую мы измерили?»; «Могло ли оно быть иным?»; «Могли ли законы физики при слегка иных начальных условиях привести к возникновению Вселенной, где не было бы вещества в том виде, в каком мы имеем его сегодня?» Именно такие вопросы я обсуждаю ближе к концу книги.

Каким бы ни оказалось окончательное решение этих головоломок — и других, о которых я буду рассказывать в этой книге, — открытия в фундаментальной физике

и астрономии за последние сорок лет глубоко изменили наши представления о месте человека во Вселенной, поменяв не только вопросы, которые мы перед собой ставим, но и сам их смысл. Я хочу еще раз подчеркнуть, что это, возможно, величайшее наследие современной науки, наследие, которое объединяет ее с великой музыкой, великой литературой и великим искусством и нуждается в более широком распространении.

Предисловие

Каким бы ни был наш жизненный опыт, нам приходится воспринимать его как есть, будь то мечта или кошмар, и проживать его наяву, а не во сне. Мы живем в мире, насквозь пронизанном наукой, в мире целостном и реальном. И невозможно превратить его в игру, встав на чью-то сторону.

Джейкоб Броновски

Чтобы с самого начала внести полную ясность, я должен признаться, что не симпатизирую идее, которая лежит в основе всех мировых религий: будто бы творение нуждается в творце. Ежедневно и ежечасно возникают чудесные, прекрасные предметы и явления — от снежинок морозным зимним утром до тончайшей радуги после дождя летним вечером. Однако утверждать, будто все это единого предмета и явления созданы высшим разумом — старательно, с любовью, а главное, целенаправленно, станут разве что самые ярые фундаменталисты. Более того, многие простые смертные — как ученые, так и люди, далекие от науки, — рады тому, что на основании простых и изящных законов физики мы можем объяснить, как и почему снежинки и радуга возникают сами по себе.

Тут, конечно, можно спросить, откуда берутся законы физики, и даже задать вопрос с подвохом: кто создал эти законы? И даже если на первый вопрос ответ получен, человек, задавший его, зачастую не останавливается: «А это откуда взялось? А кто создал то?» — и т. д.

В конечном итоге многие мыслящие люди приходят к очевидному выводу: как сказали бы Платон, Фома Аквинский и современная католическая церковь, нужна Первопричина, то есть Божественная сущность, Творец всего, что есть и что будет. Иными словами, нечто или некто вечный и вездесущий.

Но, даже если постулировать наличие Первопричины, остается открытым вопрос: кто сотворил самого Творца? И в чем состоит разница между доводами в пользу вечно существующего Создателя и противоположной гипотезой о вечно существующей Вселенной, в которой его нет?

Эти доводы всякий раз напоминают мне знаменитую историю о том, как некий философ читал лекцию о происхождении Вселенной (по одной версии, это был Бертран Рассел, по другой — Уильям Джеймс). Среди слушателей нашлась одна дама, убежденная в том, что мир покоится на гигантской черепахе, опорой которой служит другая черепаха, а той — третья, и так «до самого низа!» Бесконечная цепочка созидательных сил, порождающих самое себя, и даже предположение о наличии воображаемой силы, которая выше и больше черепах, не приближает нас к ответу на вопрос, что дало начало Вселенной. И все же метафора бесконечной регрессии может оказаться ближе к реальному процессу возникновения Вселенной, нежели идея единого Творца.

Если отмахнуться от этой темы, заявив, что все упирется в Бога, вопрос о бесконечной регрессии станет лишь

очевиднее. И тут я начинаю произносить свою мантру: Вселенная такова, какова она есть, нравится нам это или нет. Существование или отсутствие Творца не зависит от наших предпочтений. Мир без Бога и без цели может казаться неприятным и бессмысленным, но одно лишь это не требует существования Бога.

Подобным же образом наш разум не может с легкостью представить себе бесконечность (хотя математика, плод нашего разума, запросто с ней управляется), тем не менее из этого не следует, что бесконечности не существует. Наша Вселенная может быть бесконечной в пространственном или временном протяжении. Или же, как выразился некогда Ричард Фейнман, не исключено, что законы физики подобны слоям луковицы: как только мы выходим на новый масштаб, вступают в силу новые законы. *Мы пока про них просто ничего не знаем!*

Более 2000 лет вопрос «почему существует нечто, а не ничего?» выдвигался в ответ на представление о том, что наша Вселенная — сложная система из звезд, галактик, людей и много чего еще — возникла без всякого первоначального замысла, намерения и цели. Обычно вопрос этот рассматривается как философский или религиозный, однако это прежде всего и главным образом вопрос о физическом мире, а значит, пытаться ответить на него также следует в первую очередь при помощи науки.

Цель этой книги проста. Я хочу показать, как современная наука в разных ее ипостасях может ответить — и отвечает — на вопрос, почему на свете есть нечто, а не ничего. Ответ на него дают и головокружительно прекрасные данные наблюдений и экспериментов, и теории, лежащие в основе большей части современной физики, — все они демонстрируют, что получить нечто

из ничего можно без каких-либо затруднений. Более того, появление чего-то из ничего, вероятно, *требовалось*, чтобы возникла Вселенная. Более того, все указывает на то, что именно так она и *могла* зародиться.

Я делаю здесь упор на слове *могла*, поскольку дать однозначный ответ на этот вопрос мы, скорее всего, не сумеем: у нас никогда не будет всей необходимой эмпирической информации. Однако уже одно то, что возникновение Вселенной из ничего в принципе возможно, является весьма существенным, по крайней мере для меня.

Прежде чем двигаться дальше, я хотел бы посвятить несколько слов понятию «ничто», о котором в дальнейшем мы поговорим подробнее. По моему опыту, когда этот вопрос обсуждаешь публично, теологов и философов, не согласных со мной, больше всего раздражает то, что я, ученый, не вполне понимаю, что такое «ничто» (тут возникает соблазн возразить, что теологи-то как раз и есть выдающиеся специалисты по «ничему»).

«Ничто», настаивают они, это совсем не то, о чем я говорю. «Ничто» — это «несуществование» в каком-то смутном, недостаточно определенном смысле. Это напоминает мои собственные потуги определить, что такое «разумный замысел», в ту пору, когда я только-только начал дискутировать с креационистами, — в дальнейшем мне стало очевидно, что внятного определения дать невозможно, разве что от противного. «Разумный замысел» — это попросту собирательное название всего, что отрицает эволюцию. Точно так же иные философы и многие теологи снова и снова определяют «ничто» как нечто, не имеющее ничего общего с любым из тех «ничто», о которых в данный момент рассуждают ученые.

Однако, по моему мнению, в этом и состоит интеллектуальная несостоятельность большей части теологии, равно как и отдельных направлений современной философии. Ведь «ничто» обладает точно таким же физическим смыслом, что и «нечто», особенно если приходится определять его как «отсутствие чего-то». Следовательно, нам надлежит точно понимать физическую природу и того и другого. А любое определение без научной базы — пустые слова.

Если бы кто-нибудь 100 лет назад определил «ничто» как совершенно пустое пространство, в котором нет никаких реальных материальных сущностей, особых возражений не последовало бы. Однако по итогам минувшего века мы узнали, что пустое пространство — это на самом деле далеко не нетронутая пустота, как мы привыкли считать, потому что с некоторых пор об устройстве мира нам известно гораздо больше. Теперь религиозные критики указывают мне, что нельзя называть пустое пространство «ничем» — скорее это «квантовый вакуум», в отличие от религиозного или философского идеализированного «ничего».

Хорошо, да будет так. А если, допустим, мы хотим описать «ничто» как отсутствие самого пространства и времени? Этого достаточно? Опять же я думаю, что когда-то этого было достаточно — но прошли те времена. Мы узнали, и об этом мы еще поговорим, что время и пространство способны возникать спонтанно, и теперь нам твердят, что и это «ничто» — совсем не то «ничто», которое требуется. Нам говорят, что избавление от «настоящего ничего» требует Божественной воли, а следовательно, «ничто» должно определяться как «то, из чего только Бог может создать нечто».

Кроме того, разные люди, с которыми я дискутировал по этому вопросу, утверждали, что, если есть какой-то «потенциал» для создания чего-то, значит, это не есть состояние подлинного «ничто». И разумеется, наличие законов природы, которые обеспечивают подобный потенциал, уводит нас далеко за пределы подлинного царства небытия. А стоит мне возразить, что сами эти законы также возникают спонтанно, — мы дальше увидим, что так оно, вероятно, и есть, — как и этого оказывается мало, поскольку любая система, в которой могут возникнуть законы, не настоящее ничто.

Черепашки до самого низа? Нет, я так не считаю. Однако черепахи выглядят привлекательно, потому что наука меняет правила игры и само игровое поле, и многим от этого становится неуютно. Разумеется, это и является одной из целей науки (во времена Сократа сказали бы «натуральной философии»). Стало неуютно — значит, мы на пороге новых открытий. Очевидно, вводить «Бога», чтобы уйти от трудных вопросов «каким образом?», — это просто интеллектуальная лень. В конце концов, если бы не было потенциала для творения, Бог не мог бы ничего создать. Уверять, будто потенциально бесконечной регрессии можно избежать, потому что Бог существует вне природы, — а значит, «потенциал» существования сам по себе не входит в то небытие, из которого возникает бытие, — это интеллектуальное надувательство.

Моя истинная цель — продемонстрировать, что наука действительно изменила правила игры, так что все эти отвлеченные и бесполезные дебаты о природе небытия сменились полезными и практическими попытками понять, откуда на самом деле могла взяться наша Вселенная.

Кроме того, я расскажу, как это может повлиять на наше настоящее и будущее.

Все это говорит об одном важном обстоятельстве. Когда речь заходит о понимании того, как эволюционирует наша Вселенная, религия с теологией в лучшем случае просто ничего не дают. Зачастую они еще больше напускают туману, например когда сосредотачиваются на вопросах «ничего», не дав определения этому понятию на основании эмпирических данных. Хотя мы еще не полностью понимаем, каково происхождение Вселенной, нет причин рассчитывать, что в этом отношении что-то изменится. Более того, я думаю, что в конечном итоге точно такое же положение сложится и в тех областях, которые сейчас религия считает своей вотчиной, например в вопросах человеческой морали.

Наука хорошо зарекомендовала себя в расширении нашего понимания природы, поскольку дух научного исследования основан на трех основных принципах: (1) следуй за фактами, куда бы они ни вели, (2) если у кого-то есть теория, надо, чтобы он готов был опровергнуть ее с тем же старанием, с каким доказывает, что она верна, и (3) мерило истины — эксперимент, а не утешение, которое черпаешь в своих априорных убеждениях, и не красота и элегантность, которую видишь в своих теоретических моделях.

Результаты экспериментов, о которых я напишу, не просто своевременны, но еще и неожиданны. Узорчатый покров, который соткала наука при описании эволюции нашей Вселенной, куда роскошнее и интереснее, чем любые воображаемые откровения или сюжеты, созданные людьми. Природа таит сюрпризы, далеко превосходящие способности человеческой фантазии. За последние

.....

два десятка лет интереснейшие достижения космологии, теории элементарных частиц и теории гравитации полностью перевернули наши представления о Вселенной — и из этих достижений следуют ошеломляющие выводы, меняющие не только нашу картину происхождения Вселенной, но и картину ее будущего. Так что нет *ничего* увлекательнее — простите мне невольный каламбур.

Однако на создание этой книги меня вдохновило не столько желание развенчать мифы и разоблачить предрассудки, сколько стремление восславить знание, а вместе с ним и то, какая у нас, оказывается, восхитительная Вселенная, о чем мы и не догадывались.

Повествование уведет нас в головокружительное путешествие по самым дальним уголкам расширяющейся Вселенной — с первых мгновений Большого взрыва и до далекого будущего — и познакомит с самыми неожиданными открытиями физики за последние 100 лет.

На самом деле непосредственным стимулом написать эту книгу стало поразительное открытие в области физики Вселенной, которое вдохновляло мои исследования в течение последних 30 лет: ученые выяснили, что большая часть энергии во Вселенной пребывает в загадочной и не объяснимой на сегодняшней день форме, пронизывающей все пустое пространство. Не будет преувеличением сказать, что это открытие изменило все «игровое поле» современной космологии.

Во-первых, это открытие создало замечательную новую основу для идеи о том, что наша Вселенная возникла в точности из ничего. Во-вторых, оно заставило нас пересмотреть огромное количество предположений о процессах, которые могут управлять эволюцией Вселенной, а в конечном итоге — задуматься, фундаментальны ли

сами законы природы. То и другое, в свою очередь, делает вопрос о том, почему на свете есть нечто, а не ничего, менее важным, если не совсем легким, и я надеюсь объяснить почему.

Что касается собственно истории создания этой книги, то все началось в октябре 2009 г., когда я читал в Лос-Анджелесе лекцию под таким же названием. Я никак не ожидал, что видеозапись этой лекции на YouTube, ставшая доступной благодаря фонду Ричарда Докинза, стала чуть ли не сенсацией: сейчас, когда я пишу эти строки, она набрала почти миллион просмотров*, а всевозможные фрагменты из нее используют в своих дебатах оба лагеря — и теисты, и атеисты.

Поскольку эта тема вызывает большой интерес, а кроме того, в интернете и других средствах массовой информации появились комментарии к моей лекции, которые показывают неоднозначное к ней отношение, я решил, что стоит более подробно разъяснить идеи, изложенные в этой лекции, написав книгу. Здесь у меня появилась возможность дополнить новыми доводами аргументацию, которая практически полностью строилась на недавнем перевороте в космологии, изменившем нашу картину Вселенной, — речь идет об открытиях в области энергии и геометрии пространства. Этому посвящены первые две трети книги.

За прошедшее с 2009 г. время я успел гораздо лучше обдумать многие идеи и предпосылки, составляющие основу моей аргументации, обсудил их с разными людьми, которые восприняли идею написания книги с энтузиазмом, причем заразительным. Я глубже изучил влияние,

.....
* К концу 2018 г. — свыше 2 млн просмотров. — *Прим. науч. ред.*

которое эти открытия оказали на развитие физики элементарных частиц, в особенности на вопрос о происхождении и природе нашей Вселенной. А затем представил некоторые свои доводы самым яростным противникам — и благодаря этому у меня возникли некоторые существенные соображения, которые помогли отточить аргументацию.

Когда я пытался облечь в слова все то, что здесь изложил, мне весьма помогли беседы с некоторыми коллегами-физиками, наделенными талантом по-настоящему глубоко мыслить. В первую очередь я признателен Алану Гуту и Фрэнку Вильчеку, которые не жалели времени на продолжительные дискуссии и переписку со мной, помогли разобраться с некоторой путаницей в моей собственной голове и в определенных случаях отточили мои интерпретации.

Лесли Мередит и Доминик Анфузо из издательства Simon & Schuster проявили интерес к публикации книги, это придало мне храбрости, и я обратился к своему другу Кристоферу Хитченсу, который не только является одним из самых блестящих и образованных людей среди моих знакомых, но и пользуется некоторыми доводами из моей лекции в своем цикле интереснейших бесед о науке и религии. Несмотря на тяжелую болезнь, Кристофер согласился написать послесловие к моей книге — со свойственной ему добротой, щедростью и отвагой. Я благодарен ему за этот поступок, свидетельствующий о теплых дружеских чувствах и доверии. К несчастью, недуг одолел Кристофера настолько, что о написании послесловия уже не могло быть и речи, несмотря на все его старания. Однако на выручку пришел другой мой добрый друг — великий ученый и оратор Ричард Докинз, который еще

раньше согласился написать послесловие к моей книге. Когда я показал ему черновик, он тут же составил текст поистине ошеломляющей красоты и ясности. Я просто потрясен. Я искренне благодарю Кристофера, и Ричарда, и всех вышеперечисленных за поддержку и вдохновение, а также за то, что побудили меня снова сесть за компьютер и начать писать.

ГЛАВА 1

САГА О ТАЙНАХ ВСЕЛЕННОЙ: НАЧАЛО

В любом путешествии всегда есть изначальная тайна:
как путешественник очутился в пункте отправления?

Луиза Боган.

Путешествие по моей комнате

Ненастной темной ночью в начале 1916 г. Альберт Эйнштейн завершил величайший труд своей жизни, на создание которого у него ушло 10 лет неустанной интеллектуальной работы, — новую теорию гравитации, которую он назвал «Общая теория относительности» (ОТО). И это была не просто новая теория гравитации, это была еще и новая теория пространства и времени — первая научная теория, которая могла объяснить не только движение тел во Вселенной, но и развитие ее самой.

Была здесь, однако, одна тонкость. Когда Эйнштейн попытался применить свою теорию к описанию нашей Вселенной, стало очевидно, что теория описывает не ту Вселенную, где мы обитаем.

Сейчас, по прошествии 100 лет, трудно в полной мере оценить, насколько изменилось представление о Вселенной на протяжении одной человеческой жизни. С точки

зрения научного сообщества в 1917 г., Вселенная была вечна и статична и состояла из одной галактики, нашего Млечного Пути, окруженной бесконечным темным и пустым пространством. Примерно так все и видится, если взглянуть в ночное небо невооруженным глазом или в небольшой телескоп, поэтому в те времена не было особых оснований думать иначе.

В теории Эйнштейна, как и в предшествующей теории всемирного тяготения Ньютона, гравитация — это сила притяжения (и только притяжения!) между двумя телами. Это значит, что несколько масс в пространстве не могут вечно находиться в состоянии покоя. Взаимное притяжение заставит их устремиться друг к другу и схлопнуться — а это явно противоречит видимой статичности Вселенной.

То, что ОТО не соответствовала тогдашней картине Вселенной, стало для Эйнштейна более тяжким ударом, чем может себе представить читатель. Выяснив причины этого, я смог развенчать один из мифов об Эйнштейне и ОТО, который всегда вызывал у меня сомнения. Принято считать, что Эйнштейн долгие годы работал в полном уединении, в закрытом кабинете, не пользуясь ничем, кроме собственных размышлений и рассуждений, и эта прекрасная теория получилась у него вне связи с реальностью (чем-то это напоминает нынешних ученых, работающих над теорией струн!) А на самом деле все было наоборот.

Эйнштейн всегда опирался на эксперименты и наблюдения. Многие эксперименты он действительно проделывал «мысленно» и в самом деле трудился больше 10 лет, но при этом изучал новые математические методы, несколько раз заходил в теоретические тупики, и лишь после этого ему удалось создать теорию, отличавшуюся

подлинной математической красотой. Однако самым важным моментом, который определил его любовь к ОТО, были наблюдения. За последние недели лихорадочной работы, когда Эйнштейн дорабатывал свою теорию, соперничая с немецким математиком Давидом Гильбертом, он на основании своих уравнений сделал прогноз для загадочного астрофизического явления — небольшой прецессии перигелия (ближайшей к Солнцу точки) орбиты Меркурия.

Астрономы давно заметили, что орбита Меркурия немного отклоняется от той, что предсказывали законы Ньютона. Она представляет собой не идеальный эллипс, замкнутый сам на себя, а отличается прецессией (то есть планета, совершив один оборот по орбите, возвращается не в ту же самую точку, а с каждым оборотом ориентация эллипса чуть-чуть сдвигается, и в результате получается траектория, напоминающая спираль)*. Величина этой прецессии очень мала — около 43 угловых секунд (чуть более $0,01^\circ$) за 100 лет.

Когда Эйнштейн рассчитал орбиту Меркурия на основе ОТО, то получил именно это число. Биограф Эйнштейна Абрахам Пайс писал: «Пожалуй, ни одно из событий в научной деятельности, да и в жизни, не потрясло Эйнштейна сильнее, чем это открытие»**. Эйнштейн уверял, что «это открытие вызвало у него учащенное сердцебиение», как будто «внутри у него нечто оборвалось».

.....

* Иначе говоря, большая ось эллипса поворачивается в плоскости орбиты. Это вполне обычное явление для эллиптических орбит, но наблюдаемая величина прецессии для Меркурия не соответствовала расчетной. — *Прим. науч. ред.*

** Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. — М.: Наука, 1989. — *Прим. пер.*

Месяц спустя, когда он рассказывал об этой теории другу и называл ее несравненно прекрасной, стало совершенно очевидно, что эта математическая модель доставляет ему много радости, но ни о каком сердцебиении уже не упоминалось.

Очевидные противоречия между ОТО и данными наблюдений, которые указывали на то, что Вселенная статична, вскоре были улажены, хотя это и заставило Эйнштейна ввести в теорию поправку, которую он позднее называл своей величайшей ошибкой (но об этом позже). В наши дни уже все, кроме некоторых школьных советов в США, знают, что Вселенная не статична — она расширяется, и началось это расширение примерно 13,72 млрд лет назад, в момент Большого взрыва, когда она была очень плотной и горячей. Не менее важно и другое: теперь мы знаем, что наша Галактика — всего лишь одна из примерно 400 млрд галактик в наблюдаемой Вселенной. Подобно первым картографам Земли, мы только начинаем составлять полную карту крупномасштабной структуры Вселенной. Неудивительно, что в последние десятилетия наша картина Вселенной претерпела революционные изменения.

Открытие, что Вселенная не статична, а расширяется, играет огромную роль и в философии, и в религии, поскольку предполагает, что у Вселенной было начало. А если начало — значит, акт творения, а идея акта творения всегда вызывает бурю эмоций. Хотя расширение Вселенной было открыто в 1929 г., потребовалось несколько десятков лет, чтобы независимо подтвердить модель Большого взрыва эмпирическими данными, однако уже в 1951 г. папа Пий XII объявил это открытие доказательством сотворения мира. Вот как он сказал:

.....

По всей видимости, современная наука, сумев за единый миг заглянуть на многие века в прошлое, стала свидетельницей Божественного мгновения — первичного *Fiat Lux* [Да будет свет!], когда одновременно с веществом из ничего вырвался целый океан света и излучения, и химические элементы, сгорая и расщепляясь, создали миллионы галактик. Таким образом, со всей конкретностью, свойственной физическим доказательствам, наука подтвердила, что Вселенная возникла обусловленно, и проследила ее существование в прошлом до той эпохи, когда мир вышел из рук Творца. Итак, мир был сотворен. А посему, говорим мы, Творец существует, а значит, Бог есть!

На самом деле все было еще интереснее. Первым идею Большого взрыва предложил бельгийский священник и физик по имени Жорж Леметр. Леметр был человек удивительно многогранный, прошедший извилистый профессиональный путь. Начинал он как инженер, во время Первой мировой прославился как артиллерист, а затем переключился на математику, параллельно готовясь к рукоположению, — это было в начале 1920-х гг. Затем увлекся космологией и сначала учился у знаменитого английского астрофизика сэра Артура Стэнли Эддингтона, затем перебрался в Гарвард и в конце концов получил вторую докторскую степень, по физике, в Массачусетском технологическом институте.

В 1927 г., перед тем как получить вторую докторскую степень, Леметр решил уравнения ОТО и показал, что теория предсказывает нестатичную Вселенную, более того, из нее следует, что Вселенная, в которой мы живем, расширяется. Эта мысль показалась всем настолько возмутительной, что даже сам Эйнштейн ответил Леметру

афоризмом: «Математика у вас точна, зато физика отвратительна».

Леметра это, впрочем, не остановило, и в 1930 г. он предположил, что на самом деле расширение Вселенной началось с крошечной точки, которую он назвал «первичным атомом», и что начало — вероятно, это была аллюзия на сотворение мира — было «днем, у которого не было вчера».

То есть идею Большого взрыва, которую так славил папа Пий XII, первым предложил именно священник. Кажалось бы, такое одобрение папы должно было бы порадовать Леметра, однако сам он уже отказался от мысли, что из этой научной теории можно сделать какие бы то ни было богословские выводы, и в конечном итоге убрал из черновика статьи 1931 г. о Большом взрыве абзац о теологических следствиях из своей теории.

В 1951 г. Леметр даже публично возразил папе Пию на заявление о сотворении мира посредством Большого взрыва (не в последнюю очередь потому, что он понимал: если его теория будет опровергнута, то могут быть оспорены и заявления римско-католической церкви о сотворении мира). К этому времени он уже был избран в Папскую академию наук, а затем стал ее президентом. Как писал сам Леметр, «насколько я могу судить, подобная теория вообще не относится к вопросам религии и метафизики». Папа больше эту тему не поднимал.

История эта очень поучительна. Как считал Леметр, был на самом деле Большой взрыв или нет — это научный, а не богословский вопрос. Более того, если Большой взрыв действительно произошел (а в наши дни все свидетельствует о том, что так, бесспорно, и было), можно толковать это событие произвольно, по-разному,

в зависимости от своих религиозно-метафизических предпочтений. Можно считать Большой взрыв намеком на Творца, если вам так нужно, а можно утверждать, что математика ОТО объясняет эволюцию Вселенной вплоть до самого начала, обходясь без всякого вмешательства того или иного божества. Однако подобная метафизическая спекуляция никак не зависит от физической обоснованности гипотезы Большого взрыва как таковой и не влияет на то, как мы его понимаем. Разумеется, если пойти дальше простого существования расширяющейся Вселенной и попытаться понять, какие физические принципы имели отношение к ее зарождению, наука, скорее всего, прольет новый свет и на эту теорию — и проливает, как я покажу в дальнейшем.

Так или иначе, ни Леметр, ни папа Пий XII не убедили научное сообщество, что Вселенная действительно расширяется. Однако, как всегда бывает в добросовестных научных исследованиях, доказательство было получено благодаря тщательным наблюдениям, в данном случае проведенным Эдвином Хабблом, который и по сей день дает мне веру в человечество, поскольку начинал он как юрист и лишь потом стал астрономом.

Хаббл уже совершил важнейший прорыв в астрофизике в 1925 г., когда работал на 2,54-метровом телескопе Хукера в обсерватории Маунт-Вилсон. Тогда это был крупнейший в мире телескоп. (Для сравнения: теперь мы строим телескопы в 10 с лишним раз больше в диаметре и в 100 раз больше по площади!) До того времени астрономы с тогдашними телескопами могли лишь увидеть размытые пятна объектов, которые нельзя было считать обычными звездами нашей Галактики. Они называли их «туманностями», по-латыни *nebulae*, что, в сущности,

.....

и означало «нечто размытое» (буквально «облако»), и спорили о том, где находятся эти объекты — в нашей Галактике или за ее пределами.

Поскольку в те дни превалировало представление о Вселенной, в которой нет ничего, кроме нашей Галактики, большинство астрономов принадлежало к лагерю «в нашей Галактике», который возглавлял знаменитый гарвардский астроном Харлоу Шепли. В школе он проучился всего пять классов, а потом занимался самообразованием и в конце концов поступил в Принстон. Шепли решил изучать астрономию просто потому, что в учебном плане этот предмет стоял первым пунктом. В своих фундаментальных трудах он показал, что Млечный Путь гораздо больше, чем считали раньше, и что Солнце находится отнюдь не в его центре, а в захолустном, ничем не примечательном уголке. В астрономии Шепли обладал непререкаемым авторитетом, поэтому его воззрения о природе туманностей имели большой вес.

В первый день нового 1925 г. Хаббл опубликовал результаты двухлетних исследований так называемых спиральных туманностей, где сумел выявить переменные звезды особого рода — цефеиды. В число этих туманностей входила и та, которую мы теперь знаем как туманность Андромеды*.

Цефеиды, впервые описанные еще в 1784 г., — это звезды, чей блеск меняется регулярным образом. В 1908 г. в Гарвардскую обсерваторию на должность вычислителя была принята никому не известная и в тот момент недооцененная женщина, желавшая стать астрономом,

.....
* Она проецируется на небе на созвездие Андромеды, откуда и название. — *Прим. науч. ред.*

.....

по имени Генриетта Суон Ливитт. (Вычислителями называли женщин, которые составляли каталог блеска звезд, заснятых на фотопластинки обсерватории; использовать телескопы женщинам в те годы не разрешалось.)

Генриетта, дочь священника конгрегационалистской церкви и прямого потомка первых переселенцев, сделала поразительное открытие, о котором и заявила в 1912 г.: она заметила, что между блеском цефеид и периодом его изменения существует прямая зависимость. То есть если удастся определить расстояние до какой-то одной цефеиды с известным периодом (а это было сделано вскоре, в 1913 г.), то, измерив блеск других цефеид с таким же периодом, можно будет определить расстояние и до них!

Поскольку наблюдаемая яркость звезд обратно пропорциональна квадрату расстояния до звезды (свет распространяется равномерно по сфере, чья площадь увеличивается пропорционально квадрату расстояния, поэтому, когда свет распределяется по большей сфере, его наблюдаемая интенсивность в любой точке будет обратно пропорциональна площади сферы), то определение расстояния до далеких звезд всегда было серьезным вызовом для астрономов. Открытие Ливитт произвело настоящий переворот в этой области. (Сам Хаббл, которому не досталось Нобелевской премии, часто говорил, что труды Ливитт ее заслуживают, но он был человеком довольно-таки эгоистичным и, вполне вероятно, утверждал так лишь потому, что сам являлся естественным претендентом на разделение премии с Ливитт за дальнейшие свои работы.) В Шведской королевской академии наук даже готовили документы, чтобы номинировать Ливитт в 1924 г., но тут стало известно, что она умерла от рака за три года до этого. Благодаря силе личности, склонности к саморекламе и таланту наблюдателя

Хаббл сделал из своего имени настоящий бренд, а имя Генриетты Ливитт, увы, известно лишь тем, кто увлекается историей астрофизики.

Опираясь на свои измерения цефеид и на соотношение периода и блеска, которое обнаружила Ливитт, Хаббл сумел определенно доказать, что цефеиды в туманности Андромеды и в нескольких других туманностях так далеки, что не могут находиться в пределах Млечного Пути. Выяснилось, что Андромеда — это другой «остров», другая спиральная галактика, хотя и очень похожая на нашу, одна из более чем 100 млрд других галактик, которые, как мы теперь знаем, существуют в наблюдаемой Вселенной. Результаты Хаббла не вызывали сомнений — настолько, что астрономическое сообщество, в том числе и Шепли, который, кстати, к этому времени уже стал директором Гарвардской обсерватории, где Ливитт сделала свое поразительное наблюдение, быстро смирилось с тем, что Млечный Путь — это далеко не весь окружающий нас мир. Размер известной нам Вселенной за один миг вырос на величину, намного большую, чем за все предшествующие столетия! Более того, изменилась архитектура Вселенной, как практически и все остальные ее характеристики.

После этого сенсационного открытия Хаббл мог бы почитать на лаврах, но его интересовала рыбка покрупнее, а именно более крупные галактики. Измерив тусклые цефеиды в более далеких галактиках, Хаббл смог составить карту Вселенной на еще больших масштабах. А сделав это, он открыл кое-что, и это оказалось даже интереснее: Вселенная расширяется!

Этот результат Хаббл получил из сравнения расстояний до галактик, которые определил он, с другим набором

измерений американского астронома Весто Слайфера, который измерил спектры излучения, приходящего от этих галактик. А чтобы разобраться, откуда взялись эти спектры и какова их природа, нам с вами придется вернуться к самым истокам современной астрономии.

Одно из важнейших открытий астрономии — то, что вещество звезд и вещество Земли по большей части одинаково. Все началось с Исаака Ньютона, как и очень многое в современной науке. В 1665 г. Ньютон, тогда еще совсем молодой ученый, пропустил через призму тоненький лучик света — чтобы получить его, он полностью затемнил комнату и проделал дырочку в ставне — и увидел, как солнечный свет разложился на знакомые всем цвета радуги. Ньютон заключил, что белый солнечный свет содержит все эти цвета, и был прав.

Прошло 150 лет, и другой ученый*, более тщательно исследуя разложенный в призме свет, обнаружил среди цветов темные полосы и предположил, что это вызвано присутствием во внешней атмосфере Солнца материалов, которые поглощают свет определенных цветов или длин волн. Эти так называемые линии поглощения можно было идентифицировать, зная длины волн света, которые, как показали лабораторные измерения, поглощаются теми или иными элементами на Земле, в том числе водородом, кислородом, железом, натрием и кальцием.

В 1868 г. еще один ученый обнаружил две новые линии поглощения в желтой части солнечного спектра, которые не соответствовали никаким известным на Земле элементам. Он решил, что это, наверное, след какого-то нового

.....
* Йозеф фон Фраунгофер. — *Прим. науч. ред.*

элемента, который назвал «гелий» *. Спустя поколение гелий нашли и на Земле.

Изучение спектров излучения, приходящего от других звезд, — важный инструмент, позволяющий многое узнать об их составе, температуре и эволюции. Начиная с 1912 г. Слайфер наблюдал спектры света, исходящего от различных спиральных туманностей, и обнаружил, что они похожи на спектры близких звезд, с тем лишь исключением, что все линии поглощения сдвинуты на одну и ту же длину волны.

К тому времени стало понятно, что это вызвано всем известным эффектом Доплера: он назван в честь австрийского физика Кристиана Доплера, который в 1842 г. объяснил, что волны, приходящие от движущегося источника, растягиваются, если источник удаляется, и сжимаются, если он приближается. С проявлением этого эффекта мы все прекрасно знакомы, и мне всегда вспоминается карикатура Сидни Харриса: два ковбоя в прерии глядят на проезжающий вдали поезд, и один говорит другому: «Ах, как я люблю слушать этот одинокий гудок паровоза, когда величина его частоты меняется из-за эффекта Доплера!» В самом деле, и гудок поезда, и сирена скорой помощи звучат выше, когда поезд или машина приближаются, и ниже, когда они удаляются.

Оказывается, то же самое происходит не только со звуковыми волнами, но и со световыми, хотя и по несколько иным причинам. Световые волны от удаляющегося источника — вследствие его локального движения в пространстве или же расширения пространства, разделяющего

.....
* Линию гелия первым обнаружил Жюль Жансен, а Норман Локьер выдвинул гипотезу о том, что она свидетельствует о поглощении света неизвестным ранее элементом. — *Прим. науч. ред.*

источник и наблюдателя, — растягиваются и поэтому кажутся более красными (поскольку красный цвет расположен на длинноволновом краю видимого спектра), а волны из приближающегося источника сжимаются и кажутся более синими.

В 1912 г. Слайфер заметил, что линии поглощения от света, исходящего от спиральных галактик, почти всегда систематически сдвинуты в сторону более длинных волн (но у некоторых галактик, в том числе и той, что в Андромеде, свет сдвинут в сторону более коротких волн). Он сделал совершенно правильный вывод, что большинство этих объектов удаляются от нас, причем со значительной скоростью.

Хаббл сумел сравнить свои данные о расстояниях до этих спиральных галактик (именно так их теперь приходилось классифицировать) с данными Слайфера о скоростях, с которыми они удаляются. В 1929 г., при содействии сотрудника обсерватории Маунт-Вилсон Милтона Хьюмаса (наделенного такими инженерными талантами, что его приняли на работу в обсерваторию, хотя у него не было даже аттестата о среднем образовании), он объявил об открытии примечательного эмпирического соотношения, которое теперь носит название «закон Хаббла»* — линейной зависимости между скоростью удаления галактики и расстоянием до нее. Таким образом, чем дальше от нас галактики, тем быстрее они удаляются!

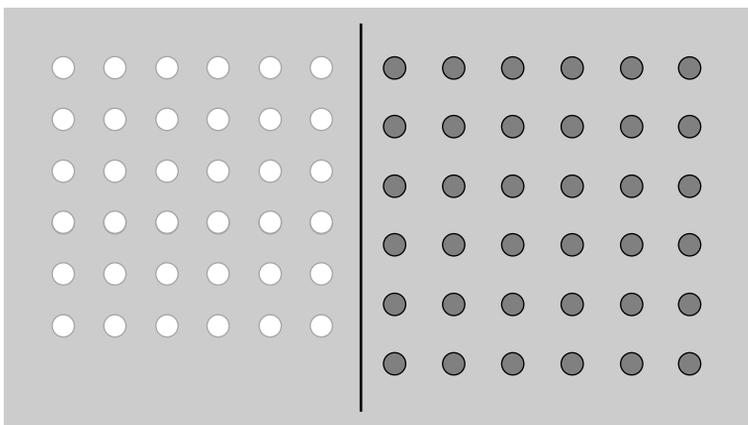
Когда впервые сталкиваешься с этим удивительным фактом — что почти все галактики удаляются от нас, и те, которые в два раза дальше, движутся в два раза быстрее,

* В октябре 2018 г. члены Международного астрономического союза проголосовали за резолюцию, которая рекомендует именовать это соотношение законом Хаббла — Леметра. — *Прим. науч. ред.*

а те, которые в три раза дальше, в три раза быстрее, — вывод, казалось бы, напрашивается сам собой: *мы — центр Вселенной!*

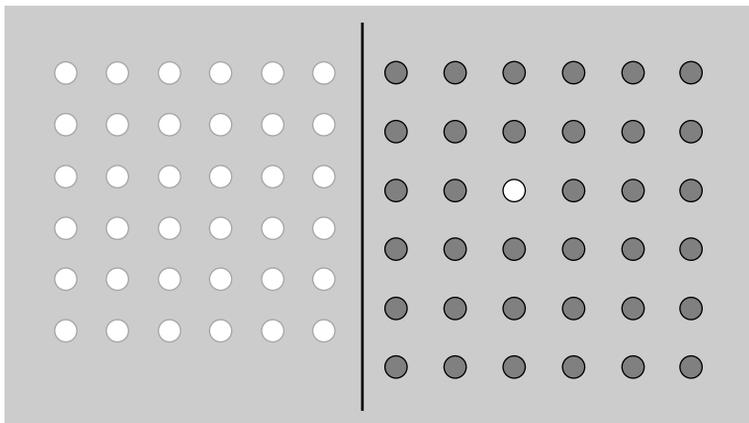
Как говорят некоторые мои друзья, хорошо бы, чтобы лично мне кто-нибудь ежедневно напоминал, что *это не так*. И в то же время результат Хаббла в точности совпал с соотношением, которое предсказал Леметр. Наша Вселенная и правда расширяется.

Я пытался объяснить этот процесс разными способами и, честно говоря, думаю, что понять его все равно не получится, если не умеешь смотреть на все снаружи — снаружи во вселенском масштабе. Чтобы понять, о чем говорит закон Хаббла, нужно скинуть шоры нашей Галактики и взглянуть на Вселенную извне. Посмотреть снаружи на трехмерную Вселенную трудно, а на двумерную — уже проще. Ниже я нарисовал расширяющуюся Вселенную в два разных момента времени t_1 и t_2 . Как видно, что на второй картинке галактики находятся друг от друга дальше.

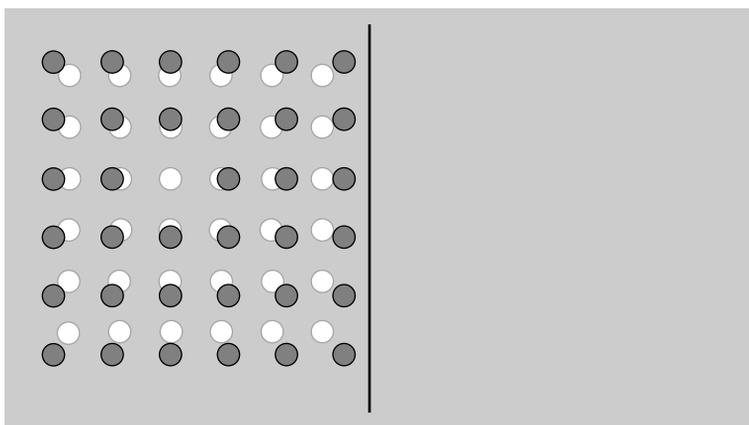


Вселенная в момент времени t_1 Вселенная в момент времени t_2

А теперь представьте себе, что вы живете в одной из галактик со второго рисунка — я отметил белым — в момент времени t_2 .

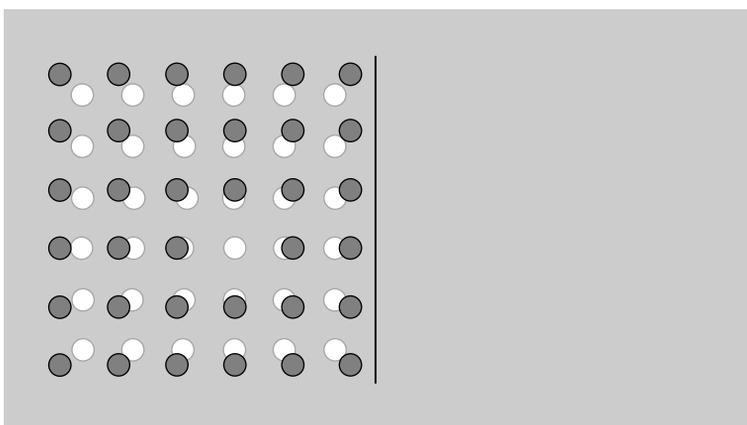
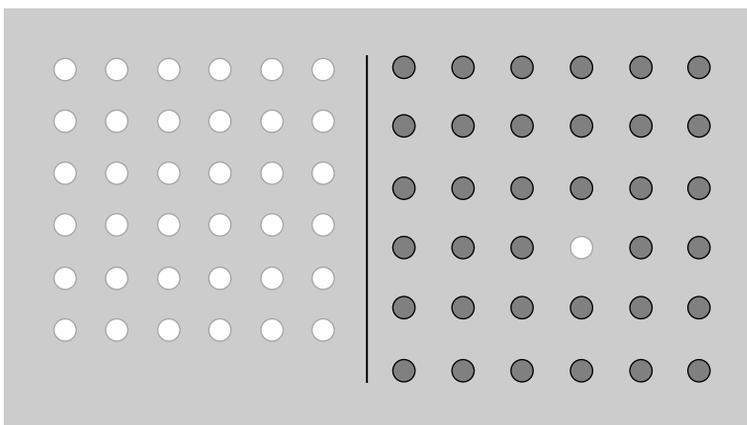


Чтобы увидеть, как будет выглядеть эволюция Вселенной с точки зрения этой галактики, я просто наложил правую картинку на левую, совместив «нашу» галактику на обеих картинках.



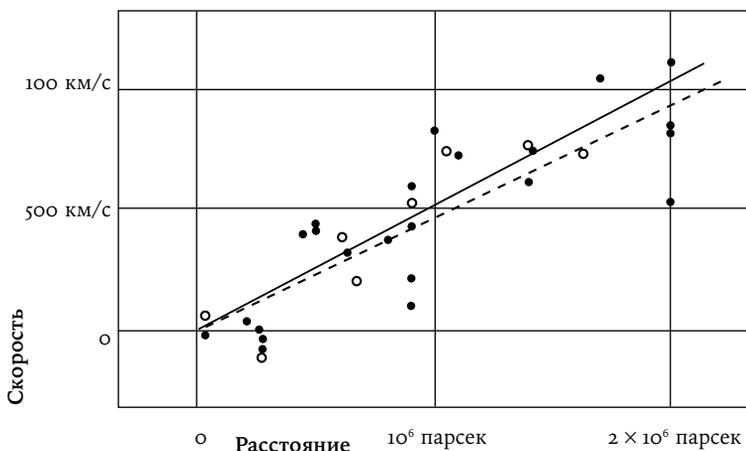
Вуаля! С точки зрения этой галактики все остальные удаляются от нее, причем те, которые в два раза дальше, удаляются в два раза быстрее, а те, которые дальше в три раза, — в три раза быстрее, и т. д. Если у Вселенной нет границ, обитателям галактики кажется, что в центре расширения находятся именно они.

Какую именно галактику при этом выбрать, неважно. Возьмем другую галактику и повторим операцию:



Таким образом, все зависит от точки зрения: или *каждая точка* — центр Вселенной, или же *ни одна из них* не центр Вселенной. Это неважно: закон Хаббла соответствует картине расширяющейся Вселенной.

Так вот, когда в 1929 г. Хаббл и Хьюматон опубликовали результаты своего анализа, они не только сообщили, что обнаружили линейную зависимость между расстоянием и скоростью разбегания, но и сделали количественную оценку темпа расширения. Вот данные, которые они тогда представили:



Как видите, идея провести на графике с такой совокупностью данных прямую линию представляется лишь относительно удачной догадкой Хаббла. Очевидно, что какая-то зависимость есть, но на основании одних только этих данных далеко не очевидно, что именно прямая линия лучше всего ее описывает. Числа, которые получили Хаббл и Хьюматон и которые отражены на графике, показывают, что галактика на расстоянии в 1 млн парсек

от нас (3 млн световых лет с лишним) — а именно таково среднее расстояние между галактиками — удаляется от нас со скоростью 500 км/с. Однако эту оценку удачной не назовешь.

Почему — более или менее понятно. Если в наши дни все разбегается в стороны, значит, в прошлом все было ближе друг к другу. А если на все действует сила притяжения, она должна замедлять расширение Вселенной. Это значит, что галактика, которая, как мы наблюдаем сегодня, удаляется от нас со скоростью 500 км/с, раньше должна была двигаться быстрее.

Но, если мы на секунду допустим, что галактика всегда уносилась прочь с такой скоростью, можно посчитать все «в обратном порядке» и выяснить, как давно она занимала то же положение, что и наша Галактика. Поскольку галактики, расстояние до которых вдвое больше, движутся вдвое быстрее, расчеты покажут, что они все одновременно окажутся там же, где и мы. И правда: вся наблюдаемая Вселенная была сосредоточена в одной точке в момент Большого взрыва, а когда именно, мы как раз и оцениваем.

Понятно, что такая оценка — верхний предел возраста Вселенной, поскольку если галактики когда-то двигались быстрее, то оказались бы там, где находятся сейчас, скорее, чем показывает эта оценка.

Так вот, такая оценка на основании расчетов Хаббла показывала, что Большой взрыв произошел примерно 1,5 млрд лет назад. Но даже в 1929 г. накопилось достаточно данных, чтобы было очевидно всем (кроме разве что сектантов, буквально понимающих Священное Писание, — они еще сохранились в Теннесси, в Огайо и в нескольких других штатах), что Земля старше 3 млрд лет.

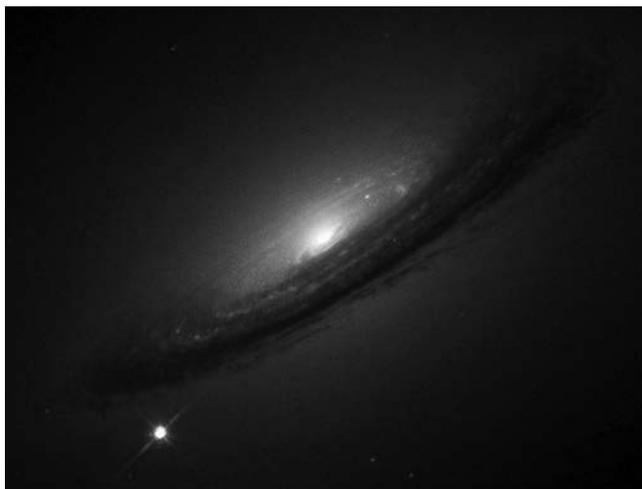
.....

Конечно, когда ученые устанавливают, что Земля старше Вселенной, получается как-то неловко. А главное, становится очевидно, что в анализе что-то не так.

Причина путаницы оказалась проста: оценки расстояний Хаббл делал по соотношениям для цефеид в нашей Галактике, и эти оценки имели систематическую ошибку. Шкала расстояний, основанная на том, что по данным ближних цефеид оценивалась дистанция до дальних, а затем — до галактик, в которых наблюдались еще более далекие цефеиды, оказалась неверной.

История о том, как исправляли эти систематические эффекты, слишком длинна и запутанна, чтобы излагать ее здесь, — впрочем, это уже неважно, потому что теперь у нас есть куда более точный механизм оценки расстояний.

Приведу одну из моих любимых фотографий, сделанных космическим телескопом «Хаббл»*.



.....
* Полноцветные иллюстрации (здесь и далее) можно увидеть на с. 49–56. —
Прим. ред.

.....

На ней изображена одна прелестная спиральная галактика далеко-далеко отсюда (и так выглядела она давным-давно, потому что свет от нее добирался до нас довольно долго, более 50 млн лет). В подобной спиральной галактике, похожей на нашу, насчитывается около 100 млрд звезд. В ее ярком ядре, наверное, около 10 млрд звезд. Обратите внимание на звезду внизу слева: она сияет почти так же ярко, как и эти 10 млрд звезд. На первый взгляд резонно предположить, что это просто звезда из нашей собственной Галактики, расположенная гораздо ближе и случайно попавшая в кадр. Но на самом деле это звезда из той самой далекой галактики, до которой более 50 млн световых лет.

Разумеется, это не обычная звезда. Это звезда, которая только что взорвалась, — сверхновая, чуть ли не ярчайший фейерверк во Вселенной. Когда звезда взрывается, она ненадолго — примерно на месяц — начинает сиять в видимом свете с яркостью в 10 млрд звезд.

К счастью для нас, взрываются звезды не очень часто — в каждой отдельно взятой галактике примерно раз в 100 лет. Однако нам повезло, что это все-таки случается: если бы не сверхновые, нас бы с вами не было. То, что каждый атом в наших организмах когда-то был частью взорвавшейся звезды, — едва ли не самый романтичный факт, касающийся Вселенной. Более того, атомы правой руки, возможно, происходят не из тех же звезд, что атомы левой. Все мы буквально дети звезд, и тела наши созданы из звездной пыли.

Откуда мы это знаем? Дело в том, что картину Большого взрыва можно экстраполировать в прошлое до того времени, когда Вселенной было около секунды от роду, и мы подсчитали, что все наблюдаемое вещество было

сжато в плотную плазму, температура которой насчитывала тогда около 10 млрд градусов по шкале Кельвина. При такой температуре легко идут ядерные реакции между протонами и нейтронами, они то соединяются, то распадаются из-за дальнейших столкновений. Если проследить этот процесс по мере остывания Вселенной, можно предсказать, как часто эти первые составные части атомов будут связываться и создавать ядра атомов тяжелее водорода, то есть гелия, лития и т. д.

И тут мы обнаруживаем, что во время этого первобытного фейерверка — Большого взрыва — не формировались, в сущности, никакие ядра тяжелее лития, ядро которого занимает третье место по легкости. Мы уверены, что не ошиблись в вычислениях, поскольку наши прогнозы относительной распространенности легчайших элементов полностью совпадают с данными наблюдений. Распространенность легчайших элементов — водорода, дейтерия (тяжелый водород с дополнительным нейтроном в ядре), гелия и лития — различается на десять порядков: около 25% всех протонов и нейтронов (по массе) находят свое место в ядрах гелия, и лишь 1 из 10 млрд нейтронов и протонов оказывается в ядре лития. На этом огромном диапазоне данные наблюдений полностью совпадают с теоретическими расчетами.

Это одно из самых известных, значительных и успешных предсказаний, которые подтверждают, что Большой взрыв и вправду был. *Только горячий Большой взрыв мог породить наблюдаемую распространенность легких элементов и при этом соответствовать наблюдаемому сегодня расширению Вселенной.* Я всегда держу в заднем кармане карточку, на которой написано сравнение предсказанной распространенности легких элементов с наблюдаемыми

ее значениями, чтобы показывать ее каждый раз, когда мне встречается кто-то, кто не верит в Большой взрыв. Правда, до этого в спорах почти никогда не доходит, поскольку точные данные не производят должного впечатления на людей, которые заранее убеждены, что в картине что-то не так. Но я все равно ношу с собой эту карточку и чуть дальше обязательно познакомлю вас с тем, что в ней написано.

Есть люди, для которых литий важен, однако для нас с вами гораздо важнее более тяжелые ядра — углерод, азот, кислород, железо и т. д. Они в результате Большого взрыва *не возникли*. Создание их возможно только в раскаленных недрах звезд. А попасть к вам в организм они сумеют, только если звезда окажет им любезность и взорвется, развевая свое содержимое по космосу, и тогда в один прекрасный день атомы встретятся, соединятся и войдут в состав маленькой голубой планетки, расположенной возле звезды по имени Солнце. За всю историю нашей Галактики в ней взорвалось около 200 млн звезд. Эти сонмища звезд пожертвовали собой, если хотите, ради того, чтобы вы когда-нибудь родились. По-моему, они подходят на роль спасителя ничуть не хуже любой другой кандидатуры.

Как показали тщательные исследования, проведенные в 1990-е гг., взрывающиеся звезды определенной разновидности, так называемые сверхновые типа Ia, обладают замечательным свойством: те из них, которые имеют бóльшую светимость*, светят дольше. Эмпирически эта зависимость прослеживается очень надежно, хотя теоретически мы еще не вполне понимаем, почему это так. А значит, такие

.....
* Принятое в астрономии название для энергии, излучаемой звездой в единицу времени. — *Прим. науч. ред.*

сверхновые служат прекрасными «стандартными свечами». С их помощью можно калибровать расстояния, поскольку их светимость можно определить посредством измерения, которое не зависит от расстояния. Если мы обнаружили сверхновую такого типа в далекой галактике, — а это нам по силам, потому что они очень яркие, — то можно пронаблюдать, сколько времени она светится, и установить ее светимость. А тогда, измеряя ее видимую яркость с помощью телескопа, можно точно подсчитать, на каком расстоянии от нас находится и сама сверхновая, и ее галактика. Затем, измерив красное смещение света звезд в этой галактике, можно определить ее скорость, сравнить скорость движения галактики с расстоянием до нее и сделать вывод о темпе расширения Вселенной.

Замечательно, но, если сверхновые в отдельно взятой галактике взрываются только раз в 100 лет, каков шанс, что нам доведется это увидеть? Ведь последнюю сверхновую в нашей Галактике наблюдал еще Иоганн Кеплер в 1604 г.! Говорят, что сверхновые в нашей Галактике наблюдаются только при жизни великих астрономов, а Кеплер, безусловно, заслуживает такого звания.

Сначала Кеплер был простым учителем математики в Австрии, а затем стал помощником астронома Тихо Браге, который тоже — еще до Кеплера — наблюдал сверхновую в нашей Галактике и за это получил в дар от датского короля целый остров. На основании данных о положении планет, собранных Браге более чем за 10 лет, Кеплер в начале XVII в. вывел три своих знаменитых закона движения планет:

1. Планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам.
2. *Линия*, соединяющая планету с Солнцем, заметает равные *площади* за равные промежутки времени.

3. Квадрат *периода обращения планеты по орбите* прямо пропорционален *кубу большой полуоси* его орбиты (то есть большой полуоси эллипса — половине самой длинной из осей, проходящих через его центр).

А эти законы, в свою очередь, почти 100 лет спустя легли в основу закона всемирного тяготения Ньютона. Но это не единственное замечательное достижение Кеплера: он еще и успешно защитил собственную мать от обвинений в колдовстве, и написал, возможно, первое в истории научно-фантастическое произведение — о путешествии на Луну.

В наши дни, чтобы увидеть сверхновую, надо просто посадить по аспиранту наблюдать за каждой галактикой в небе. Ведь в космических масштабах 100 лет — это период, не слишком сильно отличающийся от среднего времени написания диссертации, а аспиранты дешевы и многочисленны. Однако, к счастью, можно обойтись и без таких крайних мер — по очень простой причине: Вселенная стара и очень велика, а поэтому редкие события происходят в ней все время.

Так что отправляйтесь как-нибудь ночью на лесную поляну или в пустыню, где хорошо видно звезды, и поднимите руку к небу, соединив большой и указательный пальцы в кружок размером примерно с десятицентвик*. Нацельтесь на темный участок неба, где звезд вообще не видно. В достаточно большие телескопы, которыми сегодня пользуемся мы, астрономы на этом клочке

.....
* Примерно соответствует диаметру современного российского рубля. —
Прим. ред.

.....

неба могут различить около 100 000 галактик, и в любой из них — миллиарды звезд. А поскольку в каждой из этих галактик в среднем раз в 100 лет взрывается сверхновая, можно ожидать, что в каждую конкретную ночь на этом участке неба взорвется примерно три звезды.

Именно так астрономы и поступают. Они запрашивают время для работы на телескопе — и в какие-то ночи наблюдают одну сверхновую, в какие-то — две, а иногда погода стоит пасмурная и вообще ничего не видно.

Вот таким способом несколькими исследовательским группам удалось определить постоянную Хаббла с погрешностью менее 10%. Новая величина — около 70 км/с для галактик, находящихся от нас на среднем расстоянии в 3 млн световых лет, — почти на порядок меньше, чем получилось у Хаббла и Хьюмасона. В результате мы делаем вывод, что возраст Вселенной ближе к 13 млрд лет, а вовсе не к 1,5 млрд лет.

Как я еще покажу, эта цифра полностью совпадает с независимыми оценками возраста самых старых звезд в нашей Галактике. Четыреста лет современной науки — от Браге до Кеплера, от Леметра до Эйнштейна и Хаббла, от спектров звезд до распространенности легких элементов — составили яркую, непротиворечивую картину расширяющейся Вселенной. Все сходится. Концепция Большого взрыва находится в отличной форме.

ГЛАВА 2

САГА О ТАЙНАХ ВСЕЛЕННОЙ: КОСМОС НА ВЕС

Бывает известное известное. Это вещи, о которых мы знаем, что их знаем. Бывает известное неизвестное. Это, так сказать, вещи, о которых мы знаем, что их не знаем. Но бывает еще и неизвестное неизвестное. Это вещи, о которых мы не знаем даже того, что о них не знаем.

Дональд Рамсфелд

Теперь, когда мы установили, что у Вселенной было начало и зародилась она в определенный момент в прошлом, приходит на ум резонный вопрос: «А как она закончится?»

Вообще говоря, именно этот вопрос заставил меня в свое время покинуть родное поприще — физику частиц — и углубиться в дебри космологии. В 1970-е и 1980-е гг. с появлением все новых и новых результатов детальных измерений движения звезд и газа в нашей Галактике, а также движения галактик в крупных скоплениях, так называемых кластерах, напрашивался все более

очевидный вывод, что во Вселенной есть нечто такое, чего не видно ни невооруженным глазом, ни даже в телескоп.

Главная сила, которая действует на огромных пространствах галактик, — гравитация, поэтому измерение движения объектов на подобных масштабах позволяет исследовать гравитационное притяжение, которое управляет этими движениями. Подобные измерения начались с новаторской работы американского астронома Веры Рубин и ее коллег в начале 1970-х гг. Рубин защитила диссертацию в Джорджтаунском университете, а до этого училась на вечернем отделении, причем муж дождался ее в машине, потому что она водить не умела. Вера подавала документы в Принстон, в магистратуру по астрономии, но туда до 1975 г. не принимали женщин. В итоге Рубин стала лишь второй женщиной, получившей золотую медаль Королевского астрономического общества. Эта награда и многочисленные заслуженные почести достались ей благодаря революционным измерениям скорости вращения нашей Галактики. Вера Рубин наблюдала звезды и горячий газ, находившиеся на все большем расстоянии от центра нашей Галактики, и определила, что эти области движутся гораздо быстрее, чем должны были бы, если бы сила гравитации, управляющая их движением, соответствовала массе всех наблюдаемых объектов в пределах Галактики. Впоследствии благодаря трудам Рубин космологам стало ясно, что объяснить это движение можно лишь одним способом — предположить, что масса нашей Галактики гораздо больше, чем суммарная расчетная масса *всех* звезд и *всего* горячего газа, наблюдаемых в ней.

Однако в этой гипотезе была одна неувязка. Те самые расчеты, которые прекрасно описывали наблюдаемую во Вселенной распространенность легких элементов

(водорода, гелия и лития), также говорили нам о том, сколько всего во Вселенной должно существовать протонов и нейтронов — составных частей обычного вещества. Тут все как в кулинарном рецепте, просто кухня у нас ядерная: объем получившегося блюда зависит от того, сколько в него положить каждого из ингредиентов. Если удваиваешь рецептуру — кладешь, например, четыре яйца вместо двух, то конечного продукта, в данном случае глазуньи, получится в два раза больше. И тем не менее первоначальная плотность протонов и нейтронов во Вселенной, возникшая при Большом взрыве, если определить ее в соответствии с наблюдаемым количеством водорода, гелия и лития, давала примерно в два раза больше материала, чем мы видим в звездах и раскаленном газе. Где же все эти частицы?

Придумать, где спрятать протоны и нейтроны, довольно легко (ни сугробы, ни планеты, ни специалисты по космологии не излучают свет), поэтому многие физики предположили, что существуют какие-то невидимые — «темные» — объекты, в которых столько же протонов и нейтронов, сколько и в видимых. Однако, если посчитать, сколько этого «темного вещества» нужно, чтобы объяснить движение видимого вещества в нашей Галактике, мы обнаружим, что отношение общего количества вещества к видимому — вовсе не 2 к 1, а скорее 10 к 1. И если это не ошибка, то темное вещество не может состоять из протонов и нейтронов. Их просто не хватит.

В начале 1980-х гг. я был юным физиком со специализацией по элементарным частицам, и когда узнал о том, что, вероятно, существует экзотическое темное вещество, то пришел в восторг. Ведь из этого буквально следовало, что доминирующие частицы во Вселенной — это не старые добрые нейтроны и протоны, которых кругом

навалом, а, возможно, какая-то совершенно новая элементарная частица, нечто, чего в наши дни нет на Земле, нечто загадочное, струящееся меж звезд — какой-то тайный режиссер-постановщик гравитационного балета, который мы зовем Галактикой.

Однако лично меня еще больше приводили в восторг три новых направления исследований, которые потенциально могли представить мироздание в совершенно новом свете.

1. Если эти частицы были порождены Большим взрывом, как и легкие элементы, о которых я уже писал, мы наверняка можем опереться на наши знания о силах, определяющих взаимодействия элементарных частиц (а не ядер, взаимодействия между которыми важны при определении распространенности химических элементов), чтобы оценить количество возможных экзотических новых частиц в сегодняшней Вселенной.
2. Может быть, удастся вывести общее количество темного вещества во Вселенной на основании теоретических идей в физике элементарных частиц либо предложить новые эксперименты по обнаружению темного вещества; и то и другое покажет, сколько имеется вещества в целом, а следовательно, какова геометрия нашей Вселенной. Задача физики — не изобретать то, чего мы не видим, чтобы объяснить то, что мы видим, а разобраться, как увидеть то, чего мы не можем видеть, — увидеть то, что раньше было невидимым, то есть известное неизвестное. Каждый новый кандидат на темное вещество из числа элементарных частиц подразумевает

новые эксперименты, которые позволили бы непосредственно зарегистрировать частицы темного вещества в их шествию через Галактику: надо построить на Земле приборы, которые бы регистрировали такие частицы, когда Земля пересекает их путь в космосе. Если частицы темного вещества пронизывают всю Галактику рассеянными потоками, значит, они уже здесь, вокруг нас, их присутствие могут выявить наземные детекторы, и можно не высматривать в телескопы далекие объекты.

3. Если мы сумеем определить природу темного вещества и его количество, то, пожалуй, сможем предсказать, каков будет конец Вселенной.

Последний пункт, наверное, самый интересный, поэтому начну с него. Честно говоря, я на самом деле пошел в космологию потому, что хотел стать первым, кто узнает, чем кончится история Вселенной.

Тогда это казалось отличной идеей.

Главной идеей общей теории относительности Эйнштейна было предположение о том, что в присутствии вещества или энергии пространство искривляется. Эта теоретическая идея перестала быть чистой спекуляцией в 1919 г., когда две экспедиции пронаблюдали, как свет звезд огибает Солнце во время солнечного затмения в точности в той степени, в какой должен был, если присутствие Солнца искривляет пространство по Эйнштейну. Автор теории практически мгновенно прославился — и теперь его имя знают все. (Правда, большинство считает, будто известность ему принесло уравнение $E = mc^2$, полученное на 15 лет раньше, но это лишь распространенное заблуждение.)

Так вот, если пространство потенциально искривлено, то геометрия всей нашей Вселенной становится гораздо интереснее. В зависимости от общего количества вещества во Вселенной она может существовать в геометрии каждого из трех типов — речь идет о так называемых *открытой, замкнутой* и *плоской* моделях Вселенной.

Вообразить, как именно выглядит искривленное трехмерное пространство, довольно трудно. Поскольку мы существа трехмерные, нам не легче интуитивно представить себе искривленное трехмерное пространство, чем двумерным героям знаменитой книги про Флатландию* вообразить, как выглядел бы их мир в глазах трехмерного наблюдателя, если бы, например, оказался искривлен наподобие поверхности сферы. Более того, если кривизна невелика, трудно представить себе, как ее можно обнаружить в повседневной жизни, — точно так же, как в Средние века многие были уверены, что Земля плоская, поскольку она выглядела плоской.

Представить себе искривленную трехмерную Вселенную, повторяю, довольно сложно. Вот, скажем, замкнутая Вселенная — это трехмерная сферическая поверхность в четырехмерном пространстве, что само по себе звучит устрашающе. Зато эти пространства в некотором смысле легко описать. Если в замкнутой Вселенной долго-долго смотреть в одном направлении, то в конце концов увидишь собственный затылок.

Хотя эти экзотические геометрии могут показаться чистым курьезом, а то и попыткой произвести впечатление в беседе, на практике из их существования проистекали бы

* Вымышленный двумерный мир, описанный Эдвином Эбботтом. —
Прим. науч. ред.

намного более важные последствия. ОТО недвусмысленно утверждает, что замкнутая Вселенная, в которой плотность энергии определяется в основном веществом вроде звезд и галактик и в еще больше степени — экзотическим темным веществом, в один прекрасный день должна схлопнуться — в сущности, это будет процесс Большого взрыва наоборот, Большой хруст, если угодно. Открытая Вселенная будет и дальше расширяться с конечной скоростью, а плоская Вселенная занимает промежуточное положение: ее расширение будет замедляться, но никогда не остановится.

Поэтому определение количества темного вещества, а следовательно, общей плотности массы во Вселенной обещало дать ответ на извечный вопрос (а если и не извечный, то, по крайней мере, такой же древний, как поэт Т. С. Элиот): чем же кончится мир — взрывом или стоном? Сага об определении общего количества темного вещества насчитывает уже как минимум полвека, и о ней можно написать целую книгу — на самом деле я так и сделал, и книга называется «Квинтэссенция» (Quintessence). Но сейчас я продемонстрирую, что одна-единственная картинка действительно может стоить тысячи (а то и ста тысяч) слов, но сделаю это сначала все-таки словами и только потом — картинкой.

Самые крупные гравитационно связанные объекты во Вселенной называются *сверхскоплениями галактик*. Они состоят из тысяч, а то и больше отдельных галактик и могут тянуться на десятки миллионов световых лет. Большинство галактик входят в подобные сверхскопления; в частности, наша собственная Галактика находится в сверхскоплении Девы, центр которого расположен почти в 60 млн световых лет от нас.

Поскольку сверхскопления так велики и массивны, почти все вещество во Вселенной входит в какое-нибудь скопление. А значит, если мы сумеем «взвесить» сверхскопления галактик, а затем оценить общую плотность таких сверхскоплений во Вселенной, то получим возможность «взвесить Вселенную» вместе с темным веществом. Сделав это, мы на основе уравнений ОТО определим, достаточно ли у нас вещества, чтобы Вселенная замкнулась.

Пока все неплохо, но как взвесить объекты с габаритами в десятки миллионов световых лет? Проще простого. У нас же есть гравитация.

В 1936 г. Альберт Эйнштейн по настоянию астронома-любителя Руди Мандла опубликовал в журнале *Science* заметку под названием «Линзоподобное действие звезды при отклонении света в гравитационном поле». В этой краткой статье Эйнштейн рассказал о примечательном явлении: само пространство может действовать как линза, то есть искривлять и усиливать свет, в точности как линзы в моих очках.

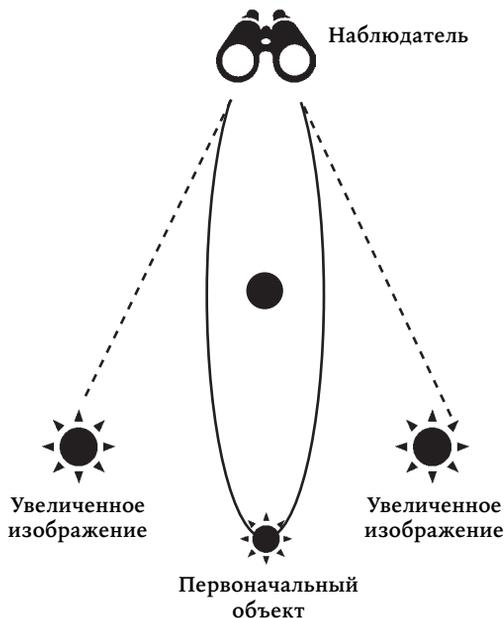
В то время нравы в научном сообществе были куда как мягче, и интересно читать, как неформально начинает Эйнштейн свою статью, опубликованную, между прочим, в авторитетном научном журнале: «Некоторое время тому назад меня навестил Р. Мандл и попросил опубликовать результаты небольшого расчета, который я провел по его просьбе. Уступая его желанию, я решил опубликовать эту заметку»*. Не исключено, что подобный задушевный тон не возбуждался одному только Эйнштейну, но мне

.....
* Здесь и далее цит. по: Эйнштейн А. Собрание научных трудов в четырех томах. — М.: Наука, 1965. — *Прим. пер.*

приятнее полагать, что это просто продукт эпохи, когда научные результаты не всегда облакались в слова, недоступные пониманию простых смертных.

Так или иначе, то, что свет следует по искривленной траектории, если само пространство искривляется в присутствии вещества, стало первым значительным прогнозом ОТО и открытием, которое, как я уже упоминал, принесло Эйнштейну международную славу. Поэтому, возможно, не стоит удивляться, что (как было недавно обнаружено) еще в 1912 г., то есть задолго до того, как Эйнштейн завершил работу над ОТО, он пытался найти какое-то наблюдаемое явление, которое убедило бы астрономов в правоте его теории, и проделал практически те же вычисления, что были изложены по просьбе мистера Мандла в статье 1936 г. Быть может, тогда, в 1912 г., он не стал публиковать свои расчеты, потому что пришел к тому же выводу, что и в статье 1936 г.: «Конечно, нельзя надеяться на то, что удастся прямо наблюдать это явление». Более того, изучая его записные книжки обоих периодов, нельзя сказать с уверенностью, что он вообще помнил, что 24 года назад занимался теми же расчетами.

Зато в обоих случаях он прекрасно понимал, что искривление света в гравитационном поле может означать, что если яркий объект расположен далеко позади большой массы, то свет, идущий от него разными путями, может огибать этот массивный объект и сходиться снова, в точности как при прохождении сквозь обычную линзу, и тогда либо первоначальный объект окажется увеличен, либо получится несколько копий его изображения, причем некоторые из них будут искажены (см. рисунок на следующей странице).



Когда Эйнштейн вычислил ожидаемый эффект от линзирования далекой звезды другой звездой, расположенной в промежутке, эффект оказался очень мал и представлялся совершенно неизмеримым. Поэтому-то Эйнштейн и сделал в статье оговорку о том, что такое явление едва ли удастся когда-нибудь пронаблюдать. В результате Эйнштейн заключил, что его статья не имеет особой практической ценности. Вот как он писал об этом редактору *Science*: «Позвольте также поблагодарить вас за содействие в публикации заметки, которую выжал из меня мистер Мандл. Пользы от нее никакой, зато бедняге будет приятно».

Однако Эйнштейн не был астрономом — а нужен был именно астроном, чтобы разобраться, что эффект,

который он предсказал, можно не просто измерить, но еще и извлечь из него пользу. Для этого понадобилось оценить эффект гравитационной линзы, который оказывают на далекие объекты гораздо более крупные системы — галактики и даже скопления галактик, поскольку линзирование звезд звездами и правда слишком слабо. Не прошло и нескольких месяцев после публикации заметки Эйнштейна, как блистательный астроном из Калифорнийского технологического института Фриц Цвикки представил в журнал *Physical Review* статью, в которой показал практическую осуществимость именно такой схемы (и тем самым косвенным образом упрекнул Эйнштейна в том, что тот думал только о звездах и не сообразил, какими мощными гравитационными линзами могут служить галактики).

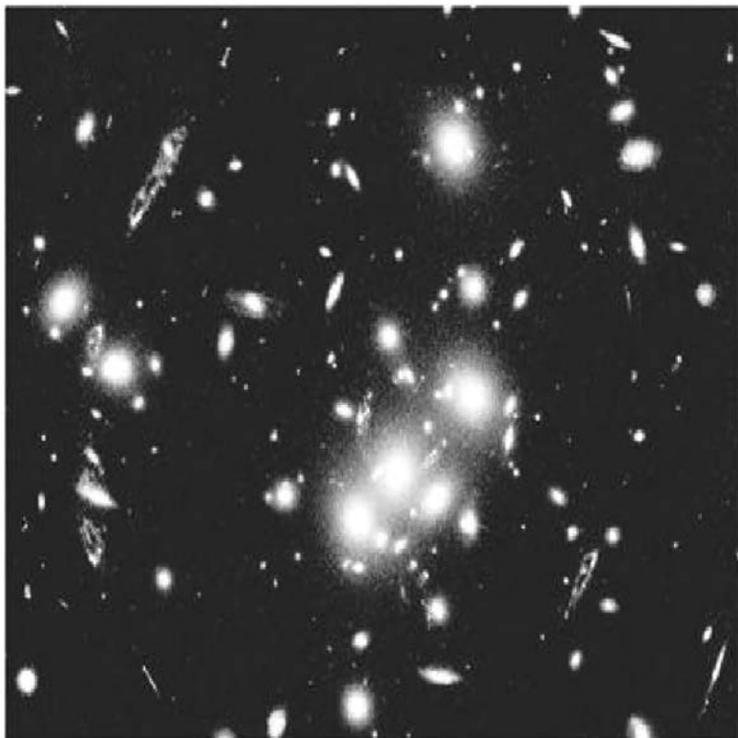
Цвикки славился вспыльчивым характером, зато далеко опережал свое время. Так, он еще в 1933 г. проанализировал относительное движение галактик в скоплении Волосы Вероники и на основании законов Ньютона определил, что галактики движутся так быстро, что должны были бы давно разлететься в стороны, а скопление — распасться. И если этого не произошло, то масса скопления гораздо больше — в 100 с лишним раз, — чем масса одних только звезд. Именно Цвикки по праву можно считать первооткрывателем темного вещества, хотя в то время его вывод был настолько неожиданным, что большинство астрономов, скорее всего, считали, что должно найтись какое-то другое объяснение, не такое экзотическое.

Статья Цвикки, опубликованная в 1937 г. и занимавшая всего страницу, была не менее примечательной. Он предложил три разных способа применения гравитационных линз: 1) проверка ОТО, 2) использование близлежащих

галактик как своего рода космического телескопа для увеличения далеких объектов, которые иначе невозможно рассмотреть в земные телескопы, а главное — 3) ответ на загадку, почему скопления как будто весят гораздо больше, чем можно приписать одному лишь видимому веществу: «Наблюдения отклонения света вокруг туманностей способны обеспечить самое прямое определение масс туманностей и разъяснить вышеуказанное несоответствие».

Статье Цвикки уже более 80 лет, однако читается она как вполне современное предложение применять гравитационные линзы для исследования Вселенной. И в самом деле, сбылись все до единого прогнозы Цвикки, включая и самый главный — последний. Гравитационное линзирование далеких квазаров расположенными ближе них галактиками удалось пронаблюдать в 1987 г., а в 1998 г., спустя 61 год после того, как Цвикки предложил взвешивать туманности при помощи гравитационных линз, этот метод позволил определить массу крупного скопления.

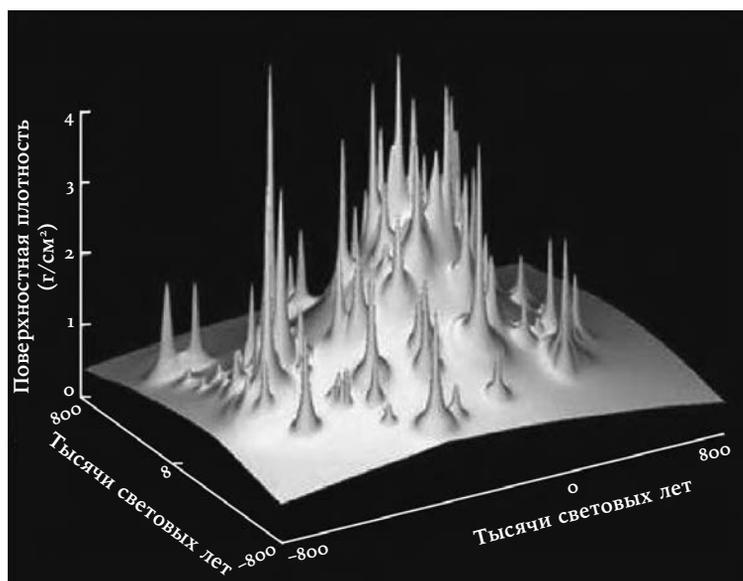
В тот год физик Тони Тайсон и его коллеги из исследовательского центра Bell Laboratories (в свое время заслуженно увенчанного всевозможными лаврами, в том числе и нобелевскими, за самые разные достижения — от изобретения транзистора до открытия реликтового излучения) пронаблюдали крупное далекое скопление, получившее поэтичное название CL0024+1654, которое находится на расстоянии около 5 млрд световых лет от нас. Великолепный снимок космического телескопа имени Хаббла стал ярким примером кратного изображения далекой галактики, находящейся еще на 5 млрд световых лет дальше скопления. Видите сильно искаженные продолговатые пятнышки среди других галактик, в основном более округлых?



Когда разглядываешь этот снимок, он будоражит воображение. Во-первых, каждое пятнышко на фото — не звезда, а галактика. Каждая галактика состоит, может быть, из 100 млрд звезд, а при них, вероятно, сотни миллиардов планет, и среди них, не исключено, — давно погибшие цивилизации. Я говорю «давно погибшие», поскольку этой картинке 5 млрд лет. Свет оттуда отправился в путь за 500 млн лет до того, как сформировались наше Солнце и Земля. Многих звезд, запечатленных на этом снимке, давно уже нет, они израсходовали свое ядерное топливо миллиарды лет назад. Далее, искаженные

очертания галактик — это именно тот эффект, о возможности которого говорил Цвикки. Большие искаженные изображения левее центра снимка — это сильно увеличенные (и вытянутые) версии той далекой галактики, которую иначе, вероятно, вообще не было бы видно.

Вычислить распределение массы в скоплении исходя из этого изображения — сложная и многоступенчатая математическая задача. Для ее решения Тайсону пришлось создать компьютерную модель скопления и проследить на основе законов ОТО все возможные пути, которыми свет источника может пройти сквозь скопление — и так до тех пор, пока итог не будет в наилучшей степени соответствовать наблюдениям ученых. В конце концов Тайсон с сотрудниками построил графическое изображение, которое точно показывало, где расположена масса в системе, запечатленной на изначальном снимке.



Картина получилась очень странная. Пики на графике показывали расположение галактик, видимых на снимке, однако основная масса в системе была распределена *между* галактиками, причем достаточно равномерно. В сущности, между галактиками находилось в 40 с лишним раз больше массы, чем содержит видимое вещество системы (и в 300 раз больше массы, чем содержится в одних только звездах: остальное видимое вещество представлено горячим газом вокруг них). Было очевидно, что темное вещество не сосредоточено в границах отдельных галактик и в то же время составляет основную массу в скоплениях.

Специалисты по элементарным частицам, в том числе и я, ничуть не удивились, когда обнаружилось, что темное вещество доминирует и в скоплениях. Хотя у нас не было ни единого прямого доказательства, все мы надеялись, что темного вещества окажется достаточно, чтобы наша Вселенная стала плоской, а для этого его должно было оказаться более чем в 100 раз больше, чем видимого вещества.

Причина была проста: только плоская Вселенная обладает математической красотой. Почему? Следите за ходом моей мысли.

Независимо от ответа на вопрос, достаточно ли темного вещества, чтобы Вселенная оказалась плоской, наблюдения, полученные путем гравитационного линзирования (я напомним, что эффект гравитационной линзы — это результат локального искривления пространства вокруг массивных объектов, а то, плоская ли Вселенная, связано со средней кривизной пространства в целом, где не учитывается локальная рябь в окрестностях массивных объектов), а также относительно недавние результаты в других областях астрономии подтвердили, что общее количество

темного вещества в галактиках и скоплениях намного превосходит тот уровень, который можно допустить исходя из теории нуклеосинтеза после Большого взрыва. Сейчас мы, можно сказать, уверены, что темное вещество — а его существование, повторяю, подтверждается независимо в самых разных астрофизических контекстах, от отдельных галактик до скоплений галактик, — должно состоять из чего-то совершенно нового, чего-то такого, чего в обычных земных условиях не существует. Это не звездное вещество, но и не земное. Но что-то такое существует!

Первые выводы о существовании темного вещества в нашей Галактике породили совершенно новую область экспериментальной физики, и я рад отметить, что и сам сыграл роль в ее разработке. Как я уже говорил, частицы темного вещества окружают нас повсюду — и здесь, в комнате, где я набираю этот текст, и «там», в космосе. Следовательно, мы можем ставить эксперименты, чтобы искать темное вещество и элементарные частицы нового типа (или типов), из которых оно состоит.

Такие эксперименты проводятся в шахтах и туннелях глубоко под землей. Почему под землей? Потому что на поверхности Земли нас постоянно бомбардируют всевозможные космические лучи — и от Солнца, и от более далеких объектов. Поскольку темное вещество по самой своей природе не вступает в электромагнитное взаимодействие и не испускает свет, мы предполагаем, что оно взаимодействует с нормальным веществом очень слабо, поэтому зарегистрировать его будет невероятно трудно. Даже если мы каждый день подвергаемся бомбардировке миллионов частиц темного вещества, большинство из них проходят сквозь нас и сквозь Землю, даже не «заметив» нас, и мы их тоже не замечаем. Если хочешь обнаружить

крайне редкие исключения из этого правила — те частицы темного вещества, которые все-таки рассеялись на атомах обычного вещества, — готовься регистрировать крайне редкие события. А чтобы это стало хотя бы в принципе возможно, необходимо в достаточной степени отгородиться от космических лучей, то есть уйти под землю.

Однако сейчас, когда я пишу эти строки, появилась и другая возможность, не менее интересная. Недавно запущен Большой адронный коллайдер, расположенный в Швейцарии, недалеко от Женевы, и это самый крупный и мощный в мире ускоритель частиц. У нас есть много причин полагать, что при очень высоких энергиях, с которыми сталкиваются протоны в этой установке, воссоздаются условия первых мгновений существования Вселенной, пусть и в микроскопически малых масштабах. В этих объемах те же самые взаимодействия, которые когда-то породили частицы темного вещества в космосе, могут породить такие же частицы в лаборатории! То есть сейчас идет большая гонка: кто первым обнаружит частицы темного вещества — экспериментаторы глубоко под землей или экспериментаторы на Большом адронном коллайдере? Хорошая новость состоит в том, что, кто бы ни выиграл гонку, никто не проиграет. Выиграем мы все, поскольку узнаем, из чего на самом деле состоит это вещество.

Астрофизические эксперименты, о которых я рассказал выше, не раскрыли природу темного вещества, зато показали нам, какое количество этого вещества существует на свете. Окончательно и прямо определить общее количество вещества во Вселенной стало возможно благодаря изящным выводам из измерений, полученных при гравитационном линзировании, вроде тех, о которых я уже

говорил, в сочетании с наблюдениями рентгеновского излучения скоплений галактик. Независимую оценку общей массы скоплений можно провести потому, что температура газа в скоплениях зависит от общей массы системы, в которой он находится и излучает (в рентгеновском диапазоне). Результаты получились неожиданные и, как я уже упоминал, для многих из нас, ученых, огорчительные. Когда осела пыль (и буквально, и метафорически), оказалось, что общая масса, содержащаяся в галактиках и скоплениях и вокруг них, составляет лишь около 30% общего количества массы, которая нужна, чтобы Вселенная была плоской. Обратите внимание, что и это количество более чем в 40 раз больше массы видимого вещества, которое, таким образом, составляет менее 1% массы, необходимой для того, чтобы Вселенная оказалась плоской.

Эйнштейн был бы удивлен, если бы узнал, что его «статья» в конечном итоге оказалась совсем не пустой. Благодаря поразительным новым инструментам для наблюдений и экспериментов, открывшим новые окна в космос, новым теоретическим разработкам, которые привели бы Эйнштейна в восторг, а также открытию темного вещества, которое бы сильно его взволновало, крошечный шаг Эйнштейна в мир искривленного пространства обернулся колоссальным скачком. К началу 1990-х гг. Священный Грааль космологии, похоже, удалось обрести. Наблюдения однозначно показали, что мы живем в открытой Вселенной, которая, следовательно, расширяется и будет расширяться вечно.

Но показали ли?

ГЛАВА 3

СВЕТ ИЗ НАЧАЛА ВРЕМЕН

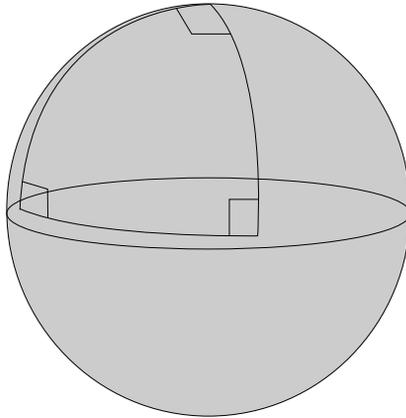
...и ныне, и присно, и во веки веков.

КРАТКОЕ СЛАВОСЛОВИЕ

Если вдуматься, то сама идея определять общую кривизну Вселенной посредством измерения общей массы, которая в ней содержится, и решать обратную задачу с помощью уравнений ОТО чревата серьезными трудностями. Неизбежно приходит в голову вопрос: не прячется ли где-нибудь вещество так, что нам его не найти? Например, мы можем догадываться о существовании невидимого вещества в наблюдаемых системах вроде галактик и их скоплений на основании гравитационной динамики. А вдруг значительная масса умудряется спрятаться от нас где-то еще, вне галактик и скоплений, и мы ее не замечаем? Лучше было бы непосредственно измерить геометрию непосредственно всей видимой Вселенной.

Но как измерить трехмерную геометрию всей видимой Вселенной? Можно начать с более простого вопроса: как определить, что какой-то двумерный объект — вроде поверхности Земли — изогнут, если не можешь обойти всю Землю или подняться над ней на космическом корабле и посмотреть вниз?

Сначала можно спросить у какого-нибудь старшеклассника, какова сумма углов треугольника (только школу надо выбрать попримечнее, и лучше не американскую). Вам скажут, что эта сумма составляет 180° , поскольку школьник, конечно, изучал евклидову геометрию, ту, которая ассоциируется с плоскими тетрадными страничками. На искривленной двумерной поверхности вроде шара можно начертить треугольник, сумма углов которого будет гораздо больше 180° . Например, представьте, что вы рисуете линию вдоль экватора, затем проводите перпендикуляр к ней, доходите до северного полюса, а затем снова строите прямой угол и опускаете перпендикуляр к экватору, как на рисунке внизу. Три угла по 90° — это 270° , гораздо больше 180° . Вуаля!



Оказывается, это простое двумерное рассуждение можно непосредственно и безупречно обобщить на три измерения, поскольку математики, первыми предложившие неплоские, или так называемые неевклидовы, геометрии, обнаружили, что такие же возможности сулят нам

и трехмерные пространства. Более того, самый знаменитый математик XIX в. — Карл Фридрих Гаусс — так увлекся идеей, что наша Вселенная искривлена, что на основании данных геодезических съемок для карт 1820-х и 1830-х гг. измерил огромные треугольники между немецкими горными вершинами Хоэр-Хаген, Инзельберг и Брокен в надежде обнаружить кривизну пространства. Разумеется, эти горы и сами по себе расположены на искривленной поверхности Земли, а значит, кривизна двумерной поверхности влияет на любые попытки измерить кривизну пространства, в котором находится Земля, и Гаусс, конечно, должен был это учитывать. Думаю, он собирался вычестить из конечного результата соответствующие слагаемые и проверить, останется ли какая-то кривизна, которую можно отнести к кривизне окружающего пространства.

Первым, кто попытался точно измерить кривизну пространства, был никому тогда не известный русский математик Николай Иванович Лобачевский, живший в далекой Казани. Лобачевский, в отличие от Гаусса, был одним из двух математиков, у кого хватило храбрости обнародовать свои представления о возможности так называемых «гиперболических» геометрий, в которых параллельные прямые могут расходиться. Примечательно, что Лобачевский еще в 1830 г. опубликовал свою работу о гиперболической геометрии (что на сегодняшнем языке именуется отрицательно искривленным пространством, или открытой Вселенной).

Вскоре после этого Лобачевский рассмотрел вопрос о том, может ли наша трехмерная Вселенная быть гиперболической, и предложил «исследовать звездный треугольник для экспериментального разрешения этого вопроса». Он предложил провести наблюдения яркой звезды

Сириус в те моменты, когда Земля находится в противоположных точках на орбите вокруг Солнца, то есть с промежутком в 6 месяцев. Из этих наблюдений Лобачевский сделал вывод, что кривизна нашей Вселенной должна быть как минимум в 166 000 раз больше радиуса земной орбиты. Казалось бы, большое число, но по космическим масштабам оно весьма скромное*.

Идея Лобачевского была правильная, просто ему, к несчастью, помешало несовершенство тогдашней техники. Однако 150 лет спустя положение заметно улучшилось благодаря важнейшим наблюдениям за всю историю космологии — исследованиям космического микроволнового (реликтового) излучения.

Реликтовое излучение — не что иное, как послесвечение Большого взрыва. Это очередное прямое доказательство, что Большой взрыв действительно был (если такие

.....

* Это утверждение сложным образом завязано на проводившиеся в 1830-е гг. пионерские измерения расстояний до звезд по параллаксам — угловому смещению светила на небе при перемещении Земли на радиус ее орбиты. Кевин Браун в книге «Размышления о теории относительности» (Reflections on Relativity) так уточняет суть предположения Лобачевского: если Вселенная действительно искривлена, то параллакс сколь угодно далекой звезды не может быть меньше определенной величины и каждый реально измеренный параллакс накладывает ограничения на эту величину. Лобачевский в серии статей «О началах геометрии» (1829–1830) использовал величину параллакса Сириуса, равную $1,24''$, из работы д'Асса де Мондандье, откуда и получил минимальную характеристическую длину k своей модели в 166 000 а.е., или 2,6 светового года. Однако в действительности параллакс Сириуса составляет лишь $0,375''$, что соответствует расстоянию в 8,7 св. года, причем первые реальные его оценки были сделаны в самом конце 1830-х гг. ($0,15''$ по данным Хендерсона и Бесселя и $0,27''$ по измерениям Аббе), а $1,24''$ — это собственное движение Сириуса по склонению. Из этой ошибочной величины Лобачевский также вывел сумму углов треугольника, вершинами которого служили Земля, Солнце и Сириус, и она оказалась меньше 180° на $0'',000372$. — *Прим. науч. ред.*

доказательства кому-то еще нужны), поскольку позволяет непосредственно заглянуть в прошлое и определить, какова была природа очень юной горячей Вселенной, из которой впоследствии возникло все, что мы наблюдаем сегодня.

В числе прочих поразительных свойств реликтового излучения — то, что открыли его не где-нибудь, а в Нью-Джерси и сделали это двое ученых, не имевших ни малейшего представления о том, что они, собственно, наблюдают. Другое дело, что мы десятки лет его не замечали, хотя оно было у нас прямо под носом и его вполне можно было зарегистрировать. Вероятно, даже вы видели своими глазами его влияние, если не слишком молоды и застали эпоху эфирного телевидения, когда каналы прекращали вещание за полночь и по ночам не гоняли рекламу. Если помните, после прекращения вещания показывали телевизионную настроечную таблицу, а потом экран демонстрировал шумы. Примерно 1% этих шумов был вызван реликтовым излучением, оставшимся от Большого взрыва.

Происхождение реликтового излучения более или менее очевидно. Поскольку возраст Вселенной конечен (напомню, ей 13,72 млрд лет) и чем больше расстояние до объекта, который мы рассматриваем, тем дальше в прошлое мы заглядываем (так как свету потребовалось больше времени, чтобы дойти от этих объектов до нас), то можно представить себе, что, если заглянуть достаточно далеко, мы увидим собственно Большой взрыв. В принципе в этом нет ничего невозможного, но на практике между нами и началом времен стоит непроницаемая стена. Не физическая, вроде стен комнаты, где я пишу эти строки, но в целом столь же эффективная.

Видеть сквозь стены моей комнаты я не могу, потому что они непрозрачные. Они поглощают свет. Так вот, если я буду смотреть в небо — все дальше и дальше в прошлое, — то я увижу Вселенную, которая будет чем дальше, тем моложе и жарче, потому что с момента Большого взрыва она только и делает, что остывает. Если я загляну достаточно далеко в прошлое, во времена, когда Вселенной было около 300 000 лет, то увижу, что ее температура составляла тогда около 3000 градусов по шкале Кельвина. При такой температуре фоновое излучение было настолько энергичным, что могло разбивать преобладающие во Вселенной атомы — атомы водорода — на отдельные составляющие, протоны и электроны. До этого времени нейтрального вещества не существовало. Обычное вещество во Вселенной, состоящее из атомных ядер и электронов, в ту пору представляло собой плотную плазму из заряженных частиц, взаимодействовавших с излучением.

Плазма же может быть непроницаемой для излучения. Заряженные частицы в плазме поглощают фотоны и испускают их заново, и излучение не способно беспрепятственно пройти через подобный материал. В результате, когда я пытаюсь заглянуть в прошлое, то не вижу ничего дальше того времени, когда вещество во Вселенной состояло в основном из такой плазмы.

Это очень похоже на стены моей комнаты. Я вижу их только потому, что электроны в атомах на поверхности стены поглощают фотоны света в моем кабинете, а потом излучают их заново, а воздух между мной и стеной прозрачен, поэтому я вижу все до самой поверхности стены, которая отражает свет. Так и во Вселенной. Когда я заглядываю в нее, то вижу все до этой «поверхности последнего рассеяния» — границы, на которой Вселенная становится

нейтральной: протоны соединяются с электронами и возникают нейтральные атомы водорода. Ближе этой границы Вселенная в основном проницаема для излучения, и я вижу излучение, которое поглощается и испускается электронами, с тех пор как вещество во Вселенной стало нейтральным.

Именно поэтому картина Вселенной, где произошел Большой взрыв, *предполагает*, что от этой поверхности последнего рассеяния в мою сторону должно отовсюду идти излучение. Поскольку Вселенная с тех пор расширилась примерно в 1000 раз, излучение по пути к нам остыло, и теперь его температура всего на 3° выше абсолютного нуля. Именно этот сигнал и обнаружили двое ничего не подозревавших ученых из Нью-Джерси в 1965 г. и впоследствии получили за это открытие Нобелевскую премию.

Более того, недавно за исследование реликтового излучения присудили еще одну Нобелевскую премию, и вполне заслуженно. Если бы мы могли сфотографировать поверхность последнего рассеяния, у нас получилась бы картина новорожденной Вселенной, возраст которой составляет всего-то 300 000 лет. Мы бы увидели все структуры, которым предстояло в один прекрасный день сколлапсировать в галактики, звезды, планеты, инопланетян и все прочее. А главное, эти структуры не были бы затронуты последовавшей динамической эволюцией, способной скрыть первоначальную природу и происхождение крошечных первичных возмущений вещества и энергии, которые, как предполагают, возникали в результате экзотических процессов в первые мгновения Большого взрыва.

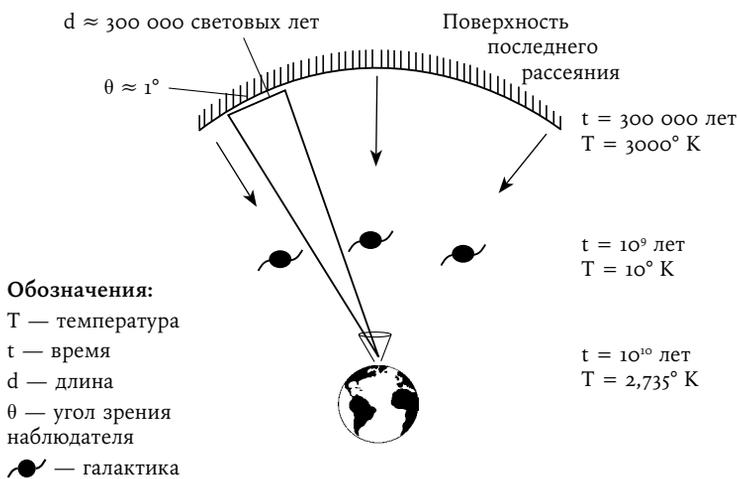
Однако для наших целей важно другое: эта поверхность будет иметь характерный масштаб, наложенный

самим временем. Вот как это проще себе представить: если взять на поверхности последнего рассеяния участок размером около 1° , это будет соответствовать расстоянию на этой поверхности примерно в 300 000 световых лет. Далее, поскольку поверхность последнего рассеяния отражает ситуацию в тот момент, когда Вселенной было около 300 000 лет, а Эйнштейн учит нас, что информация не может перемещаться быстрее света в вакууме, следовательно, в то время никакой сигнал не мог переместиться по этой поверхности дальше, чем на расстояние в 300 000 световых лет.

Теперь рассмотрим сгусток вещества размером меньше 300 000 световых лет. Этот сгусток начинает коллапсировать под воздействием собственной гравитации. Однако сгусток размером больше 300 000 световых лет даже не начнет этого делать, потому что он еще не «знает», что является сгустком. Гравитация сама по себе распространяется со скоростью света, поэтому не успевает пересечь сгусток целиком. То есть этот сгусток, совсем как герои американского мультика про Хитрого койота и Дорожного бегуна, когда они сбегают с утеса и висят в воздухе над обрывом, сидит и ждет, когда Вселенная станет старше, — и только тогда он поймет, что ему пора схлопываться!

Рассмотрим этот особый треугольник, одна из сторон которого равна 300 000 световым годам и удалена от нас на известное расстояние — расстояние до поверхности последнего рассеяния, как показано на рисунке.

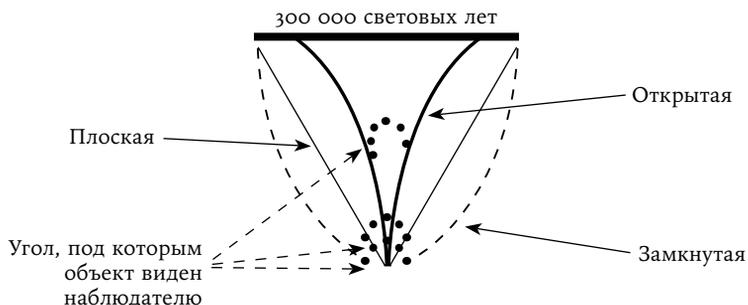
Самые большие сгустки материи, которые уже начали схлопываться, создавая нарушения в общей картине реликтового излучения, будут иметь как раз такие угловые размеры. Если мы сможем получить изображение этой поверхности, какой она была в то время, можно ожидать,



что «горячие пятна» в среднем будут как раз самыми крупными сгустками, видимыми на нем.

Однако будет ли максимальный угол, под которым видна эта дистанция, составлять ровно 1° , на самом деле определяется геометрией Вселенной. В плоской Вселенной световые лучи описывают прямые линии. В открытой Вселенной световые лучи, когда прослеживаешь их обратно во времени, изгибаются наружу, а в замкнутой — сходятся. Таким образом, то, под каким углом мы увидим линейку длиной 300 000 световых лет, расположенную на расстоянии, связанном с поверхностью последнего рассеяния, зависит от геометрии Вселенной — это видно из рисунка.

Таким образом, мы получаем прямой и надежный способ определить геометрию Вселенной. Поскольку размер самых больших горячих и холодных пятен на общей картине реликтового излучения зависит лишь от принципа причинности — от того, что гравитация распространяется только со скоростью света, и, следовательно, размеры



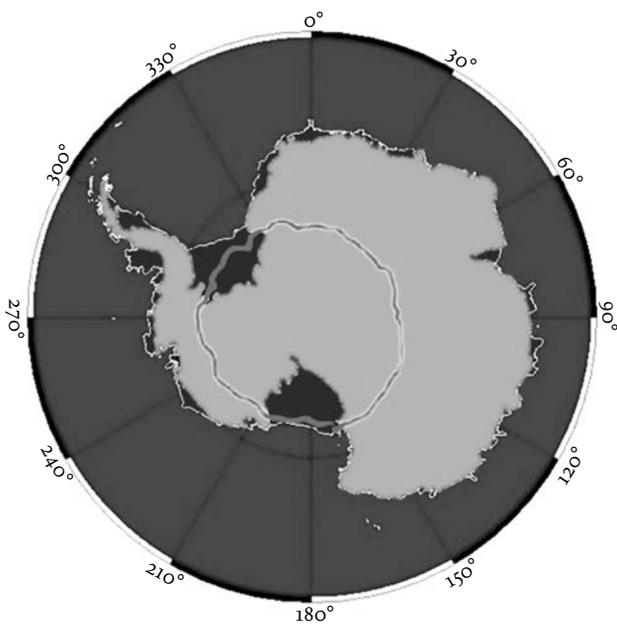
самой большой области, которая могла в то время сколлапсировать, зависят только от того, на какое максимальное расстояние мог распространиться луч света в то время, — и поскольку угол, под которым мы видим линейку фиксированной длины, определяется исключительно кривизной Вселенной, то простая картина поверхности последнего рассеяния и покажет нам, какова крупномасштабная геометрия пространства — времени.

Первый эксперимент, в ходе которого попытались проделать подобное наблюдение, был проведен на аэростате в Антарктиде в 1997 г. и назывался BOOMERanG*. Повод для выбора такого названия был очевиден: к высотному аэростату прикрепили микроволновой радиометр, как можно увидеть на фото.

Затем аэростат облетел вокруг света, что в Антарктике проделать несложно. На самом Южном полюсе для этого достаточно было бы обернуться вокруг своей оси, а на широте станции Мак-Мёрдо тур вокруг континента при попутном полярном ветре занял около двух недель, после

.....

* BOOMERanG расшифровывается как Balloon Observations of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics, «Аэростатные наблюдения миллиметрового внегалактического излучения и геофизика». — Прим. ред.



Путь аппарата BOOMERanG вокруг Антарктиды

чего аппарат вернулся в исходную точку — потому-то его и назвали «бумеранг».

Цель этого путешествия была проста. Если мы хотим пронаблюдать реликтовое излучение при температуре в 3°K , не загрязненное тепловым излучением от куда более теплого вещества Земли (даже в Антарктиде температура все равно на 200°K выше температуры реликтового излучения), придется как можно выше подняться над поверхностью Земли, оставив позади большую часть атмосферы. В идеале для этого применяют спутники, но высотные аэростаты справляются с задачей почти так же хорошо, а обходятся несравнимо дешевле.

Итак, через две недели BOOMERanG предоставил изображение небольшого участка «реликтового неба», где были видны горячие и холодные пятна рисунка излучения, приходящего от поверхности последнего рассеяния. Внизу приведен коллаж из изображения участка неба, который наблюдался в ходе эксперимента BOOMERanG (горячие и холодные области выглядят соответственно как темные и светлые пятна), и фотографии самой экспериментальной установки.

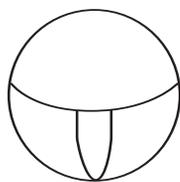
Из этого изображения можно сделать два вывода. Во-первых, оно наглядно показывает, каков был реальный физический масштаб горячих и холодных пятен в небе, которые увидел BOOMERanG, причем передний план дается для сравнения. Но еще оно иллюстрирует другое важное обстоятельство — то, что можно назвать нашей космической близорукостью. Если в солнечный день взглянуть в небо, увидишь ясное голубое небо, как на первой фотографии с аэростатом. Но это только потому, что в результате эволюции мы различаем только видимый свет. Несомненно, мы пошли именно таким эволюционным путем



потому, что излучение поверхности нашего Солнца имеет максимум именно в видимом диапазоне, а еще потому, что излучение во многих других диапазонах поглощается нашей атмосферой и попросту не доходит до земной поверхности (к счастью для нас, поскольку подобное излучение по большей части смертоносно). Так или иначе если бы в результате эволюции мы видели микроволновое излучение, то вид неба и днем и ночью — если не смотреть прямо на Солнце — непосредственно являл бы поверхность последнего рассеяния, от которой до нас более 13 млрд световых лет. Именно это изображение и показал нам детектор установки BOOMERanG.

Первый полет аэростата BOOMERanG, в результате которого была получена эта картинка, оказался на удивление удачным. Однако природа Антарктики негостеприимна и непредсказуема. В другом запуске в 2003 г. все экспериментальное оборудование едва не было утрачено: сначала аэростат оказался неисправен, потом разыгралась буря. Положение спасло лишь решение, принятое в последний момент: отделить аппаратуру от аэростата, который тут же унесло в неизвестном направлении. Спасательная партия разыскала установку в антарктической пустыне и забрала герметичный контейнер с научными данными.

Прежде чем приступить к интерпретации изображения с зонда BOOMERanG, еще раз подчеркну, что реальные физические размеры горячих и холодных пятен, наблюдаемых в этом эксперименте, однозначно определяются простыми расчетами свойств поверхности последнего рассеяния, а измеренные размеры горячих и холодных пятен определяются геометрией Вселенной. Объяснить эксперимент поможет простая двумерная аналогия: в двух измерениях *замкнутая геометрия* напоминает поверхность сферы, а *открытая геометрия* — поверхность седла. Если мы начертим на таких поверхностях треугольник, то пронаблюдаем тот самый эффект, который я описал выше: на сфере прямые сойдутся, на седле — разойдутся, а на плоскости, само собой, останутся прямыми.



Замкнутая

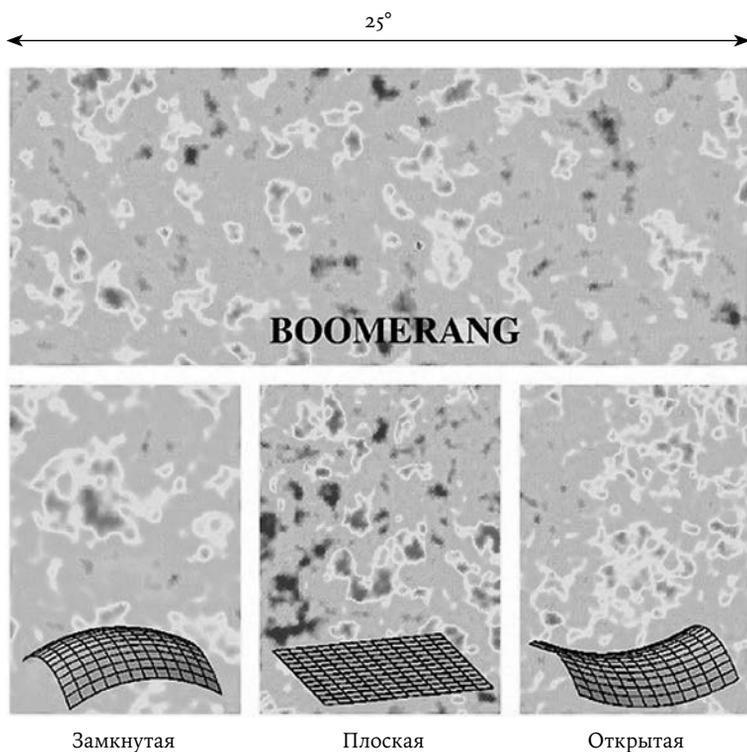


Плоская



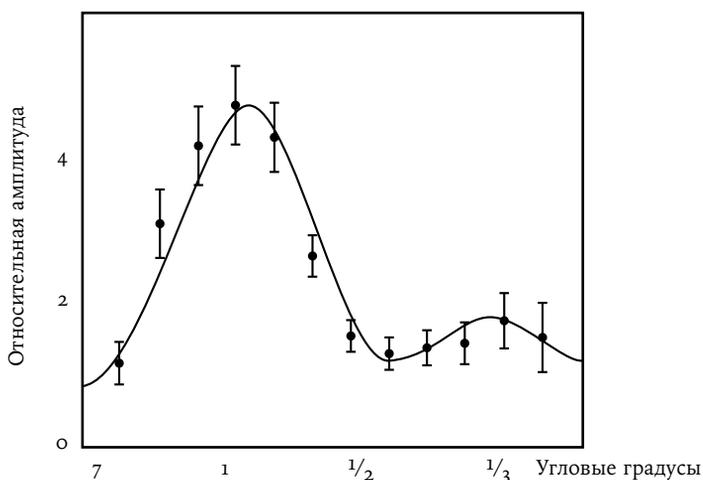
Открытая

А теперь вопрос на миллион долларов: какой же размер в действительности имеют холодные и горячие пятна на изображении с зонда BOOMERanG? Чтобы дать ответ на этот вопрос, рабочая группа эксперимента подготовила на компьютере несколько модельных изображений холодных и горячих пятен, какими они должны были выглядеть в случае замкнутой, плоской и открытой Вселенной, и сравнила их с реальным изображением микроволнового неба (цвета на приведенных здесь изображениях показывают интенсивность реликтового излучения).



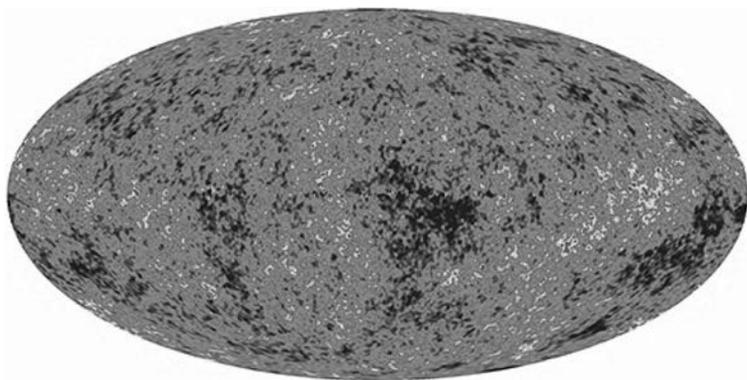
Рассмотрим изображение внизу слева. Это модель замкнутой Вселенной: видно, что в среднем пятна больше, чем в реальной Вселенной. Справа пятна в среднем меньше. А вот картинка посередине, соответствующая плоской Вселенной, прямо как кроватка Мишутки из сказки про трех медведей, как раз впору. Похоже, это наблюдение доказывает, что верна самая математически красивая модель Вселенной, на которую и рассчитывали теоретики, хотя она явно противоречит оценке, сделанной на основании массы галактических скоплений.

В сущности, модель плоской Вселенной и изображение, полученное зондом BOOMERanG, совпадают так точно, что становится прямо неловко. Изучив пятна и выявив самые крупные, у которых хватило времени в значительной мере сколлапсировать к тому моменту, который соответствует поверхности последнего рассеяния, рабочая группа эксперимента BOOMERanG построила следующий график.



Точки — это данные. Сплошная линия дает предсказание для плоской Вселенной — и пик приходится примерно на 1° !

Уже после того, как рабочая группа эксперимента BOOMERanG опубликовала свои результаты, NASA запустило спутник с гораздо более чувствительным детектором для изучения реликтового излучения под названием WMAP*. Этот зонд был назван в честь покойного физика из Принстона Дэвида Уилкинсона, который наверняка открыл бы реликтовое излучение, если бы его не опередили ученые из Bell Laboratories. WMAP запустили в июне 2001 г. на расстояние в 1,5 млн км от Земли в направлении от Солнца, откуда можно наблюдать микроволновое небо, не искаженное солнечным излучением. За семь лет зонд с беспрецедентной точностью заснял реликтовое излучение всей небесной сферы, а не просто отдельного участка, как BOOMERanG (поскольку последнему приходилось мириться с присутствием Земли, которая закрывала от него большую часть неба).



.....
* WMAP — Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, «Зонд микроволновой анизотропии имени Уилкинсона». — *Прим. ред.*
.....

Здесь вся небесная сфера спроецирована на плоскость, как поверхность земного шара можно спроецировать на плоскую карту. Плоскость нашей Галактики проходит по экватору, Северный полюс на этой карте — это 90° над плоскостью, а Южный полюс — 90° под плоскостью Галактики. Однако изображение самого Млечного Пути с карты убрано, чтобы она отражала исключительно излучение, исходящее от поверхности последнего рассеяния.

Получив такие полноценные данные, можно сделать гораздо более точную оценку геометрии Вселенной. График по данным WMAP, аналогичный тому, что мы видели в проекте BOOMERanG, с точностью до 1% подтверждает, что мы живем в плоской Вселенной! Ожидания теоретиков оправдались. Однако мы в очередной раз не можем пренебречь очевидным несоответствием этого результата тому, о чем я писал в предыдущей главе. Если взвесить Вселенную, измерив массу галактик и скоплений, получится в три раза меньше того количества, которое нужно, чтобы получилась плоская Вселенная. Это несоответствие надо чем-то компенсировать.

Пока теоретики хлопали друг друга по спине и поздравляли с верной догадкой о том, что Вселенная плоская, природа подготовила фантастический сюрприз, к которому никто не был готов. Он позволил разобраться с противоречиями в оценках ее геометрии, исходящих из вычисления массы и из непосредственно измеренной кривизны. Как выяснилось, недостающая энергия, необходимая для того, чтобы Вселенная была плоской, прячется буквально у нас под носом.

ГЛАВА 4

МНОГО ШУМА ИЗ НИЧЕГО

Меньше — значит больше.

Людвиг Мис ван дер Роэ
вслед за Робертом Браунингом

Шаг вперед, два шага назад — примерно так продвигались мы по пути к пониманию Вселенной, к тому, чтобы нарисовать ее портрет. Наблюдения наконец позволили сделать окончательный вывод о кривизне нашей Вселенной и тем самым подтвердили давние подозрения теоретиков. Но как-то внезапно оказалось, хотя уже было известно, что во Вселенной в десять раз больше вещества, чем можно насчитать в протонах и нейтронах, тем не менее оказалось большой неожиданностью, что даже столь огромного количества темного вещества — 30% от необходимого для плоской Вселенной — все равно не хватает, чтобы учесть всю ее энергию. Непосредственное измерение ее геометрии и вытекающее из него открытие, что Вселенная и вправду плоская, означали, что нам все еще не хватает 70% энергии Вселенной — ее нет ни в галактиках, ни в скоплениях галактик, ни вокруг них!

Впрочем, все было не настолько драматично, как я пытаюсь представить. Еще до этих измерений кривизны Вселенной и до определения общей массы скоплений, о чем

мы говорили в главе 2, были признаки, что привычная в тот момент теоретическая картина нашей Вселенной — где темного вещества достаточно, чтобы она была плоской (то есть в три раза больше, чем по нашим нынешним данным), — попросту не соответствует наблюдениям. В далеком 1995 г. мы с коллегой Майклом Тёрнером из Чикагского университета написали еретическую статью, где предположили, что конвенциональная картина Вселенной не может быть верна и что единственный вариант, который может соответствовать и плоской Вселенной (эта теория нам с самого начала нравилась больше всех), и наблюдениям скоплений галактик и их внутренней динамики, выглядит куда более причудливым и восходит к отчаянной теоретической идее, которую высказал Альберт Эйнштейн еще в 1917 г., чтобы разрешить видимое противоречие между предсказаниями своей теории гравитации и стационарной Вселенной, в которой, как он полагал, мы живем, — идее, от которой он впоследствии отказался.

Помнится, основным стимулом для нас в то время было скорее показать, что преобладающие взгляды ошибочны, чем предложить какое-то конкретное решение проблемы. Наше предположение казалось настолько безумным, что мы сами сильнее всех удивились, когда прошло всего три года — и оказалось, что наша еретическая теория верна!

Вернемся в 1917 г. Вспомним, что Эйнштейн разработал ОТО и у него возникло «учащенное сердцебиение» от радости, когда он обнаружил, что сумел объяснить прецессию перигелия Меркурия. Однако ему нужно было что-то сделать с тем фактом, что его теория не могла объяснить модель стационарной Вселенной, которую он тогда полагал верной.

.....

Если бы Эйнштейн был больше убежден в своей правоте, то, вероятно, *пришел бы к выводу*, что Вселенная не может быть статичной, но он не стал этого делать. Вместо этого Эйнштейн заметил, что можно внести в теорию маленькую поправку, которая бы полностью соответствовала математическим аргументам, натолкнувшим его на разработку ОТО, и при этом, казалось, допускала существование стационарной Вселенной.

Несмотря на сложность конкретных деталей, общая структура уравнений ОТО по Эйнштейну более или менее проста. Левая часть уравнения описывает кривизну Вселенной, а следовательно, и силы гравитации, которые действуют на вещество и излучение. Они определяются величиной в правой части уравнения, которая отражает общую плотность энергии и материи всех типов, какие только существуют во Вселенной.

Эйнштейн обнаружил, что можно добавить в левую часть уравнений небольшое постоянное слагаемое, которое бы представляло очень слабую неизменную *отталкивающую* силу, действующую по всему пространству в дополнение к привычному гравитационному притяжению между всеми телами, слабеющему с увеличением расстояния. Если эта сила достаточно мала, то ее невозможно зарегистрировать ни на привычных человеку масштабах, ни даже в масштабе Солнечной системы, где, судя по наблюдениям, так прекрасно действует закон всемирного тяготения Ньютона. Однако Эйнштейн рассудил, что если эта постоянная сила действует по всему пространству, то в масштабах галактики она накапливается и, вероятно, способна противостоять силе притяжения между очень далекими телами. Отсюда он заключил, что в результате Вселенная может быть стационарна на самых крупных масштабах.

.....

Эйнштейн назвал это дополнительное слагаемое *космологическим членом*, но, поскольку это всего лишь постоянная добавка, в наши дни принято называть этот член *космологической постоянной*.

Когда же Эйнштейн узнал, что Вселенная на самом деле расширяется, то отказался от этого слагаемого и даже, как говорят, назвал решение ввести его в уравнения своим «величайшим заблуждением».

Однако избавиться от космологической постоянной оказалось непросто. Это как пытаться затолкать зубную пасту обратно в тюбик. А все потому, что теперь у нас совершенно иное представление о космологической постоянной, и, если бы Эйнштейн не ввел ее, наверняка за минувшие десятилетия это сделал бы кто-нибудь другой.

Перенести слагаемое Эйнштейна из левой части уравнений в правую — это маленький шаг для математика, но огромный скачок для физика. С математической точки зрения это тривиально, но стоит перенести это слагаемое в правую часть уравнения, где находятся все члены, отвечающие за энергию во Вселенной, и оно с физической точки зрения станет обозначать нечто совсем другое, а именно новую составляющую общей энергии. Но что же может представлять это слагаемое?

Ответ прост: *ничто*.

Ничто не в смысле «ничего», а именно в смысле «ничто» — в нашем случае это то ничто, которое мы обычно называем пустым пространством. Я имею в виду, что, если взять какой-то объем пространства и очистить его от всего — от пыли, газа, человечков и даже проходящего сквозь него излучения, то есть вообще от всего, и если оставшееся пустое пространство будет тем не менее что-то весить, это и будет соответствовать существованию

космологического члена, подобного тому, что изобрел Эйнштейн.

Согласитесь, от этого космологическая постоянная Эйнштейна выглядит еще диковиннее! Ведь любой третьеклассник скажет, сколько энергии содержится в пустом пространстве, где нет ничего, даже если впервые слышит слово «энергия»: нисколько.

Увы, большинство третьеклассников не изучают ни квантовую механику, ни теорию относительности. Ведь стоит применить результаты специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна к квантовой Вселенной, как пустое пространство станет еще причудливее. Настолько, что даже физикам, открывшим и изучавшим его поведение, было очень трудно поверить, что такое и правда может существовать в реальном мире.

Первым, кому удалось применить теорию относительности к квантовой механике, был блестящий и немногословный британский физик-теоретик Поль Дирак, который к тому времени уже сыграл важнейшую роль в разработке квантовой механики как теории.

Квантовую механику разрабатывали с 1912 по 1927 г., в основном трудами другого легендарного гения — датского физика Нильса Бора — и блестящих юных дарований — австрийского физика Эрвина Шрёдингера и немецкого физика Вернера Гейзенберга. Бор первым высказал предположение о существовании квантового мира, а Шрёдингер и Гейзенберг отточили математическую сторону теории. Этот мир отвергает все представления о природе вещей, которые диктует житейский опыт и здравый смысл. Сначала Бор предположил, что электроны в атомах вращаются по орбитам вокруг центрального ядра, как планеты вокруг Солнца, но показал, что наблюдаемые

законы атомных спектров (частот излучения, испускаемого разными элементами) можно понять только в том случае, если электроны почему-то могут иметь стабильные орбиты только на определенном наборе «квантовых уровней» и не могут свободно падать по спирали к ядру. Они перемещаются с уровня на уровень, поглощая или испуская лишь дискретные частоты — кванты света, те самые кванты, о которых впервые заговорил в 1905 г. Макс Планк, когда пытался понять, как возникает специфический спектр излучения нагретого тела.

«Правила квантования» Бора были сформулированы лишь для ответа на конкретный вопрос. Однако Шрёдингер и Гейзенберг независимо показали в 1920-е гг., что эти правила можно вывести из неких общих принципов, если предположить, что законы динамики электронов отличаются от законов динамики макроскопических тел вроде теннисных мячиков. Электроны умеют вести себя не только как частицы, но и как волны, они распространяются во всем пространстве (отсюда и «волновая функция» электронов по Шрёдингеру). Было показано, что результаты измерения свойств электронов могут дать лишь вероятностные оценки, причем различные комбинации их разных свойств невозможно измерить одновременно (отсюда принцип неопределенности Гейзенберга).

Дирак показал, что математический аппарат, при помощи которого Гейзенберг описывал квантовые системы (за что и получил Нобелевскую премию в 1932 г.), можно вывести из тщательно выстроенной аналогии с давно известными законами динамики макроскопических объектов. Кроме того, впоследствии он сумел показать, что математическую «волновую механику» Шрёдингера можно вывести таким же образом и что она формально

эквивалентна формулам Гейзенберга. Но Дирак также знал, что квантовая механика Бора, Гейзенберга и Шрёдингера при всех своих достоинствах применима лишь к системам, в которых действуют не законы относительности Эйнштейна, а законы Ньютона, те самые, что управляют классическими макроскопическими системами, по аналогии с которыми были выстроены квантовые системы.

Дирак предпочитал мыслить не картинками, а математическими формулами, и когда он решил попробовать согласовать квантовую механику с теорией относительности, то начал играть с разными видами уравнений. В их число входили сложные многокомпонентные математические системы, призванные учитывать, что у электронов есть так называемый спин, то есть они как бы вращаются наподобие маленьких волчков и имеют момент импульса, причем вращаться они могут вокруг любой оси и по часовой стрелке, и против.

В 1929 г. Дирак наконец напал на золотую жилу. Уравнение Шрёдингера красиво и точно описывало поведение электронов, которые движутся со скоростью, значительно меньшей скорости света. Дирак обнаружил, что если доработать уравнение Шрёдингера и превратить его в более сложную формулу при помощи так называемых матриц Паули (это значит, что уравнение Дирака на самом деле описывает систему из четырех взаимосвязанных уравнений), то можно непротиворечивым образом объединить квантовую механику и теорию относительности, а следовательно, объяснить в принципе поведение систем, в которых электроны движутся гораздо быстрее.

Однако тут была одна загвоздка. Дирак составил уравнение, которое должно было описывать поведение

.....

электронов при взаимодействии с электрическими и магнитными полями. Но оказалось, что его уравнение требует еще и существования новых частиц — точно таких же, как электроны, только с противоположным электрическим зарядом.

В то время была известна только одна элементарная частица с зарядом, противоположным заряду электрона, — протон. Однако протоны совсем не похожи на электроны — хотя бы тем, что они почти в 2000 раз тяжелее!

Дирак оказался в тупике. От отчаяния он даже заявил, что новые частицы на самом деле и есть протоны, просто при движении в пространстве протоны почему-то взаимодействуют так, словно они гораздо тяжелее. Другие ученые, в том числе Гейзенберг, вскоре показали, что это предположение не работает. Природа, однако, быстро пришла на выручку. Не прошло и двух лет с тех пор, как Дирак опубликовал свои результаты, и всего год, как он капитулировал и признал, что, если они верны, значит, должна существовать еще какая-то новая частица, как экспериментаторы, исследовавшие космические лучи, которые бомбардируют Землю, обнаружили следы присутствия новых частиц, идентичных электрону, но с противоположным зарядом. Эти частицы назвали позитронами.

Правота Дирака была доказана, однако ему пришлось признать, что он не имел достаточной веры в собственную теорию: впоследствии он сказал, что его уравнение оказалось умнее его самого.

Теперь мы называем позитрон античастицей электрона, поскольку открытие Дирака оказалось универсальным. Те же самые физические соображения, которые указывали на наличие античастицы для электрона, требуют, чтобы такой «двойник» был практически у каждой

элементарной частицы в природе. У протонов, например, есть антипротоны. Античастицы есть даже у некоторых нейтральных частиц, например у нейтронов. При встрече частица с античастицей аннигилируют и превращаются в чистое излучение.

Все это на первый взгляд выглядит как научная фантастика (и антивещество действительно играет важную роль в фантастическом сериале «Звездный путь»), однако в действительности античастицы постоянно создаются в больших ускорителях по всему миру. Поскольку античастицы в остальном обладают точно такими же свойствами, что и частицы, мир, состоящий из антивещества, вел бы себя точно так же, как и мир из обычного вещества, и в нем антилюбленные точно так же целовались бы в антимашинах при антилуне. То, что мы живем во Вселенной, состоящей из обычного вещества, а не из антивещества или, скажем, обычного вещества и антивещества в равных пропорциях, — чистая случайность, которую, как мы полагаем, можно объяснить более глубинными факторами, о которых речь пойдет позднее. Я часто говорю студентам, что антивещество, конечно, диковинная штука, но диковинная в том же смысле, что и бельгийцы. На самом деле в бельгийцах нет ничего странного, просто с ними не очень часто встречаешься в обычной жизни.

Существование античастиц превращает наблюдаемый мир в очень интересное место, а кроме того, делает намного более сложным пустое пространство.

Интуитивное понимание того, почему теория относительности требует существования античастиц, первым пришло к легендарному физика Ричарду Фейнману. Заодно он получил наглядную иллюстрацию того, что пустое пространство на самом деле не такое уж и пустое.

Фейнман понимал, что, согласно теории относительности, наблюдатели, движущиеся с разной скоростью, получают разные результаты при измерении величин вроде времени и расстояния. Например, время для объектов, движущихся очень быстро, замедлится. Если бы объекты каким-то образом могли разогнаться до сверхсветовой скорости, то казалось бы, что они движутся назад во времени, и это одна из причин, по которым скорость света считается предельно возможной скоростью во Вселенной.

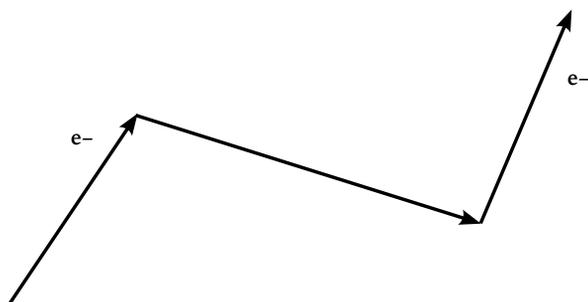
Однако главный принцип квантовой механики — принцип неопределенности Гейзенберга, который, как я уже говорил, гласит, что в определенных парах физических величин, например в паре «координаты и скорость», для конкретной физической системы в некий момент можно точно измерить только одну из этих величин. Или, скажем, если наблюдать какую-то систему лишь в течение конечного, ограниченного времени, нельзя точно определить ее полную энергию.

Из всего этого следует, что для очень коротких промежутков времени — таких коротких, что скорость частиц невозможно измерить с высокой точностью, — квантовая механика допускает, что эти частицы будут вести себя так, словно движутся быстрее света! Но если они движутся быстрее света, то, в соответствии с теорией Эйнштейна, они должны вести себя так, словно движутся из будущего в прошлое!

У Фейнмана хватило храбрости, чтобы серьезно рассмотреть эту безумную на первый взгляд возможность и изучить, что из нее следует. Он начертил следующую схему движения электрона, который периодически разгоняется до сверхсветовой скорости.

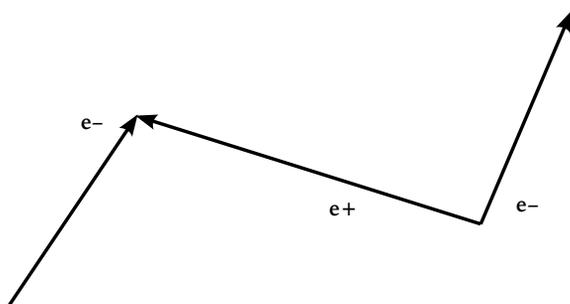


Он понял, что, согласно теории относительности, другой наблюдатель мог бы сделать альтернативные измерения и у него получилось бы нечто вроде нижеприведенного графика, где электрон движется сначала вперед во времени, потом назад, а потом снова вперед.

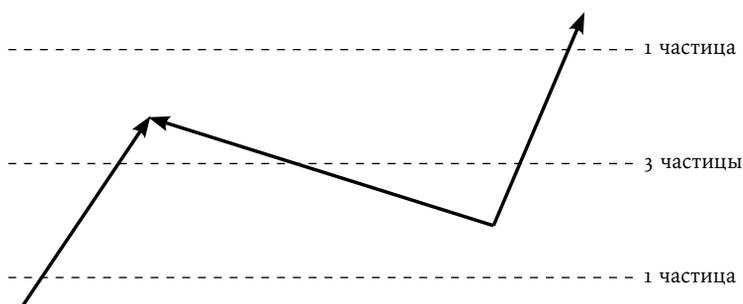


Однако отрицательный заряд, движущийся обратно во времени, математически эквивалентен положительному заряду, который движется во времени вперед! Таким образом, теория относительности требует существования положительно заряженных частиц с той же массой и всеми другими качествами, что и у электрона.

В таком случае второй чертеж Фейнмана можно понимать следующим образом: одинокий электрон движется себе вперед, а потом в другой точке пространства из ничего возникает пара «позитрон-электрон», и позитрон встречается с первым электроном, после чего они аннигилируют. Остается одинокий электрон, который движется вперед.



Если вас это не взволновало, задумайтесь вот над чем: ситуация начинается с одной частицы и заканчивается одной частицей, но где-то в промежутке некоторое время существует три движущиеся частицы.



Где-то в середине процесса, пусть совсем недолго, но все же существует нечто, порожденное из ничего!

В своей статье 1949 г. «Теория позитронов» Фейнман приводит прекрасную аналогию из реальности военного времени:

Здесь дело обстоит так же, как в том случае, когда летящий низко над дорогой пилот видит некоторое время вместо одной дороги три, хотя на самом деле имеется только двойной поворот одной и той же дороги*.

Если время, за которое происходят эти «американские горки», достаточно мало и мы не можем измерить параметры частиц непосредственно, квантовая механика и теория относительности не просто допускают такое дикое положение дел — они его требуют. Частицы, появляющиеся и исчезающие за такие короткие промежутки времени, что их невозможно измерить, называются *виртуальными*.

Разумеется, рассуждения о совершенно новом наборе частиц в пустом пространстве, которые еще и невозможно зарегистрировать, выглядят примерно как предположение, что на кончике иглы танцует великое множество ангелов. И идея эта была бы настолько же бесплодной, если бы эти частицы не порождали никаких других измеримых эффектов. Но, хотя прямо такие частицы пронаблюдать невозможно, оказывается, что их косвенное воздействие обеспечивает большинство характеристик Вселенной, которую мы сейчас наблюдаем. Мало того, действие этих частиц может быть рассчитано с большей точностью, чем получается при любом другом вычислении в науке!

.....

* На русском языке статья опубликована в сборнике переводов «Новейшее развитие квантовой электродинамики». — М.: Иностранная литература, 1954. С. 138–160. — *Прим. ред.*

Рассмотрим, к примеру, атом водорода — систему, ради объяснения которой Бор разрабатывал квантовую теорию, а Шрёдингер выводил свое знаменитое уравнение. Красота квантовой механики состоит в том, что она могла объяснить возникновение специфических цветов света, который водород излучает при нагреве, на основании того, что электроны, вращающиеся вокруг протона, могут существовать только на дискретных энергетических уровнях, а когда они перескакивают с уровня на уровень, то поглощают или испускают лишь фиксированный набор световых частот. Уравнение Шрёдингера позволяет вычислить эти частоты и получить почти в точности верный ответ.

Почти, но не в точности.

Когда спектр водорода исследовали более тщательно, оказалось, что он сложнее, чем считалось ранее, и между наблюдаемыми уровнями есть еще дополнительные мелкие расщепления, это называется *тонкой структурой* спектра. Эти расщепления были известны еще со времен Бора, существовало подозрение, что они имеют какое-то отношение к релятивистским эффектам, но это подозрение никто не мог подкрепить, пока ученые не получили в свое распоряжение полностью релятивистскую теорию. К счастью, уравнение Дирака дало более точные результаты, чем уравнение Шрёдингера, и позволило воспроизвести общую картину наблюдений, в том числе и тонкую структуру.

Казалось, все в порядке, но вот в апреле 1947 г. американский физик-экспериментатор Уиллис Лэмб и его студент Роберт Резерфорд провели эксперимент, который в других обстоятельствах мог бы показаться на удивление ненужным и неоправданным. Исследователи поняли, что у них хватает технических средств, чтобы измерить

структуру энергетических уровней атомов водорода с точностью до одной стомиллионной. Почему они вообще решили этим заняться? Дело в том, что, когда экспериментаторы находят новый метод нечто измерить с точностью, значительно превосходящей прежние возможности, для них это зачастую становится вполне достаточным стимулом приниматься за работу. В результате таких экспериментов удавалось открыть буквально новые миры — например, когда в 1676 г. голландский ученый Антони Филипс ван Левенгук решил рассмотреть под микроскопом капельку якобы чистой воды и обнаружил, что в ней кишит жизнь. Однако в нашем случае у экспериментов была более практическая цель. До эксперимента Лэмба было невозможно достичь такой точности, чтобы подробно проверить предсказания Дирака.

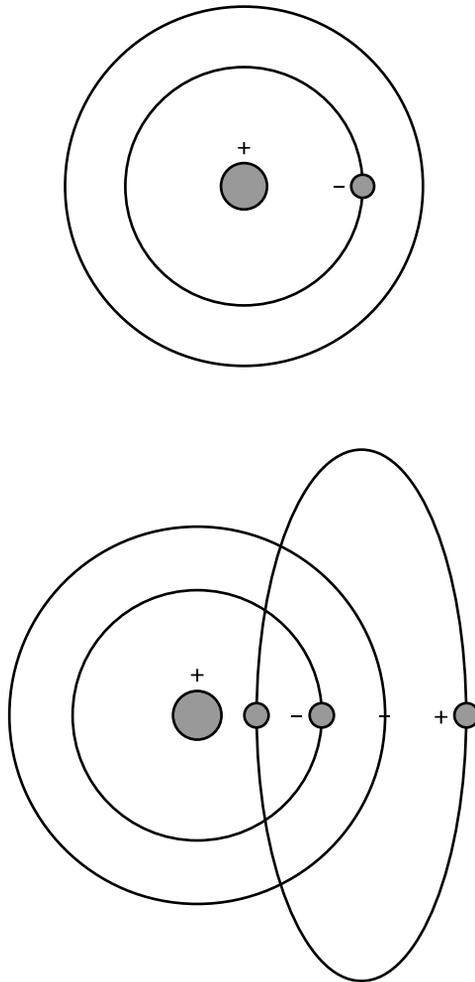
Уравнение Дирака позволяло предсказать общую структуру новых наблюдений, но главный вопрос, на который хотел ответить Лэмб: предсказывает ли оно все детали? Это был единственный способ проверить теорию. И когда Лэмб проделал свой эксперимент, получилось, что теория Дирака дает неверный ответ на уровне примерно 100 частей на миллиард, что значительно превышало чувствительность его установки.

Казалось бы, погрешность минимальная, однако и предсказания самой простой интерпретации теории Дирака, и эксперимент не допускали двояких толкований — и при этом они не соответствовали друг другу.

В течение нескольких следующих лет лучшие умы теоретической физики подключились к делу и попытались разрешить это несоответствие. Решение пришло лишь после долгого и упорного труда, и в сухом остатке оказалось, что уравнение Дирака дает исключительно точный ответ,

.....

но только если учесть воздействие виртуальных частиц. Это можно наглядно проиллюстрировать следующим образом. В учебниках по химии атомы водорода принято изображать примерно так: в серединке протон, вокруг по орбите вращается электрон, перескакивая на разные уровни:



Однако стоит нам допустить возможность того, что пары «электрон-позитрон» способны на миг возникнуть из ничего, а потом аннигилировать, то пройдет совсем немного времени и атом водорода будет выглядеть вот так:

Справа я изобразил подобную пару, которая потом аннигилирует. Виртуальный электрон, будучи отрицательно заряжен, предпочитает держаться поближе к протону, а позитрон — отстраняться. Так или иначе из рисунка ясно, что подлинное распределение зарядов в атоме водорода ни в какой момент времени нельзя описывать как просто протон и один-единственный электрон.

Примечательно, что мы, физики, выяснили (после долгих и упорных трудов Фейнмана и его коллег), что можно использовать уравнение Дирака для вычисления влияния на спектр водорода всех возможных виртуальных частиц, способных мелькать в его окрестностях с какой угодно точностью. И при этом у нас получается *самое лучшее, самое точное предсказание во всей науке*. Рядом с ним меркнут все другие научные прогнозы. В астрономии самые свежие данные наблюдений реликтового излучения можно сравнить с теоретическими предсказаниями с точностью, скажем, в одну стотысячную, и это внушает уважение. Однако уравнение Дирака — с учетом предсказанного существования виртуальных частиц — позволяет рассчитывать параметры атома, которые будут совпадать с данными наблюдений на уровне одной миллиардной и даже лучше!

Следовательно, виртуальные частицы существуют.

Как ни трудно тягаться с потрясающей точностью, которая доступна физике атомов, виртуальные частицы играют ключевую роль и в другой области, которая, вероятно, ближе к теме нашей книги. Оказывается, они

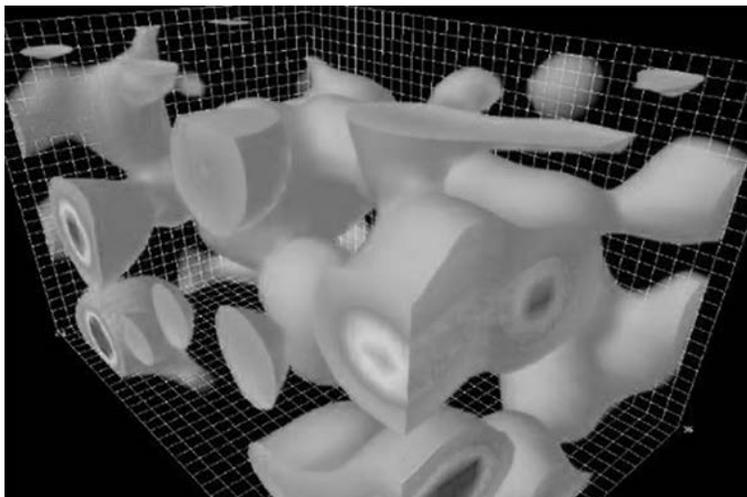
.....

составляют львиную долю вашей массы, как и массы всего видимого вещества во Вселенной.

Одним из огромных шагов в понимании фундаментального устройства вещества, сделанных в 1970-е гг., стало создание теории, которая точно описывает взаимодействие кварков. Кварки — это частицы, из которых состоят протоны и нейтроны, а они, в свою очередь, составляют основу вещества, из которого сделаны и вы сами, и все, что вы видите. За этой теорией стоит сложная математика, и потребовалось несколько десятилетий, прежде чем были разработаны приемы, позволяющие с ней работать, особенно в режиме, когда сильное взаимодействие между кварками становится существенным. Были предприняты титанические усилия, в частности ученые создали сложнейшие компьютеры с параллельной обработкой данных, в которых одновременно задействованы десятки тысяч отдельных процессоров, а все ради того, чтобы рассчитать фундаментальные свойства протонов и нейтронов — частиц, которые (в отличие от кварков) мы можем зарегистрировать непосредственно.

В результате всех этих трудов мы теперь хорошо представляем, как выглядят внутренности протона. Там, скорее всего, содержится не только три кварка, но и еще много всякой всячины. В частности, в нем то и дело возникают и исчезают виртуальные частицы, соответствующие полям и частицам, которые переносят сильное взаимодействие между кварками. Вот схематическое изображение того, как все это выглядит. Это, конечно, не настоящая фотография, а просто художественная про-рисовка по математическим законам, управляющим динамикой кварков и полей, которые их связывают. Причудливые формы и оттенки тени соответствуют силе

полей, которые взаимодействуют друг с другом и с кварками внутри протона, где все время спонтанно возникают и исчезают виртуальные частицы.



Протон постоянно наполнен этими виртуальными частицами, и когда мы пытаемся оценить, какую долю массы протона они составляют, то оказывается, что кварки дают очень мало общей массы, а поля, созданные виртуальными частицами, составляют основную часть энергии покоя протона, следовательно — основную часть его массы покоя. Это же относится и к нейтрону, а значит, и к вам, поскольку вы состоите из протонов и нейтронов!

Итак, если мы можем рассчитать воздействие виртуальных частиц на пустое во всех остальных отношениях пространство внутри атомов и вокруг них, а также воздействие виртуальных частиц на пустое во всех остальных

отношениях пространство внутри протонов, то почему бы нам не рассчитать эффекты от виртуальных частиц в по-настоящему пустом пространстве?

Видите ли, выполнить такой расчет гораздо сложнее. Дело в том, что когда мы рассчитываем влияние виртуальных частиц на атомы или на массу протона, то на самом деле вычисляем общую энергию атома или протона *с учетом* виртуальных частиц, потом вычисляем общую энергию, которую давали бы виртуальные частицы без атома или протона (то есть в пустом пространстве), и *только потом* вычитаем одно из другого, чтобы получить чистое воздействие на атом или протон. Мы так делаем, потому что, оказывается, если попытаться решить соответствующие уравнения, обе эти энергии получаются, строго говоря, бесконечными, но, если вычесть одну из другой, получится конечная разность, более того, она в точности соответствует измеряемому значению!

А вот если мы хотим рассчитать воздействие виртуальных частиц на пустое пространство само по себе, нам нечего вычитать и поэтому в ответе у нас получается бесконечность.

Бесконечность — это не слишком приятная величина, по крайней мере физики ее недолюбливают и всячески стараются избегать. Очевидно, что энергия пустого пространства (да и чего угодно, если уж на то пошло) физически не может быть бесконечной, поэтому волей-неволей надо найти способ провести вычисление и получить конечный ответ.

Откуда берется эта бесконечность, легко объяснить. Если рассмотреть все возможные виртуальные частицы, которые могут появиться, то принцип неопределенности Гейзенберга (а он, напоминая, гласит, что

науке, то оценка энергии пространства — на 120 порядков больше, чем энергия всего остального во Вселенной, — несомненно, самая ужасная! Если бы энергия пустого пространства была хоть сколько-нибудь близка к такой величине, то вызываемая ею отталкивающая сила (вспомним, что энергия пустого пространства соответствует космологической постоянной) была бы до того огромна, что могла бы и сегодня разнести Землю, — хуже того, она была бы до того огромна на ранних стадиях существования Вселенной, что все, что мы сегодня видим, было бы в первый же миг после Большого взрыва разнесено в клочки так стремительно, что не возникло бы никаких структур, ни звезд, ни планет, ни людей.

Эта проблема, получившая очевидное название «проблема космологической постоянной», донимала ученых еще в ту пору, когда я учился на старших курсах, а первым ее сформулировал советский космолог Яков Зельдович примерно в 1967 г. Она до сих пор не решена и, возможно, представляет собой самую фундаментальную нерешенную задачу в физике на сегодняшний день.

Мы, физики-теоретики, более 40 лет понятия не имели, как решить эту проблему, зато знали, каким должен быть ответ. Подобно третьеклашке, который, как я уже писал, скорее всего, сказал бы, что энергия пустого пространства должна быть равна нулю, мы тоже считали, что, когда удастся вывести окончательную универсальную теорию, она объяснит, как влияние виртуальных частиц компенсируется и получится, что энергия пустого пространства в точности равна нулю. То есть ничему. Точнее, Ничему.

Аргументация у нас была лучше, чем у третьеклашки, по крайней мере мы на это уповали. Нам надо было

снизить количество энергии пустого пространства, свети ее с той исполинской величины, которую давали наши наивные оценки, к числу, которое соответствовало бы верхнему пределу, допустимому по данным наблюдений. Для этого нужен был какой-то способ вычесть из очень большого положительного числа другое очень большое положительное число, чтобы взаимно уничтожились 120 разрядов и осталось нечто ненулевое на 121-м месте! Однако в науке еще не было случаев, чтобы два больших числа скомпенсировали друг друга настолько точно, с такой крошечной разностью.

А вот получить ноль обычно просто. Симметрии природы часто позволяют нам доказать, что в уравнение входят в точности равные величины с противоположным знаком, которые сокращаются без остатка — и не остается ничего. Точнее, опять же Ничего.

Поэтому мы, физики-теоретики, жили себе спокойно, не мучаясь от бессонницы. Да, мы пока не знали, как получить ответ, зато были уверены, что знаем, каким он должен быть.

Но у природы было другое мнение.

ГЛАВА 5

НЕУДЕРЖИМАЯ ВСЕЛЕННАЯ

В наши дни задумываться о происхождении жизни — пустая трата времени, все равно что задумываться о происхождении вещества.

ЧАРЛЗ ДАРВИН

Гипотеза, которую мы с Майклом Тёрнером высказали в 1995 г., была сущей ересью. Мы предположили, что Вселенная плоская, исходя, в сущности, из теоретических предубеждений. (Еще раз подчеркну, что «плоская» трехмерная Вселенная является плоской не в том смысле, как двумерный блин, — это то самое трехмерное пространство, которое интуитивно представляем себе все мы: пространство, в котором световые лучи прямые. Это надо противопоставить картине искривленных трехмерных пространств, которые гораздо труднее себе представить и в которых световые лучи, повторяющие фундаментальную кривизну пространства, распространяются не по прямым линиям.) Затем мы отметили, что все доступные на тот момент космологические данные можно совместить с картиной плоской Вселенной при условии, что лишь примерно 30% общей энергии содержится в особом темном

веществе, которое, как, по всей видимости, показывали наблюдения, существует вокруг галактик и их скоплений. Но самое странное даже не это, а то, что оставшиеся 70% общей энергии содержатся не в веществе в том или ином виде, а в пустом пространстве как таковом.

Наша идея была безумной по любым стандартам. Чтобы значение космологической постоянной соответствовало нашему заявлению, ту оценочную величину, о которой шла речь в конце предыдущей главы, нужно было каким-то образом сократить на 120 порядков, но так, чтобы при этом она не превратилась в ноль. Такой жесткой «тонкой настройке» не подвергали ни одну физическую величину на свете, к тому же никто не имел ни малейшего представления, как это проделать.

Отчасти именно поэтому, когда я пытался рассказать в разных университетах о загадке плоской Вселенной, мне доставались лишь улыбки. Думаю, никто не воспринял нашу гипотезу всерьез, и я даже не уверен насчет нас с Тёрнером. Мы решили эпатировать публику своей статьей с одной-единственной целью — наглядно продемонстрировать то, что беспокоило не только нас, но и нескольких наших коллег-теоретиков во всем мире: что-то было не так с принятой в то время «стандартной» картиной Вселенной, в которой почти вся энергия, необходимая, согласно ОТО, для создания плоской Вселенной, заключена в экзотическом темном веществе (и все это приправлено щепоткой барионов, из которых состоим мы, земляне, а также звезды и видимые галактики).

Один из коллег недавно напомнил мне, что после выхода в свет нашей скромной статьи за два года на нее сослались всего несколько раз, причем все ссылки, за исключением, может быть, одной или двух, были в наших же

с Тёрнером публикациях. Научное сообщество в массе своей считало, что Вселенная, конечно, штука сложная, но все же не настолько безумная, как полагали мы с Тёрнером.

Простейший способ разрешить это противоречие состоял в том, что Вселенная не плоская, а открытая (то есть параллельные на сегодняшний день лучи света в ней расходятся, если проследить их траектории назад; это было, конечно, до того, как наблюдения реликтового излучения показали, что так быть не может). Однако и с таким предположением возникали некоторые трудности, и положение дел оставалось далеко не очевидным.

Любой школьник, который уже изучает физику, скажет вам, что гравитация — это очень притягательно, то есть она все притягивает. Правда, как часто бывает в физике и вообще в науке, сейчас мы понимаем, что нам придется расширять мировоззрение, потому что природа изобретательнее нас. Если мы на миг предположим, что притягательная природа гравитации приводит к тому, что расширение Вселенной замедляется, то мы сможем получить верхний предел возраста Вселенной, если принять, что скорость галактики, расположенной на известном расстоянии от нас, была постоянной с момента Большого взрыва. Дело в том, что если Вселенная замедлялась, то эта галактика когда-то удалялась от нас быстрее, чем сейчас, а следовательно, ей потребовалось бы меньше времени, чтобы добраться до нынешнего положения, чем если бы она всегда двигалась с нынешней скоростью. В открытой Вселенной с преобладанием обычного вещества замедление шло бы медленнее, чем в плоской Вселенной, а значит, предполагаемый возраст Вселенной был бы больше, чем в плоской Вселенной с преобладанием обычного

вещества, для того же самого известного ныне темпа расширения. Более того, этот возраст оказался бы гораздо ближе к значению, которое мы получаем, считая, что за все космическое время темп расширения был постоянным.

Теперь вспомним, что ненулевая энергия пустого пространства должна породить гравитационное отталкивание, такое же, как и от космологической постоянной, а из этого следует, что расширение Вселенной с течением космического времени ускорялось, то есть раньше галактики расходились медленнее, чем сегодня. А это значит, что до своего нынешнего положения они добивались дольше, чем при постоянном расширении. И в самом деле, для ныне определенной постоянной Хаббла самый большой возраст нашей Вселенной (около 20 млрд лет) можно получить, если не только учесть измеренное количество видимого и темного вещества и допустить существование ненулевой космологической постоянной, но и если мы будем вольны подгонять значение этой постоянной под плотность вещества в сегодняшней Вселенной.

В 1996 г. мы с Брайаном Шабойе и нашими коллегами Пьером Демарком из Йельского университета и постдоком Питером Кернаном из Университета Кейз Вестерн Резерв работали над тем, чтобы определить нижний предел возраста самых старых звезд, и у нас получилось около 12 млрд лет. Для этого мы на мощных компьютерах построили модели эволюции миллионов разных звезд и сопоставили их цвет и яркость с реальными звездами, которые наблюдаются в шаровых скоплениях нашей Галактики, потому что давно считалось, что это одни из самых старых ее объектов. При дополнительном предположении

о том, что Галактика формировалась около 1 млрд лет, такой нижний предел окончательно перечеркнул вариант плоской Вселенной, где преобладает вещество, и стал доводом в пользу Вселенной с космологической постоянной (один из факторов, повлиявших на выводы нашей с Тёрнером статьи, опубликованной годом раньше), а открытая Вселенная балансировала где-то на грани возможного.

Однако оцененный нами возраст самых старых звезд опирался на старые наблюдения, сделанные на пределе чувствительности тогдашних приборов, а в 1997 г. были получены новые данные, которые заставили нас пересмотреть наши оценки. Они уменьшились на 2 млрд лет, что вело к несколько более молодой Вселенной. Положение дел сильно запуталось, все три космологические модели снова стали вполне возможными, так что многие из нас были вынуждены вернуться к расчетам.

Все изменилось в 1998 г. — и по странному совпадению в том же году проект BOOMERanG показал, что Вселенная плоская.

В течение 70 лет, которые прошли с тех пор, как Эдвин Хаббл впервые измерил темп расширения Вселенной, астрономы не жалели сил на то, чтобы как можно точнее определить его величину. Вспомним, что в 1990-е гг. они наконец нашли «стандартную свечу», то есть такой объект, светимость которого можно установить независимо, а значит, измерив его наблюдаемую яркость, определить, на каком он находится расстоянии. Казалось, что это надежная «стандартная свеча», которую можно наблюдать в глубинах пространства и времени.

Как уже говорилось, яркость и продолжительность вспышки определенной разновидности взрывающихся звезд — так называемых сверхновых типа Ia — связаны

определенным соотношением. Но, чтобы измерить, сколько времени та или иная сверхновая типа Ia остается яркой, нужно прежде всего учесть эффекты «растяжения» времени из-за расширения Вселенной, а из этого следует, что измеряемое нами время жизни такой сверхновой на самом деле больше, чем реальное время жизни в ее неподвижной системе отсчета. Тем не менее из наблюдаемой длительности вспышки можно вывести светимость такой сверхновой, измерить наблюдаемую яркость с помощью телескопа и в конечном итоге определить расстояние до галактики, в которой взорвалась эта сверхновая. Если одновременно измерить красное смещение этой галактики, можно определить ее скорость. Комбинируя оба результата, мы можем измерять темп расширения Вселенной все точнее и точнее.

Поскольку сверхновые очень яркие, они не просто служат отличным инструментом для измерения постоянной Хаббла, но и дают наблюдателям возможность заглядывать в прошлое на расстояния, составляющие заметную долю полного возраста Вселенной.

А это открывает перед нами новую ошеломительную возможность поохотиться на еще более соблазнительную добычу — возможность измерить, как постоянная Хаббла меняется с течением времени.

Измерить, как меняется постоянная? Казалось бы, оксюморон — и был бы оксюморон, если не учитывать, что мы, люди, по меркам Вселенной, живем очень недолго. В масштабах человеческой жизни темп расширения Вселенной и в самом деле неизменен. Однако, как я только что объяснил, из-за воздействия гравитации темп расширения Вселенной должен меняться с течением времени.

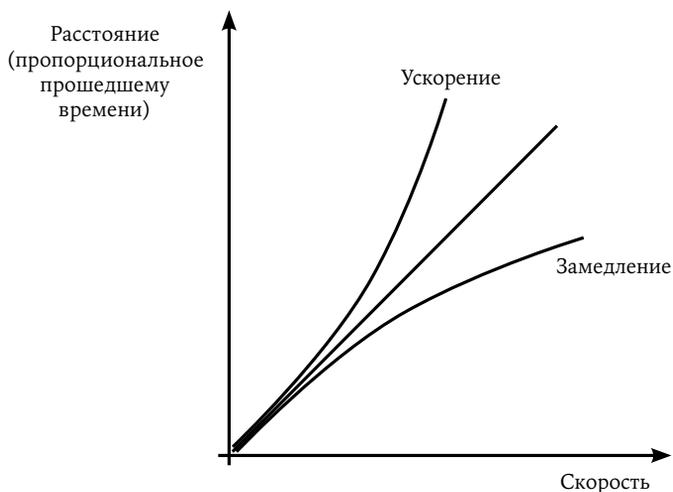
Астрономы полагали, что если измерить скорость очень далеких сверхновых, расположенных на самом краю видимой Вселенной, и расстояние до них, то можно будет измерить и темп, с которым замедляется расширение Вселенной (поскольку все думали, что Вселенная должна вести себя разумно и главная гравитационная сила в ней — сила притяжения). А это, как они надеялись, в свою очередь поможет понять, открытая ли, замкнутая или плоская у нас Вселенная, поскольку темп замедления как функция времени при каждой геометрии должен быть свой.

В 1996 г. я провел полтора месяца в Лаборатории имени Лоуренса в Беркли. Я читал там лекции по космологии и обсуждал разные научные проекты с местными коллегами. В частности, я прочитал доклад о нашей гипотезе, предполагающей, что в пустом пространстве может содержаться энергия. После доклада ко мне подошел молодой физик Саул Перлмуттер, который как раз работал над обнаружением далеких сверхновых, и сказал: «Мы докажем, что вы не правы!»

Саул имел в виду один из аспектов нашей гипотезы о плоской Вселенной, 70% энергии которой заключено в пустом пространстве. Мы помним, что такая энергия порождает космологическую постоянную, которая обеспечивает отталкивающую силу. Эта сила действует по всему пространству и будет доминировать в расширении Вселенной, отчего оно будет *ускоряться*, а не замедляться.

Как я уже писал, если расширение Вселенной с течением космического времени ускорялось, Вселенная сегодня должна быть старше, чем мы могли бы заключить, если бы расширение замедлялось. А из этого следует, что и взгляд в прошлое на галактики с заданным красным

смещением окажется более далеким. С другой стороны, если они удалялись от нас в течение большего времени, из этого должно следовать, что свет от них зародился дальше от нас. Сверхновые в галактиках с тем или иным измеренным красным смещением должны казаться нам более тусклыми, чем если бы свет зародился ближе. Если посмотреть на график и представить, что мы измеряем зависимость скорости от расстояния, то наклон кривой для сравнительно близких галактик позволяет нам определить темп расширения на сегодня. Далее кривая для далеких сверхновых может изогнуться вверх или вниз, и это скажет нам, разгоняется Вселенная или замедляется с течением космического времени.



Спустя два года после нашей встречи Саул и его коллеги в составе международной рабочей группы по космологии на базе сверхновых (так называемый Supernova Cosmology Project) опубликовали на основании первых

предварительных данных статью, из которой следовало, что мы ошиблись. (На самом деле они не написали прямо, что мы с Тёрнером не правы, поскольку, как и большинство других наблюдателей, не обратили особого внимания на нашу статью.) По их данным получалось, что график зависимости расстояния от красного смещения изгибается вниз, а значит, верхний предел энергии пустого пространства гораздо ниже, чем требуется для того, чтобы она составляла значительную часть полной энергии Вселенной на сегодняшний день.

Однако, как часто бывает, первые полученные данные могут не быть представительными в отношении всего объема данных: случается невезение со статистикой, а бывают и непредвиденные систематические ошибки, влияющие на данные, которые не видны, пока не накопится гораздо более обширная выборка. Так и получилось с данными, которые опубликовала эта рабочая группа: их выводы оказались ошибочными.

Другой международный проект по исследованию сверхновых под названием High-Z Supernova, которым руководил Брайан Шмидт из Обсерватории Маунт-Стромло в Австралии, осуществлялся с той же целью, и он начал давать другие результаты. Недавно Брайан рассказал мне, что, когда они получили первый обоснованный результат, позволяющий заявить об ускоренном расширении Вселенной и о значительной энергии вакуума, ученым «зарезали» заявку на наблюдательное время на телескопе, а один журнал сообщил им, что они, должно быть, ошибаются, потому что Supernova Cosmology Project уже определил, что Вселенная плоская и в ней преобладает обычное вещество.

Подробная история соперничества этих групп, несомненно, будет рассказана еще не раз и не два, особенно

после того, как ученые поделят Нобелевскую премию, а это их наверняка ждет*. Здесь же не место для спора о приоритете. Достаточно сказать, что к началу 1998 г. группа Шмидта опубликовала статью, где было показано, что Вселенная, судя по всему, расширяется с ускорением. Примерно через полгода группа Перлмуттера объявила, что получила сходные результаты, и опубликовала статью, где подтверждала результаты High-Z Supernova и, в сущности, признавала свои прежние ошибки. Теперь более обоснованной представлялась картина Вселенной, в которой доминирует энергия пустого пространства, то есть, как теперь ее принято называть, темная энергия.

То, с какой быстротой научное сообщество признало эти результаты, хотя для этого потребовался полный пересмотр всей общепринятой картины Вселенной, — предмет для интересного исследования в области социологии науки. Это произошло практически мгновенно несмотря на то, что, как подчеркивал Карл Саган, «экстраординарные заявления требуют экстраординарных доказательств». А это было и вправду экстраординарное заявление.

Я был потрясен, когда узнал, что в декабре 1998 г. журнал *Science* назвал открытие ускоренного расширения Вселенной научным прорывом года, — у этого выпуска была забавная обложка с изумленным Эйнштейном.

Потрясен я был не потому, что считал, что такой результат не заслуживает обложки, вовсе нет. Да, если правда, это будет одним из важнейших астрономических открытий нашего времени, однако данные в то время

.....

* Когда первое издание этой книги готовилось к печати, я узнал, что Саул и Брайан вместе с Адамом Риссом, который тоже участвовал в проекте High-Z Supernova, в 2011 г. получили Нобелевскую премию за свое открытие. — *Прим. авт.*

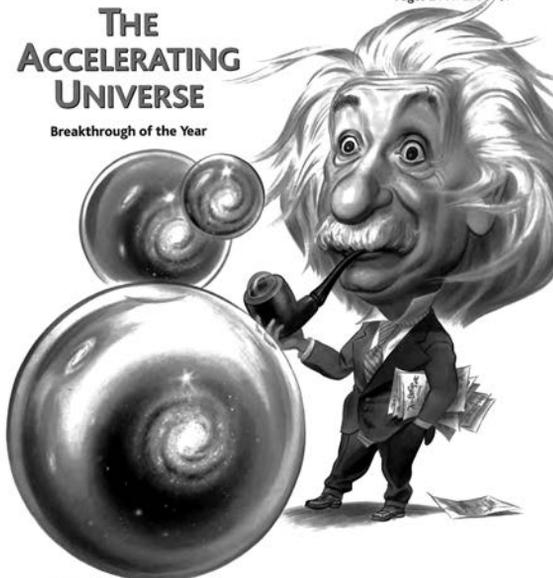
Science

18 December 1998

Vol. 282 No. 5397
Pages 2141–2336 57

THE ACCELERATING UNIVERSE

Breakthrough of the Year



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

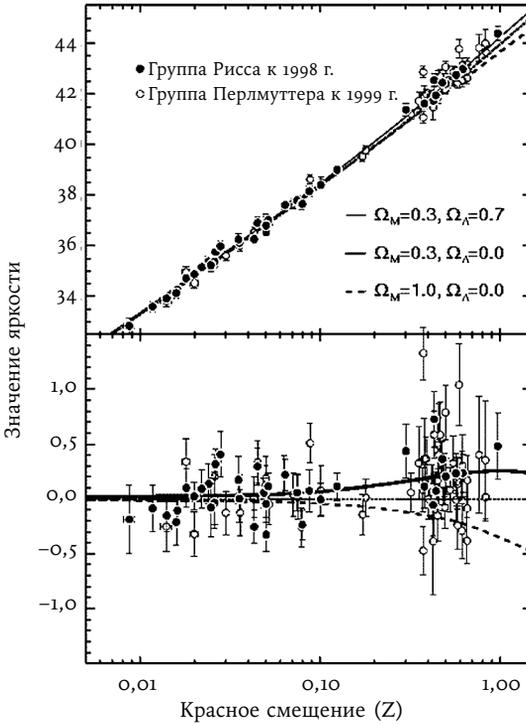
лишь настойчиво предлагали такой взгляд. Они требовали такого переворота в мировоззрении, что я считал, что все мы должны сначала исключить другие причины эффектов, которые наблюдали обе группы, а уже потом в массовом порядке перебежать на сторону космологической постоянной. Я сказал тогда по крайней мере одному журналисту: «Я впервые усомнился в космологической постоянной тогда, когда наблюдатели заявили, что открыли ее».

Моя шутливая реакция может показаться странной, особенно если учесть, что к тому времени я уже 10 лет

в той или иной форме продвигал именно эту идею. Как теоретик я считал, что на умозрительном уровне она вполне имеет право на существование, особенно если открывает новые перспективы для экспериментов. Но я убежден, что, когда изучаешь реальные данные, нужно быть консерватором из консерваторов; возможно, дело в том, что мое становление как ученого пришлось на те времена, когда очень много новых и интересных, однако незрелых гипотез в моей собственной области — физике элементарных частиц — так и не оправдалось. С треском и блеском появлялись и исчезали самые разные предположения: то это было пятое фундаментальное взаимодействие, то новые элементарные частицы, то вроде бы по данным наблюдений вышло, что наша Вселенная вращается как целое.

В то время самой серьезной претензией к заявлению об открытии ускорения расширения Вселенной был вопрос о том, не могут ли далекие сверхновые казаться более тусклыми, чем должны, не из-за ускоренного расширения, а просто потому, что они либо (а) действительно тусклее, либо (б) их частично затеняет некая межгалактическая или галактическая пыль из эпохи ранней Вселенной. Однако прошло уже 10 лет, и за это время нашлось невероятно много убедительных свидетельств в пользу ускорения, и эта гипотеза, можно сказать, уже безупречна. Во-первых, было исследовано намного больше сверхновых с сильным красным смещением. Во-вторых, обе исследовательские группы в течение года после первой публикации проделали совместный анализ накопленных данных, и у них получилась вот такая закономерность:

Чтобы легче было разобраться, куда изгибается кривая «расстояние — красное смещение» — вверх или вниз, ученые провели на верхнем графике пунктирную прямую



из левого нижнего угла в правый верхний, чтобы она проходила через точки, представляющие ближайшие сверхновые. Наклон этой линии говорит нам о сегодняшнем темпе расширения. Затем на нижнем графике ученые для наглядности вычли эту составляющую, чтобы пунктирная линия пошла горизонтально. Если бы расширение Вселенной замедлялось, как все думали в 1998 г., то далекие сверхновые с красным смещением Z ближе к 1 оказывались бы ниже прямой линии. Однако, как вы видите, большинство попадает выше прямой линии. На то может быть одна из двух причин: 1) данные ошибочны или 2) Вселенная расширяется с ускорением.

Если мы на миг допустим, что верна вторая альтернатива, и спросим, сколько энергии нужно вложить в пустое пространство, чтобы добиться наблюдаемого ускорения, то получим очень интересный ответ. Сплошная кривая, которая лучше всего совпадает с данными, соответствует плоской Вселенной, где 30% энергии заключено в веществе, а 70% — в пустом пространстве. Примечательно, что как раз это и нужно, чтобы получить плоскую Вселенную, соответствующую тому факту, что только 30% всей требуемой массы находится в галактиках, скоплениях галактик и вокруг них. Как видно, достигнуто полное согласие.

Но, поскольку заявление, что 99% Вселенной невидимы (1% видимого вещества заключен в океане темного вещества и погружен в энергию пустого пространства), подпадает под категорию экстраординарных, нам придется всерьез взвесить первую из двух возможностей: данные могут быть ошибочны. Так вот, за прошедшее десятилетие все прочие космологические данные последовательно укрепляли общее согласие с картиной совершенно несуразной плоской Вселенной, где преобладающая энергия заключена в пустом пространстве и где все, что мы видим, составляет менее 1% общей энергии, а то вещество, которое мы не видим, состоит в основном из каких-то еще не известных элементарных частиц принципиально нового вида.

Во-первых, данные об эволюции звезд стали значительно точнее, поскольку новые спутники снабжают нас информацией о содержании химических элементов в старых звездах. На основании этих данных мы с коллегой Шабоей в 2005 г. сумели убедительно показать, что неопределенность в оценках возраста Вселенной так мала,

что уже можно вычеркнуть все варианты моложе 11 млрд лет. Это не соответствовало никакой из моделей Вселенной, где пустое пространство содержит значительное количество энергии. Опять же, поскольку мы не уверены, что эта энергия обязана своим существованием именно космологической постоянной, сейчас она называется проще — *темная энергия*, по аналогии с темным веществом, которое доминирует в галактиках.

Эта оценка возраста нашей Вселенной была значительно улучшена примерно в 2006 г., когда зонд WMAP провел измерения реликтового излучения с большой точностью и позволил точно измерить время, прошедшее от Большого взрыва. Теперь мы знаем возраст Вселенной с точностью в четыре значащие цифры — он составляет 13,72 млрд лет!

Я и представить себе не мог, что застану те времена, когда мы сможем добиться такой точности. Но теперь, раз уж у нас это получилось, мы можем подтвердить, что Вселенная с измеренной скоростью расширения сегодня совершенно невозможна без темной энергии, а особенно без такой темной энергии, которая ведет себя именно так, как вела бы себя энергия, представленная космологической постоянной. Иначе говоря, это энергия, которая, похоже, остается неизменной во времени.

Следующий научный прорыв позволил наблюдателям точно измерить, как вещество в виде галактик с течением времени собралось в скопления. Результат зависит от темпа расширения Вселенной, поскольку сила притяжения, стягивающая галактики вместе, вынуждена соперничать с космическим расширением, которое расталкивает вещество. Чем больше энергия пустого пространства, тем быстрее она начнет преобладать в общей энергии

Вселенной и тем скорее растущий темп расширения остановит гравитационный коллапс вещества на еще более крупных масштабах.

Таким образом, измерив формирование скоплений под действием гравитации, наблюдатели смогли еще раз подтвердить, что наблюдаемой крупномасштабной структуре соответствует лишь одна плоская Вселенная — та, в которой примерно 70% темной энергии, причем эта темная энергия ведет себя более или менее как энергия, описываемая космологической постоянной.

Независимо от этих косвенных исследований истории расширения Вселенной, исследователи сверхновых искали всевозможные причины систематических ошибок в своем анализе и исключали эти причины одну за другой. В частности, они исследовали возможность того, что на дальних расстояниях скапливается больше пыли и от этого сверхновые кажутся тусклее.

Очень важно было отдельно проверить, что происходило в самом далеком прошлом.

Давным-давно в истории Вселенной та ее часть, которую мы наблюдаем сейчас, была меньшего размера, а плотность вещества в ней была гораздо выше. Однако плотность энергии пустого пространства со временем не меняется, если эта энергия соответствует космологической постоянной или чему-то вроде того. Раз так, то, когда Вселенная была в два с лишним раза меньше, чем сейчас, плотность энергии вещества превосходила плотность энергии пустого пространства. Во все предшествующие эпохи именно вещество, а не пустое пространство определяло преобладающую гравитационную силу, которая управляла расширением. Следовательно, расширение Вселенной должно было замедляться.

В классической механике есть слово, которое обозначает точку, в которой система меняет величину ускорения и, в частности, переходит от замедления к ускорению. Это слово — «рывок», по-английски jerk. А еще слово jerk означает «псих» или «болван». В 2003 г. я организовал у себя в университете конференцию, чтобы обсудить будущее космологии, и пригласил Адама Рисса, участника проекта High-Z Supernova, который сказал мне, что припас интересный доклад. Так и оказалось. Назавтра *The New York Times*, освещавшая конференцию, опубликовала портрет Адама под заголовком «Обнаружен космический рывок» (Cosmic Jerk Discovered), что можно было понять и как «Обнаружен космический псих». Я сохранил вырезку из газеты и время от времени достаю ее, чтобы посмеяться.

Детальная схема истории расширения Вселенной, которая показывала, что после периода замедления она вступила в период ускорения, стала существенным доводом в пользу того, что первоначальные наблюдения, показавшие существование темной энергии, были на самом деле верны. Благодаря собранным с тех пор данным теперь очень трудно представить себе, что, следуя этой картине, мы оказываемся вовлеченными в какую-то космическую охоту за призраками. Темная энергия явилась к нам незваной гостьей и, похоже, останется навсегда — или по крайней мере до тех пор, пока она каким-то образом не изменится.

Происхождение и природа темной энергии, несомненно, величайшая загадка современной фундаментальной физики. Мы представления не имеем, откуда берется эта энергия и почему ее именно столько. Поэтому мы не понимаем, почему она начала управлять расширением Вселенной, почему это произошло лишь относительно

недавно, в последние 5 млрд лет, и было ли это совершенно случайно. Естественно предположить, что ее природа как-то связана с происхождением Вселенной, причем связь эта самая глубинная. И все указывает на то, что именно эта энергия определит будущее нашей Вселенной.

ГЛАВА 6

БЕСПЛАТНЫЙ ОБЕД НА КРАЮ ВСЕЛЕННОЙ

Космос велик. Страшно велик. Вы просто не поверите, насколько умопомрачительно он велик. К примеру, вы сетуете, как далеко от вас аптека, — но по сравнению с космосом это сущая чепуха.

Дуглас Адамс*

Один верный ответ из двух — это, по-моему, неплохо. Мы, космологи, догадались, что Вселенная плоская, и оказалось, что так и есть, поэтому нам не было особенно стыдно, когда было сделано следующее сенсационное открытие: оказывается, у пустого пространства есть энергия, причем ее достаточно, чтобы доминировать в расширении Вселенной. Трудно было поверить в само существование такой энергии, но еще труднее поверить, что этой энергии не будет достаточно, чтобы сделать Вселенную непригодной для обитания. Ведь если бы энергии пустого пространства было столько, сколько показывают априорные оценки, которые я недавно приводил, то темп расширения был бы так велик, что все, что мы сейчас видим

* Адамс Д. Автостопом по Галактике. — М.: АСТ, 2017.

во Вселенной, быстро унеслось бы за горизонт. Вселенная стала бы темной, холодной и пустой задолго до того, как успели бы сформироваться звезды, наше Солнце и Земля.

Из всех причин полагать, что Вселенная плоская, пожалуй, самая простая для понимания проистекала из того факта, что уже давно было известно, что Вселенная *почти* плоская. Еще в старину, до открытия темного вещества, даже известное количество видимого материала в галактиках и их окрестностях составляло около 1% такого общего количества, чтобы получилась плоская Вселенная.

Казалось бы, 1% — это немного, но наша Вселенная очень стара, ей миллиарды лет. Если предположить, что гравитационные эффекты вещества или излучения доминировали в ее развивающемся расширении, а мы, физики, всегда считали, что так оно и есть, то, если бы Вселенная была изначально не идеально плоской, при расширении она становилась бы все менее и менее плоской.

В случае открытой Вселенной расширение продолжалось бы в более быстром темпе, чем в плоской Вселенной, и вещество расходилось бы гораздо быстрее, так что его средняя плотность уменьшалась бы и очень быстро свелась к бесконечно малой доле плотности, необходимой для существования плоской Вселенной.

Если бы она была замкнутой, то расширение быстро замедлялось бы и в конечном итоге сменилось сжатием. В этом случае плотность сначала убывала бы медленнее, чем для плоской Вселенной, а на этапе сжатия стала бы расти. И в этом случае отклонение от плотности, необходимой для существования плоской Вселенной, со временем росло бы.

С тех пор как возраст Вселенной составлял 1 секунду, она выросла почти в 1 трлн раз. Если бы в тот давний миг плотность Вселенной была не в точности такой, какая

ождается для плоской Вселенной, а, скажем, составляла бы только 10% того, что было нужно тогда для плоской Вселенной, то сегодня плотность нашей Вселенной отличалась бы от плотности плоской Вселенной как минимум в 1 трлн раз. А это гораздо больше, чем скромный множитель 100, отличающий плотность видимого вещества во Вселенной от плотности, которая обеспечила бы плоскую Вселенную сегодня.

Об этой «проблеме плоской Вселенной» прекрасно знали еще в 1970-е гг. Рассматривать геометрию Вселенной — это все равно что представлять себе карандаш, который стоит на столе на острие. Стоит хрупкому равновесию чуть-чуть нарушиться, и карандаш тут же упадет. Вот и с плоской Вселенной так же. Малейшее отклонение от плоского состояния стремительно нарастает. И как же Вселенная может быть так похожа на плоскую в наши дни, если она не в точности плоская?

Ответ прост: да, она и сегодня должна быть, по существу, плоской.

Однако на самом деле этот ответ не очень прост, потому что сразу же в голову приходит следующий вопрос: как так вышло, что первоначальные условия привели к возникновению плоской Вселенной?

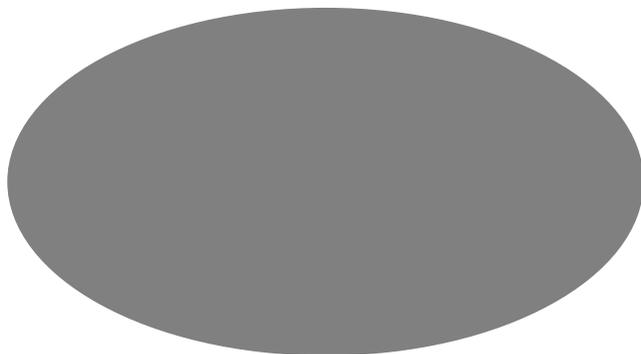
На этот вопрос, куда более трудный, есть два ответа. Первый был получен еще в 1981 г., когда один молодой теоретик, после защиты диссертации работавший в Стэнфордском университете, по имени Алан Гут*, задумался над проблемой плоской Вселенной и еще двумя смежными вопросами, связанными с общепринятой картиной Большого взрыва, — это так называемые проблема горизонта

* Или Алан Гус; используются оба варианта транскрипции фамилии Guth. — *Прим. науч. ред.*

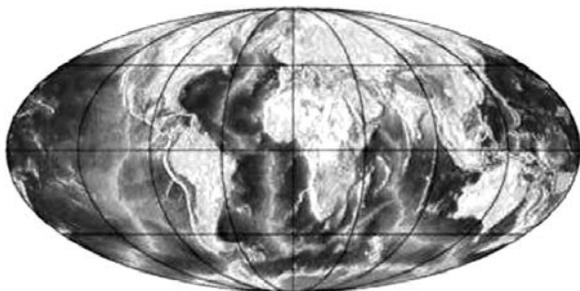
и проблема магнитного монополя. Речь у нас пойдет только о первой из них, поскольку проблема магнитного монополя просто заостряет вопросы горизонта и плоской Вселенной.

Проблема горизонта относится к тому обстоятельству, что реликтовое излучение необычайно однородно. Небольшие вариации температуры, о которых я уже писал, отражают вариации плотности вещества и излучения, существовавшие еще в те времена, когда Вселенной было всего несколько сотен тысяч лет, и составляют меньше $1/10\ 000$ по сравнению с фоновой плотностью и температурой, которые в целом однородны. Так что, хотя я много говорил об этих мелких отклонениях, гораздо более важный и насущный вопрос звучит иначе: как Вселенная могла быть такой однородной?

Ведь если бы вместо предыдущей карты реликтового излучения, где колебания температуры в несколько сотысячных отражены разными цветами, я показал бы его температурную карту с линейной шкалой, отражающей колебания температуры, скажем, в $\pm 0,03^\circ\text{K}$ относительно средней фоновой температуры примерно в $2,72^\circ$ выше абсолютного нуля (то есть отклонения в одну сотую от среднего значения) картинка выглядела бы примерно так, как на следующей странице:



Сравните это изображение, на котором невозможно уловить никакой структуры, с картой земного рельефа, сделанной чуть более подробно, — здесь колебания цвета отражают отклонения примерно в $1/500$ от среднего радиуса Земли.



То есть Вселенная на больших масштабах *поразительно однородна!*

Как так может быть? Ну, можно просто предположить, что в давние времена юная Вселенная была горячей и плотной и находилась в тепловом равновесии. Это значит, что слишком горячие участки остывали, а холодные нагревались, пока температура в этом первобытном бульоне не установилась на одном уровне.

Однако, как я уже отметил, когда Вселенной было всего несколько сотен тысяч лет, свет мог пройти только несколько сотен тысяч световых лет, а это лишь небольшая доля всей наблюдаемой на сегодня Вселенной (это прежнее расстояние представлено углом лишь около 1° всей поверхности последнего рассеяния на сегодняшней карте реликтового излучения). Поскольку, согласно Эйнштейну, информация не может распространяться быстрее света, в стандартной картине Большого взрыва

в принципе невозможно, чтобы на какую-то часть наблюдаемой сегодня Вселенной тогда влияло существование или температура других частей на угловых масштабах более 1° . Таким образом, газ на таких масштабах не мог прийти в такое равновесие, чтобы повсюду получилась настолько однородная температура!

Алан Гут, специалист в области физики элементарных частиц, размышлял о том, какие процессы на ранних этапах существования Вселенной могли бы помочь в понимании этой проблемы, когда ему в голову пришла поистине блестящая мысль: а что, если при остывании Вселенной произошел какой-то фазовый переход, типа того, что происходит в момент замерзания воды или когда железный брусок при остывании намагничивается? Тогда можно было бы решить не только проблему горизонта, но и проблему плоской Вселенной (а заодно, если уж на то пошло, и проблему магнитного монополя).

Если вы любите ледяное пиво, то, возможно, сталкивались с таким явлением: когда берешь из холодильника холодную бутылку, открываешь ее и сбрасываешь таким образом избыточное давление, пиво вдруг промерзает насквозь, причем иногда при этом даже трескается бутылка. Дело в том, что при высоком давлении пиво достигает предпочтительного состояния минимальной энергии, пока оно жидкое, а когда давление сбрасывается, предпочтительным состоянием минимальной энергии становится твердое состояние. В момент фазового перехода может высвободиться энергия, поскольку состояние минимальной энергии в одной фазе может требовать меньшей энергии, чем аналогичное состояние в другой фазе. Когда эта энергия высвобождается, ее называют «скрытая теплота».

Гут понял, что когда сама Вселенная остывала в процессе расширения после Большого взрыва, то конфигурация вещества и излучения в расширяющейся Вселенной, вероятно, на некоторое время «застряла» в каком-то метастабильном состоянии, а потом, когда Вселенная остыла еще сильнее, у этой конфигурации внезапно произошел фазовый переход в энергетически предпочтительное основное состояние вещества и излучения. Энергия, запасенная в конфигурации «ложного вакуума» до завершения фазового перехода, — если хотите, скрытая теплота Вселенной — могла оказывать сильнейшее влияние на расширение Вселенной в период до перехода.

Энергия ложного вакуума в таком случае повела бы себя в точности так же, как энергия, выраженная космологической постоянной, потому что действовала бы как энергия, пронизывающая пустое пространство. Это должно было вызвать все более быстрое расширение Вселенной. В конце концов то, чему предстояло стать нашей наблюдаемой Вселенной, стало бы расти со скоростью выше скорости света. В ОТО такое возможно, хотя, казалось бы, противоречит специальной теории относительности Эйнштейна, которая говорит, что ничто не может перемещаться быстрее света. Но тут надо подойти к делу дотошно, прямо-таки казуистически. СТО гласит, что невозможно перемещаться в пространстве быстрее, чем со скоростью света. Зато само пространство вправе вытворять все, что ему заблагорассудится, по крайней мере согласно ОТО. И если пространство расширяется, то скорость, с которой оно растаскивает далекие объекты, находящиеся в этом пространстве в состоянии покоя, может быть и сверхсветовой.

Оказывается, в этот инфляционный период Вселенная могла расшириться более чем в 10^{28} раз. Это невероятно много — и при этом такое вполне могло произойти, как ни поразительно, за какую-то долю секунды очень ранней Вселенной. В таком случае все в пределах нашей наблюдаемой Вселенной когда-то, до инфляции, было заключено в области куда меньшей, чем получалось по нашим расчетам в случае, если никакой инфляции не было, а главное, такой крошечной, что у нее было время на то, чтобы прийти в тепловое равновесие и получить одинаковую температуру.

Теория инфляции* сделала возможным и другое общее предсказание. Чем сильнее раздуваешь воздушный шар, тем меньше становится кривизна его поверхности. Нечто подобное происходит и со Вселенной, размеры которой растут экспоненциально, как при инфляции, под влиянием постоянной и огромной энергии ложного вакуума. Тогда к моменту завершения инфляции (что решает проблему горизонта) кривизна Вселенной (если она в самом начале была ненулевой) сводится к смехотворно малой величине, так что и сейчас Вселенная при самых точных измерениях выглядит, в сущности, плоской.

На сегодняшний день инфляция является единственным правдоподобным объяснением того, что Вселенная однородная и плоская, базирующимся на, по-видимому, фундаментальных и вычисляемых микроскопических теориях элементарных частиц и их взаимодействии. Мало того, теория инфляции позволяет сделать и еще одно, возможно даже более интересное, предсказание. Как я уже писал, из законов квантовой механики следует, что

.....
* От лат. *inflatio* — вздутие. — *Прим. ред.*

на очень маленьких масштабах и в очень короткие промежутки времени пустое пространство похоже на кипящую пену виртуальных частиц и полей с дикими колебаниями амплитуды. Эти квантовые флуктуации, возможно, определяют природу протонов и атомов, но в целом на более крупных масштабах незаметны — отчасти именно поэтому они кажутся нам такими неестественными.

Однако во время инфляции эти квантовые флуктуации способны определять, когда кончается период экспоненциального расширения у того, что при других обстоятельствах было бы разными маленькими областями пространства. Если разные области прекращают инфляцию в (микроскопически) разные моменты времени, то, когда энергия ложного вакуума высвобождается в виде тепловой энергии, плотность вещества и излучения в каждой области получается своя — чуть-чуть не такая, как в соседних.

Как выяснилось, картина флуктуаций плотности после инфляции, которые возникают — лишний раз подчеркну — из квантовых флуктуаций в пустом в прочих отношениях пространстве, полностью соответствует наблюдаемой картине распределения холодных и горячих пятен на карте микроволнового излучения. Такое соответствие, конечно, само по себе не доказательство, однако космологи все больше склоняются к мысли, что если кто-то ходит, как утка, выглядит, как утка, и крикает, как утка, то, вероятно, это утка и есть. А если во всех мелких флуктуациях плотности вещества и излучения, которые впоследствии привели к гравитационному коллапсу вещества в галактики, звезды, планеты и людей, виновата инфляция, тогда с полным правом можно сказать, что все мы очутились здесь сегодня из-за квантовых флуктуаций, происходивших в полной пустоте.

.....

Это настолько удивительно, что я, пожалуй, повторю: квантовые флуктуации, которые иначе оставались бы совершенно незамеченными, из-за инфляции оказались «заморожены» и впоследствии проявились как неоднородности плотности, а те произвели все, что мы видим! Я уже писал, что все мы — звездная пыль, но если инфляция и вправду была, то все мы еще и порождение квантового «ничего».

Все это настолько неинтуитивно, что похоже на какое-то колдовство. А особенно смущает во всех этих фокусах с инфляцией один вопрос: откуда вообще взялась вся энергия? Каким образом микроскопически крошечная область смогла стать областью размером с сегодняшнюю Вселенную, где хватает и вещества, и излучения для всего, что мы видим?

Можно задать и более общий вопрос: каким образом сохраняется плотность энергии в расширяющейся Вселенной с космологической постоянной, или, что то же самое, с энергией ложного вакуума? Ведь в такой Вселенной пространство расширяется экспоненциально, так что если плотность энергии остается прежней, полная энергия в пределах любой области будет расти с ростом объема этой области. А как же закон сохранения энергии?

Перед нами пример того, что Гут назвал «бесплатным обедом» по высшему разряду. Если при размышлениях о Вселенной учитывать воздействие гравитации, получается, что у объектов, как ни поразительно, есть не только «положительная», но и «отрицательная» энергия. Эта особенность гравитации допускает, что все, что наделено положительной энергией, вроде вещества и излучения, может уравниваться конфигурациями с отрицательной энергией. При этом гравитация может начинать

и с пустой Вселенной — и привести ко Вселенной, полной всякой всячины.

Все это на первый взгляд как-то неправдоподобно, но именно в этом для многих из нас заключается настоящее чудо плоской Вселенной. Ну и, кроме того, вы все это проходили на уроках физики в школе.

Представьте себе, что вы подбросили мячик. Обычно он после этого падает. Теперь подбросьте его сильнее (предположим, вы на улице). Он улетит выше и останется в воздухе дольше, но потом все равно вернется. Наконец, если вы запустите мячик очень сильно, он вообще не упадет: вырвется из гравитационного поля Земли и улетит в космос.

Как нам узнать, в каком случае мячик улетит? Мы делаем простой бухгалтерский баланс энергии. Движущееся в гравитационном поле Земли тело обладает энергией двух типов. Первая, энергия движения, называется кинетической энергией — от греческого слова, которое означает «движение». Это энергия, которая зависит от скорости тела, и она всегда положительна. Второй компонент — потенциальная энергия (она связана с потенциалом совершать работу) — обычно отрицательна.

Дело обстоит так потому, что общую гравитационную энергию объекта, находящегося в покое на бесконечно далеком расстоянии от любых других тел, мы определяем как нулевую, и это вроде бы логично. Кинетическая энергия, очевидно, равна нулю, а потенциальную мы определяем как равную нулю, вот и получается, что общая гравитационная энергия равна нулю.

А вот если тело расположено не на бесконечном расстоянии от любых других тел, а близко к какому-то объекту, например к Земле, оно начнет падать на него из-за

гравитационного притяжения. В падении тело ускоряется, и если по пути оно во что-то врежется, скажем вам в голову, то совершит какую-то работу, скажем раскроит череп. Чем ближе тело находилось к поверхности Земли в момент начала падения, тем меньше работы оно может совершить к тому времени, как ударится о Землю. Таким образом, потенциальная энергия тела при приближении к Земле становится меньше. Однако если потенциальная энергия равна нулю на бесконечном расстоянии от Земли, то чем ближе она к Земле, тем отрицательнее должна становиться, поскольку ее потенциал совершать работу уменьшается по мере приближения.

В классической механике, как я и описываю, определение потенциальной энергии произвольно. Я мог бы принять равной нулю потенциальную энергию тела на поверхности Земли, и тогда на бесконечно далеком расстоянии она бы стремилась к какому-то очень большому числу. Решение приравнять к нулю общую энергию на бесконечности имеет физический смысл, однако это всего лишь вопрос договоренности, по крайней мере на нынешнем этапе нашего повествования.

Вне зависимости от того, где мы назначим точку нуля потенциальной энергии, у всех тел, подверженных только силе гравитации, есть одно чудесное свойство: сумма их потенциальной и кинетической энергии остается постоянной. При падении тела потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию движения, а когда тело отскакивает от Земли, кинетическая энергия переходит в потенциальную, и т. д.

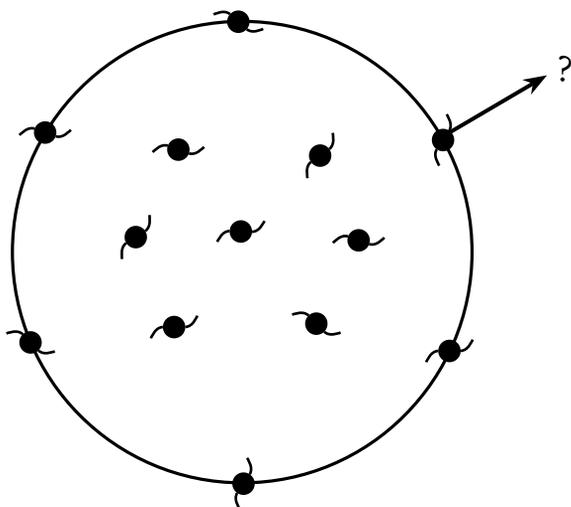
Это дает нам восхитительный бухгалтерский инструмент, позволяющий определять, с какой скоростью нужно запустить тело в воздух, чтобы оно улетело

от Земли, поскольку, если оно в конечном итоге должно уйти на бесконечное расстояние от Земли, его общая энергия должна быть больше или равна нулю. Тогда мне остается просто сделать так, чтобы полная гравитационная энергия тела в момент, когда оно оторвется от моей руки, была больше или равна нулю. Поскольку я контролирую только одну составляющую полной энергии — скорость, с которой тело оторвется от моей руки, мне нужно всего-навсего рассчитать ту волшебную скорость, при которой положительная кинетическая энергия мяча равняется отрицательной потенциальной энергии, которую дает ему притяжение на поверхности Земли. И кинетическая, и потенциальная энергия мяча одинаковым образом зависят от массы мяча, которая, таким образом, сокращается при приравнивании этих двух величин, поэтому «скорость убегания» от земной поверхности, она же вторая космическая скорость, для всех тел в природе одинакова и составляет около 11 км/с. Как раз в этом случае полная гравитационная энергия тела в точности равна нулю.

Тут вы вправе задать вопрос, какое все это имеет отношение ко Вселенной в целом и к инфляции в частности. Дело в том, что расчеты для мячика, который я бросаю рукой у земной поверхности, применимы к любому телу, любому объекту в нашей расширяющейся Вселенной.

Рассмотрим сферическую область Вселенной с центром там, где находимся мы с вами (в галактике Млечный Путь), такого размера, чтобы в нее входило достаточно много галактик, но не слишком большую, чтобы она вполне укладывалась в пределы расстояний, на которых мы можем сегодня вести наблюдения.

Если эта область достаточно велика, но не слишком огромна, то галактики на ее краю будут равномерно удаляться от нас в соответствии с хаббловским расширением со скоростью, гораздо меньшей скорости света. В этом случае к ним применимы законы Ньютона, а эффектами общей и специальной теории относительности можно пренебречь. Иначе говоря, каждый объект подчиняется точно таким же законам физики, что и мячик, который я пытаюсь зашвырнуть в космос.



Рассмотрим галактику, которая движется от центра выбранной области, как изображено на рисунке. Как и в случае с мячиком, который бросают с Земли, можно задать вопрос, сумеет ли галактика преодолеть гравитацию всех остальных галактик в сфере. Чтобы получить ответ, нам надо проделать те же самые вычисления, что и для мячика. Мы попросту подсчитываем полную гравитационную энергию галактики, учитывая ее движение

наружу (что дает положительную энергию), и гравитационное притяжение ее соседок (что дает отрицательное слагаемое энергии).

Если полная энергия галактики больше нуля, она умчится в бесконечность, а если меньше, остановится и начнет падать внутрь сферы.

И вот что интересно: вполне можно переписать простую формулу Ньютона для полной гравитационной энергии этой галактики таким образом, что она в точности повторит уравнение Эйнштейна из ОТО для расширяющейся Вселенной. Тот член уравнения, который соответствует полной гравитационной энергии галактики, в ОТО становится членом, который описывает кривизну Вселенной.

Так что же мы тогда найдем? В плоской Вселенной, и только в ней, суммарная средняя ньютоновская энергия гравитации каждого объекта, который движется в рамках расширения Вселенной, в точности равна нулю!

Именно поэтому плоская Вселенная — совершенно особый случай. В такой Вселенной положительная энергия движения в точности уравновешена отрицательной энергией гравитационного притяжения.

Если мы начнем все усложнять и допустим, что пустое пространство обладает энергией, то простая ньютоновская аналогия с подбрасыванием мячика в воздух становится некорректной, но вывод остается, в сущности, прежним. В плоской Вселенной, даже если в ней есть небольшая космологическая постоянная, на масштабе, который достаточно мал, чтобы скорости оставались гораздо меньшими скорости света, Ньютонова гравитационная энергия, связанная с каждым телом во Вселенной, равна нулю.

Более того, в присутствии энергии вакуума «бесплатный обед» Алана Гута становится еще вкуснее. По мере того как каждая область Вселенной расширяется и набирает объем, она становится все более и более плоской, поэтому полная Ньютонова гравитационная энергия всего, что получится после того, как энергия вакуума в процессе инфляции преобразуется в вещество и излучение, в точности равна нулю.

Но вы все равно имеете полное право спросить: откуда берется вся энергия, благодаря которой плотность энергии остается постоянной в процессе инфляции, когда Вселенная расширяется экспоненциально? Тут на помощь приходит еще одна интересная особенность ОТО. Отрицательной может быть не только гравитационная энергия объектов, но и их релятивистское «давление».

Вообразить отрицательное давление даже труднее, чем отрицательную энергию. Газ — скажем, в воздушном шаре — давит на стенки шара. Если он расширяет стенки шара, то совершает над ним работу. Эта работа заставляет газ терять энергию и охлаждаться. Однако оказывается, что энергия пустого пространства потому и имеет вид гравитационного отталкивания, что заставляет пустое пространство иметь «отрицательное» давление. В результате отрицательного давления Вселенная при расширении совершает работу над пустым пространством. Эта работа позволяет поддерживать постоянную плотность энергии даже при расширении Вселенной.

Таким образом, если квантовые свойства вещества и излучения в конечном итоге обеспечили энергией даже самые крошечные области пустого пространства на самых ранних этапах существования Вселенной, эти области, расширяясь, могли стать сколь угодно большими и сколь

угодно плоскими. Когда инфляция заканчивается, может получиться Вселенная, набитая всякой всячиной (веществом и излучением), причем общая Ньютонова гравитационная энергия этой всячины будет так близка к нулю, что ближе и представить себе невозможно.

Так что в сухом остатке после целого столетия проб и ошибок мы измерили кривизну Вселенной и обнаружили, что она равна нулю. Можно понять, почему так много физиков-теоретиков вроде меня поняли, что это повод не только для радости, но и для серьезных размышлений.

Значит, все-таки Вселенная из Ничего...

ГЛАВА 7

НАШЕ ПЕЧАЛЬНОЕ БУДУЩЕЕ

Будущее теперь уже не то, что раньше.

БЕЙСБОЛИСТ ЙОГИ БЕРРА

В каком-то смысле обнаружить, что живешь во Вселенной, где всем правит ничто, интересно и восхитительно. Структуры, которые мы видим, вроде звезд и галактик, возникли из ничего в результате квантовых флуктуаций. В среднем полная ньютоновская гравитационная энергия каждого объекта во Вселенной равна — ничему. Наслаждайтесь этой мыслью, пока есть возможность, поскольку, если все это правда, мы живем чуть ли не в самой худшей из вселенных, по крайней мере с точки зрения будущего всех живых организмов.

Вспомним, что всего 100 лет назад Эйнштейн разработал ОТО. Тогда все считали, что наша Вселенная неизменна и вечна. Более того, Эйнштейн не просто высмеял Леметра за предположение о Большом взрыве, но даже выдумал космологическую постоянную, лишь бы сохранить стационарную модель Вселенной.

Сейчас, по прошествии века, мы, ученые, можем гордиться, что открыли столько фундаментального —

и расширение Вселенной, и реликтовое излучение, и темное вещество, и темную энергию.

Но что таит в себе будущее?

А будущее наше очень поэтично. Если можно так выразиться.

Вспомним: вывод о том, что в расширении нашей Вселенной доминирует энергия пустого на первый взгляд пространства, делается на основании того факта, что расширение происходит с ускорением. И, как и ранее обстояло с инфляцией и как описано в предыдущей главе, наша наблюдаемая Вселенная стоит на пороге расширения со скоростью больше скорости света. А со временем из-за расширения с ускорением все станет только хуже.

Это означает, что чем дольше мы будем ждать, тем меньше сможем видеть. Галактики, которые мы видим сейчас, в один прекрасный день начнут удаляться от нас со сверхсветовой скоростью, а это значит, что они станут для нас невидимыми: свет, который они испускают, не сможет преодолеть расширяющееся пространство и никогда до нас не долетит. Эти галактики исчезнут с нашего горизонта.

Произойдет это не совсем так, как вы, возможно, себе представляете. Галактики не то чтобы вдруг погаснут и вмиг исчезнут с ночного неба. Просто по мере приближения скорости их удаления к скорости света будет увеличиваться красное смещение. В конце концов весь видимый свет от них сдвинется в инфракрасное, микроволновое, затем радиоизлучение и так далее до тех пор, пока длина волны света, который они испускают, не станет больше размера видимой Вселенной, и в этот момент их можно будет официально признать невидимыми.

Можно посчитать, сколько времени это займет. Поскольку галактики в нашем скоплении связаны взаимным гравитационным притяжением, они не удаляются от нас в связи с фоновым расширением Вселенной, которое открыл Хаббл. Галактики за пределами нашей группы находятся примерно на $1/5000$ расстояния до той точки, где скорость удаления объектов приближается к световой. Чтобы туда добраться, у них уйдет около 150 млрд лет, примерно в 10 раз больше нынешнего возраста Вселенной, и тогда весь свет от звезд в этих галактиках сдвинется в красную сторону примерно в 5000 раз. Примерно через 2 трлн лет их свет сдвинется в красную сторону настолько, что длина его волны станет равна размеру видимой Вселенной — и вся остальная часть Вселенной буквально исчезнет.

Казалось бы, 2 трлн лет — большой срок. Так и есть. Однако с космической точки зрения это отнюдь не вечность. Самые долгоживущие звезды главной последовательности (у которых такая же эволюционная история, как и у нашего Солнца) проживут гораздо дольше Солнца и через 2 трлн лет будут еще вовсе светить (в то время как наше Солнце погибнет всего через 5 млрд лет). Так что в отдаленном будущем на планетах вокруг этих звезд вполне могут быть цивилизации, черпающие энергию от своих светил, с водой и органическими соединениями. И астрономы с телескопами тоже вполне могут быть. Посмотрят они в космос — а там все, что мы видим сейчас, все 400 млрд галактик, составляющих на сегодня нашу видимую Вселенную, возьмут и исчезнут!

Я пытался донести этот довод до Конгресса, чтобы убедить его увеличить финансирование космологических исследований прямо сейчас, пока у нас еще есть время

.....

наблюдать все это. Однако для конгрессмена даже два года — долгий срок, а уж на 2 трлн лет вперед он заглянуть просто не в состоянии.

Так или иначе астрономов далекого будущего ждал бы большой сюрприз, если бы только они знали, что теряют. Но этого они знать не будут. Как несколько лет назад выяснили мы с коллегой Робертом Шеррером из Университета Вандербильта, исчезнет не только вся остальная Вселенная — по существу, исчезнут и все свидетельства, которые говорят нам сегодня, что мы живем в расширяющейся Вселенной, начавшейся с Большого взрыва, вместе со всеми свидетельствами существования в пустом пространстве темной энергии, которую можно было бы обвинить в этой пропаже.

А ведь не прошло и 100 лет с тех пор, когда все считали, что Вселенная неизменна и вечна, то есть звезды и планеты появляются и исчезают, но на больших масштабах Вселенная остается как была. Получается, что в далеком будущем, когда от нашей планеты и цивилизации, скорее всего, не останется даже праха на свалке истории, иллюзия, которую наша цивилизация разделяла до 1930-х гг., вернется и отомстит за себя сторицей.

К эмпирическому доказательству Большого взрыва привели три основные вехи — три наблюдения, благодаря которым, даже если бы на свете не было ни Эйнштейна, ни Леметра, нам все равно волей-неволей пришлось бы признать, что Вселенная в самом начале была плотной и горячей. Это наблюдения расширения Вселенной, которые проделал Хаббл; это наблюдения космического микроволнового фона; это соответствие наблюдаемой распространенности во Вселенной легких элементов — водорода, гелия и лития — тем количествам, которые

должны были возникнуть в первые несколько минут истории Вселенной.

Начнем с хаббловского расширения Вселенной. Откуда мы знаем, что Вселенная расширяется? Мы измерили скорость удаления далеких объектов в зависимости от расстояния до них. Но, когда все видимые объекты вне нашего галактического скопления (в котором все мы связаны узами гравитации) исчезнут за горизонтом, не останется никаких следов расширения, которые наблюдатели могли бы зарегистрировать, — ни звезд, ни галактик, ни квазаров, ни даже огромных газовых облаков. Расширение достигнет таких масштабов, что вынесет из нашего поля зрения все объекты, которые от нас удаляются.

Более того, на масштабе менее 1 трлн лет все галактики в нашей местной группе слипнутся в своего рода огромную сверхгалактику. Наблюдатели в далеком будущем увидят примерно то же самое, что мы могли увидеть в 1915 г.: одну-единственную галактику, в которой находится их звезда и их планета, окруженную обширным пустым и неизменным пространством.

Напомню также, что все свидетельства того, что пустое пространство обладает энергией, мы получаем из наблюдений темпа, с которым ускоряется расширение нашей Вселенной. А без признаков расширения понять, что оно еще и ускоряется, будет невозможно. Вообще-то по странному совпадению мы живем в ту единственную эпоху истории Вселенной, когда наличие темной энергии, наполняющей пустое пространство, в принципе довольно легко зарегистрировать. Конечно, эта эпоха длится несколько сотен миллиардов лет, но вечно расширяющейся Вселенной это всего лишь мгновение космического ока.

Если мы предположим, что энергия пустого пространства относительно постоянна, как было бы в случае космологической постоянной, то в гораздо более ранние времена плотность энергии вещества и излучения значительно превосходила бы плотность энергии пустого пространства — просто потому, что при расширении Вселенной плотность вещества и излучения снижается, поскольку растёт расстояние между частицами, поэтому в заданном объеме остается меньше объектов. В более ранние времена, скажем 5–10 млрд лет назад, плотность вещества и излучения была гораздо больше, чем сегодня. Поэтому во Вселенной тогда и раньше преобладали вещество и излучение со своим гравитационным притяжением. Расширение Вселенной в те ранние времена замедлялось, а гравитационное воздействие энергии пустого пространства невозможно было бы зарегистрировать.

По тем же соображениям в далеком будущем, когда Вселенной исполнится несколько сотен миллиардов лет, плотность вещества и излучения станет еще меньше, и можно подсчитать, что средняя плотность темной энергии будет превосходить плотность всего оставшегося во Вселенной вещества и излучения намного более, чем в тысячу миллиардов раз. К этому времени она будет полностью управлять гравитационной динамикой Вселенной на больших масштабах. Однако в эту позднюю эпоху ускоренное расширение Вселенной станет невозможно наблюдать. В этом смысле энергия пустого пространства по самой своей природе обеспечивает определенный, конечный отрезок времени, в который его можно наблюдать, и мы, что примечательно, живем именно в этот космологический момент.

А как же другой краеугольный камень теории Большого взрыва — реликтовое излучение, которое показывает нам прямо-таки фотографию Вселенной во младенчестве? Во-первых, поскольку Вселенная будет расширяться еще быстрее, температура этого излучения будет снижаться. Когда наблюдаемая сейчас Вселенная увеличится примерно в 100 раз, температура реликтового излучения упадет в 100 раз, а его интенсивность, то есть плотность заключенной в нем энергии, понизится в 100 млн раз, а значит, зарегистрировать его будет в 100 млн раз труднее, чем сейчас.

Но ведь мы все-таки сумели зарегистрировать космическое микроволновое излучение среди всего электронного шума на Земле и можем представить себе, что наблюдатели в далеком будущем будут в 100 млн раз умнее тех, которыми человечество имеет счастье располагать в наши дни. Быть может, не все так безнадежно? Увы, оказывается, что даже самый блестящий наблюдатель с самым чувствительным оборудованием все равно в далеком будущем обречен на провал. Дело в том, что в нашей Галактике (или супергалактике, которая образуется, когда Галактика сольется с соседками, в первую очередь с Туманностью Андромеды, что произойдет уже через 5 млрд лет) между звездами есть горячий газ, и этот газ ионизирован, то есть содержит свободные электроны, а следовательно, ведет себя как плазма. А такая плазма, как я уже писал, непрозрачна для многих видов излучения.

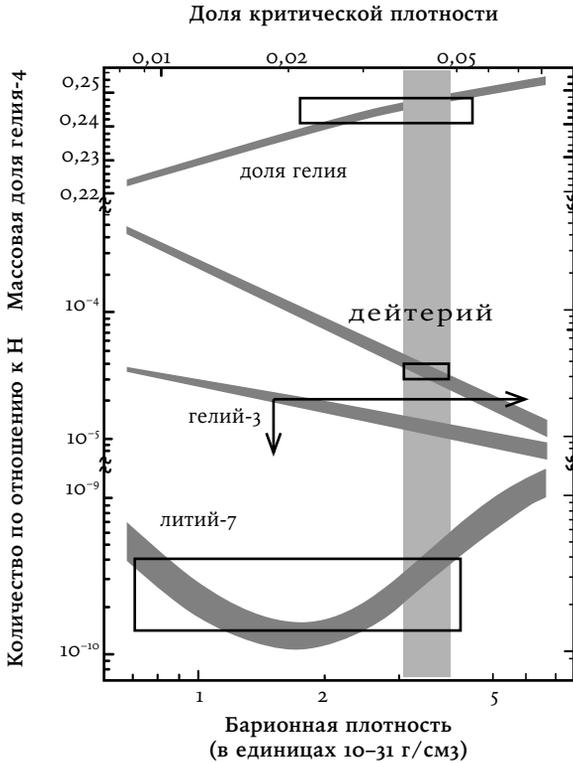
Существует так называемая «плазменная частота», ниже которой излучение не может пройти сквозь плазму без поглощения. На основании наблюдаемой сейчас плотности свободных электронов в нашей Галактике мы можем оценить плазменную частоту — и обнаружим, что к тому

моменту, когда Вселенная станет примерно в 50 раз больше нынешнего, основная часть реликтового излучения, оставшегося после Большого взрыва, будет растянута до таких длинных волн (а следовательно, до таких низких частот), что они окажутся ниже плазменной частоты нашей Галактики (супергалактики). После этого фоновое излучение, в сущности, не сможет проникнуть в нашу супергалактику и даже самому дотошному наблюдателю нечего будет наблюдать. Так что и реликтовое излучение тоже исчезнет.

Итак, не будет ни возможности наблюдать расширение Вселенной, ни излучения, которое осталось после Большого взрыва. А как же распространенность легких элементов — водорода, гелия и лития? Ведь это тоже прямые свидетельства Большого взрыва.

И в самом деле, как я уже писал в главе 1, когда мне встречается человек, не верящий в Большой взрыв, я показываю ему карточку, которую всегда ношу при себе. И говорю: «Глядите! Вот он, Большой взрыв!»

Я понимаю, что на первый взгляд картинка очень сложная, но на самом деле она показывает прогноз относительной распространенности гелия, дейтерия, гелия-3 и лития-7 по сравнению с водородом на основании нашего нынешнего представления о Большом взрыве. Верхняя кривая, которая уходит вправо и вверх, показывает прогноз количества (по весу) гелия, второго по распространенности элемента во Вселенной по сравнению с водородом (самым распространенным элементом). Две другие кривые, которые уходят вправо вниз, отражают прогноз количества дейтерия и гелия-3 соответственно, но не по весу, а по числу ядер по сравнению с водородом. Наконец, последняя, нижняя, кривая отражает прогноз распространенности



следующего по весу элемента — лития — опять же по числу ядер.

Прогноз распространенности показан как функция предполагаемой полной плотности обычного (состоящего из атомов) вещества в нынешней Вселенной. Если бы ни при каком значении плотности не получалось той комбинации предсказанного обилия элементов, что соответствует нынешним наблюдениям, это было бы сильным доводом против того, что они возникли в результате сверхвысоких температур при Большом взрыве. Обратите внимание, что предсказанная

распространенность этих элементов колеблется в пределах почти 10 порядков.

Прямоугольники на каждой кривой отражают допустимый диапазон реальной первичной распространенности этих элементов по оценкам, основанным на наблюдениях старых звезд и горячего газа в нашей Галактике и за ее пределами.

Вертикальная темная полоса показывает область параметров, где все предсказания согласуются с наблюдениями. Трудно представить себе более конкретный довод, нежели соответствие предсказаний и наблюдений для элементов, количество которых может варьироваться на 10 порядков, в пользу того, что все легкие элементы возникли в «печке» Большого взрыва.

Пожалуй, стоит проговорить более четко, какие выводы следуют из этого примечательного соответствия. Только в первые горячие секунды Большого взрыва, при условии что первоначальное количество протонов и нейтронов было именно таким, чтобы в видимых галактиках получилась наблюдаемая сейчас плотность вещества или очень близкая к ней, и что плотность излучения была именно такой, чтобы получилась наблюдаемая сейчас интенсивность реликтового излучения, могли идти те ядерные реакции, которые дали в точности такую распространенность легких элементов — водорода, дейтерия, гелия и лития, которая, как мы полагаем, составила основной строительный материал звезд, заполняющих сегодня ночное небо.

Как сказал бы Эйнштейн, лишь крайне зловредный (а посему, с его точки зрения, невообразимый) Бог мог бы нарочно создать Вселенную, в которой все так однозначно указывает ее происхождение в Большом взрыве, не осуществив сам этот взрыв.

.....

В самом деле, когда в 1960-е гг. было доказано, что предполагаемая распространенность гелия во Вселенной примерно совпадает с величиной, которая получается в расчетах, основанных на предположении, что гелий появился в результате Большого взрыва, это стало одним из важнейших доводов, позволивших концепции Большого взрыва одержать победу над очень популярной тогда стационарной моделью Вселенной, которую продвигали Фред Хойл и его сотрудники.

Однако в далеком будущем все будет иначе. Отметим, что звезды сжигают водород и производят гелий. С момента Большого взрыва и до настоящего времени лишь 15% всего наблюдаемого во Вселенной гелия могло выработаться в звездах, и это, повторяю, очень убедительный довод, что для получения того, что мы видим сегодня, нужен был Большой взрыв. Но в далеком будущем все будет не так, поскольку родится и умрет много новых поколений звезд.

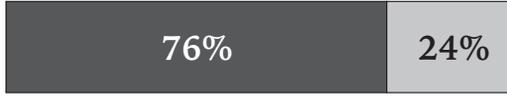
Например, когда Вселенной исполнится 1 трлн лет, в звездах будет выработано гораздо больше гелия, чем получилось в результате собственно Большого взрыва. Это видно из приведенной ниже диаграммы.

Когда 60% видимого вещества во Вселенной станет составлять гелий, не будет никакой необходимости в производстве первоначального гелия в горячих условиях Большого взрыва, чтобы добиться соответствия теории и наблюдений.

Зато наблюдатели и теоретики из цивилизации в далеком будущем смогут на основании этих данных сделать вывод, что возраст Вселенной конечен. Поскольку звезды сжигают водород и преобразуют его в гелий, существует верхний предел продолжительности существования

Большой взрыв

Сразу после нуклеосинтеза



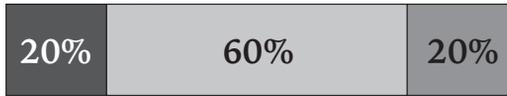
В наше время

Содержание в Солнце



Через 1 трлн лет

Тяжелое будущее



- Водород
- Гелий
- Элементы тяжелее гелия

звезд — иначе доля водорода по отношению к гелию оказалась бы еще ниже. Таким образом, ученые будущего должны будут заключить, что возраст Вселенной не превышает примерно 1 трлн лет. Однако никаких непосредственных признаков того, что все началось с Большого взрыва, а не с какого-то другого спонтанного события, ставшего причиной возникновения единственной «супергалактики» будущего, у них не будет.

Вспомним, что Леметр вывел идею Большого взрыва исключительно из размышлений над ОТО Эйнштейна. Мы вправе предположить, что любая развитая цивилизация в далеком будущем откроет законы физики, электромагнетизм, квантовую механику и ОТО. Найдется ли в ней свой Леметр, который выдвинет подобную гипотезу?

Вывод, который сделал Леметр, — что наша Вселенная началась с Большого взрыва, — был неизбежен, однако основывался он на допущении, которое не будет истинным для наблюдаемой Вселенной далекого будущего. Вселенная, где вещество равномерно распределено по всем направлениям, Вселенная изотропная и однородная не может быть стационарной по причинам, которые понял Леметр, а вслед за ним и Эйнштейн. Однако существует прекрасное решение уравнений Эйнштейна для одной-единственной массивной системы, окруженной пустым статичным пространством. Ведь если бы такого решения не было, ОТО не могла бы описывать изолированные объекты вроде нейтронных звезд или, в конце концов, черных дыр.

Системы, где распределены большие массы, — вроде нашей Галактики — нестабильны, поэтому в конечном итоге наша Галактика (или сверхгалактика) сколлапсирует и превратится в массивную черную дыру. Это описывает статическое решение уравнения Эйнштейна, которое называется «решение Шварцшильда». Однако время, необходимое Галактике, чтобы схлопнуться и превратиться в черную дыру, гораздо больше, чем время, за которое исчезнет вся остальная Вселенная. А это значит, что ученым будущего покажется естественной гипотеза, что наша Галактика существовала 1 трлн лет в пустом пространстве, не испытывая существенного сжатия, и такая картина не требует, чтобы Вселенная вокруг расширялась.

Разумеется, строить какие-то умозаключения о будущем очень трудно, это всем известно. Сейчас, когда я пишу эти строки, в Швейцарии, в Давосе, проходит Всемирный экономический форум, где полным-полно

экономистов, которые постоянно предсказывают поведение рынков в будущем и постоянно пересматривают свои прогнозы, когда они оказываются катастрофически ошибочными. А в целом мне кажется, что любые предсказания, касающиеся науки и технологии отдаленного и даже не столь отдаленного будущего, даже более неполны и ненадежны, чем прогнозы самой ужасной из наук — экономики. И вообще, когда меня спрашивают о ближайшем будущем науки или о том, каким будет ближайшее крупное научное открытие, я всегда отвечаю: «Знал бы — сам бы сейчас над этим работал!»

Поэтому мне приятно думать, что картина, которую я здесь описал, очень похожа на то, как описывал будущее третий призрак из «Рождественской песни» Диккенса. Это не более чем *возможное* будущее. Ведь мы даже не знаем, что это за темная энергия пронизывает пустое пространство, а поэтому не можем быть уверены, что она будет вести себя подобно космологической постоянной Эйнштейна и останется постоянной. А если нет, то будущее нашей Вселенной может оказаться совсем другим. Тогда, вероятно, расширение перестанет ускоряться, а со временем снова замедлится и далекие галактики не исчезнут. Или, скажем, могут обнаружиться какие-то новые наблюдаемые величины, которые мы пока не можем зарегистрировать, и они снабдят астрономов будущего свидетельствами, что некогда произошел Большой взрыв.

Но если основываться на всем том, что нам известно о Вселенной сегодня, будущее, которое я очертил, наиболее правдоподобно. Очень интересно размышлять, сумеют ли ученые будущего, вооружившись логикой, здравым смыслом и эмпирическими данными, все же сделать

верные выводы о природе Вселенной или же она так и останется навеки скрытой за горизонтом. Какой-нибудь гениальный ученый будущего, исследуя фундаментальную природу сил и частиц, сумеет, возможно, вывести теоретическую картину, предполагающую, что когда-то была инфляция или что в пустом пространстве должна быть энергия, а это объяснит, почему в пределах горизонта видимости нет галактик. Но я в этом, увы, совсем не уверен.

Ведь физика — наука прежде всего эмпирическая, движимая экспериментами и наблюдениями. Если бы мы не вывели существование темной энергии из наблюдений, сомневаюсь, что у какого-нибудь теоретика хватило бы сегодня храбрости заявить о ее существовании. И хотя возможно также представить себе косвенные намеки на то, что у картины единственной галактики в стационарной Вселенной без Большого взрыва проявятся какие-то недостатки, например явно аномальные данные о наблюдаемой распространенности элементов, подозреваю, что бритва Оккама заставит считать верной самую простую картину, а аномалии наблюдений удастся объяснить какими-то локальными особенностями.

С тех пор как мы с Бобом Шеррером подняли вопрос о том, что ученые будущего станут опираться на опровержимые данные и модели, согласно всем стандартам научного метода, однако в процессе получают неверную картину Вселенной, многие наши коллеги пытались предложить разные способы проверить в далеком будущем, расширяется ли Вселенная. Я и сам могу представить себе возможные эксперименты. Но не понимаю, откуда возьмутся убедительные стимулы их проводить.

Например, может потребоваться вышвырнуть из нашей Галактики яркие звезды, запустить их в дальний космос, подождать примерно 1 млрд лет, чтобы они взорвались*, и попытаться пронаблюдать скорость их удаления как функцию расстояния, которое они пройдут, прежде чем взорваться, чтобы разобраться, не поспособствовало ли их удалению возможное расширение пространства. Задача не из простых, но, даже если вообразить, что это можно проделать, я не могу представить себе, чтобы какой-нибудь Национальный научный фонд будущего выделил средства на подобный эксперимент, не имея более убедительной мотивации для споров о расширении Вселенной. И если даже звезды будут вылетать из нашей Галактики по каким-то естественным причинам и можно будет наблюдать их движение к горизонту, мне неясно, будет ли аномальное ускорение таких объектов истолковано как доказательство столь странной и смелой гипотезы, как расширение Вселенной под воздействием темной энергии.

Можно считать, нам повезло, что мы живем в нынешние времена. Или, как написали мы с Бобом в одной статье, «мы живем в особое время... единственное время, когда мы можем подтвердить данными наблюдений, что живем в особое время!»

Мы, конечно, шутили, но мысль о том, что можно иметь в своем распоряжении самые лучшие инструменты для наблюдений и отличный теоретический аппарат и при этом составить совершенно ошибочную картину мира на больших масштабах, очень отрезвляет.

.....
* Как сверхновые Ia типа. — *Прим. науч. ред.*
.....

Однако я должен подчеркнуть, что, хотя неполные данные могут породить ложную картину, это совсем не то же самое, что получается у тех, кто сознательно пренебрегает эмпирическими данными, чтобы придумать картину сотворения мира, которая иначе противоречила бы реальным данным (например, сторонники младоземельного креационизма), или у тех, кто требует существования чего-то, что не подтверждается никакими данными наблюдений (например, высшего разума), лишь бы это соответствовало их представлениям о сотворении мира и априорным предрассудкам, или, хуже того, у тех, кто цепляется за сказки о природе, где все ответы уже есть и вопросов задавать не нужно. Ученые грядущих веков будут основывать свои оценки на самых лучших данных, которые только окажутся в их распоряжении, и осознавать при этом, как и все мы или, по крайней мере, как ученые, что новые свидетельства могут заставить нас изменить свои фундаментальные представления о реальности.

Тут стоит добавить, что мы, вероятно, и сегодня не учитываем чего-то такого, что могли бы пронаблюдать, если бы жили 10 млрд лет назад или, скажем, могли бы увидеть в будущем, через 100 млрд лет. Тем не менее я подчеркну, что картина Большого взрыва очень надежно подкреплена данными из самых разных областей, так что едва ли окажется опровергнута, по крайней мере в общем. Однако новые данные вполне могут привнести различные нюансы в картину далекого прошлого и далекого будущего или в вопрос о происхождении самого Большого взрыва и его вероятной уникальности. Более того, я надеюсь, что так и будет. Представление о том, что жизни и разуму во Вселенной все-таки придет конец, должно научить нас определенному космическому

смирению в притязаниях, хотя у космологов со смирением не очень хорошо.

Так или иначе сценарий, который я сейчас описал, отличается некоторой поэтической симметрией при всем своем трагизме. В далеком будущем ученые составят картину мироздания, повторяющую ту, которая сложилась у нас в начале XX в. и в конечном итоге послужила катализатором для исследований, приведших к современному перевороту в космологии. Космология пройдет полный цикл. Мне это кажется воистину замечательным, хотя и заставляет некоторых из нас задуматься о том, как эфемерна наша жизнь под Солнцем.

В сущности, принципиальная проблема, которую иллюстрирует вероятный крах космологии будущего, состоит в том, что Вселенная у нас только одна — та, в которой мы живем, и больше нам не на чем ставить эксперименты. Мы, конечно, обязаны ставить эти эксперименты, иначе нельзя даже надеяться разобраться, как получилось то, что мы сейчас наблюдаем, но при этом далеко не все мы можем измерить и далеко не все данные в состоянии истолковать.

Если существует много вселенных и мы когда-нибудь сумеем исследовать еще какие-нибудь из них, то у нас, наверное, будет больше возможностей понять, какие наблюдения в самом деле важны и фундаментальны, а какие возникли случайно в условиях нашей Вселенной.

Как мы вскоре увидим, исследовать другие вселенные у нас вряд ли получится, хотя их существование вполне вероятно, и ученые проводят все новые и новые эксперименты и выдвигают все новые и новые гипотезы, чтобы лучше разобраться в неожиданных и странных особенностях именно нашей Вселенной.

Однако, прежде чем двинуться дальше, стоит, пожалуй, закончить главу другой, более буквальной картиной вероятного будущего, о котором я здесь говорил и которое имеет прямое отношение к теме нашей книги. Вот как отреагировал на только что описанный мною сценарий Кристофер Хитченс: «Те, кого удивляет, что мы живем во Вселенной, где есть Нечто, подождите немного. Прямо на нас полным ходом надвигается Ничто!»

ГЛАВА 8

ЕГО ВЕЛИЧЕСТВО СЛУЧАЙ?

Стоит предположить, что у Вселенной был создатель и был план, как люди превращаются в объект жестокого эксперимента, в ходе которого нас создали больными, а потом повелели выздороветь.

КРИСТОФЕР ХИТЧЕНС

Мы от природы устроены так, что считаем, будто все, что с нами происходит, исполнено значения и смысла. Нам снится, что наша приятельница сломала руку, а на следующий день оказывается, что она растянула связки голеностопа. Ух ты! Фантастика! Неужели ясновидение?

Физик Ричард Фейнман любил подходить к людям со словами: «Вы просто не поверите, что со мной сегодня произошло! Просто не поверите!» А когда его спрашивали, что стряслось, отвечал: «Абсолютно ничего!» При этом он имел в виду, что, когда случается нечто вроде сна, который я только что пересказал, люди ищут в этом смысл. Но при этом забывают о тысячах ничего не значащих снов, которые абсолютно ничего не предвещали. Когда мы забываем, что в течение дня в основном не происходит ничего примечательного, то неверно толкуем природу вероятности, когда все же случается нечто особенное: если количество событий достаточно велико,

нечто необычное обязательно произойдет — по чистой случайности.

Какое отношение это имеет к нашей Вселенной?

Пока мы не открыли, что энергия пустого пространства мало того что непонятно почему не равна нулю, а принимает значение на 120 порядков меньше, чем получается по оценкам, сделанным на основании физики элементарных частиц (я об этом уже писал), физики в массе своей считали, что любой фундаментальный параметр, который мы измеряем в природе, важен и имеет большой смысл. То есть мы были убеждены, что на основании фундаментальных принципов когда-нибудь сможем понять, почему, например, гравитация настолько слабее других сил в природе, почему протон почти в 2000 раз тяжелее электрона и почему имеется три семейства элементарных частиц. Иначе говоря, как только мы поймем фундаментальные принципы, управляющие силами природы на самом микроскопическом уровне, то получим ответы на все те загадки, которые нас сейчас мучают, и окажется, что они естественным образом следуют из этих законов.

(С другой стороны, чисто религиозный подход заставил бы возвести осмысленность в абсолют и считать, что к любой фундаментальной постоянной следует относиться с большим уважением именно потому, что Господь, как видно, приписал каждой свое значение, когда составлял Божественный план Вселенной. При таком положении дел для случайностей нет места, однако по той же причине невозможно ничего ни предсказать, ни даже объяснить по-настоящему. Это аргумент в стиле «потому что», из которого ничего не следует, который ничего не дает для понимания законов физики, управляющих Вселенной, и может разве что утешить верующих.)

Однако открытие, что в пустом пространстве существует энергия, заставило многих физиков пересмотреть свои представления о том, что в природе обязательно, а что может оказаться случайным.

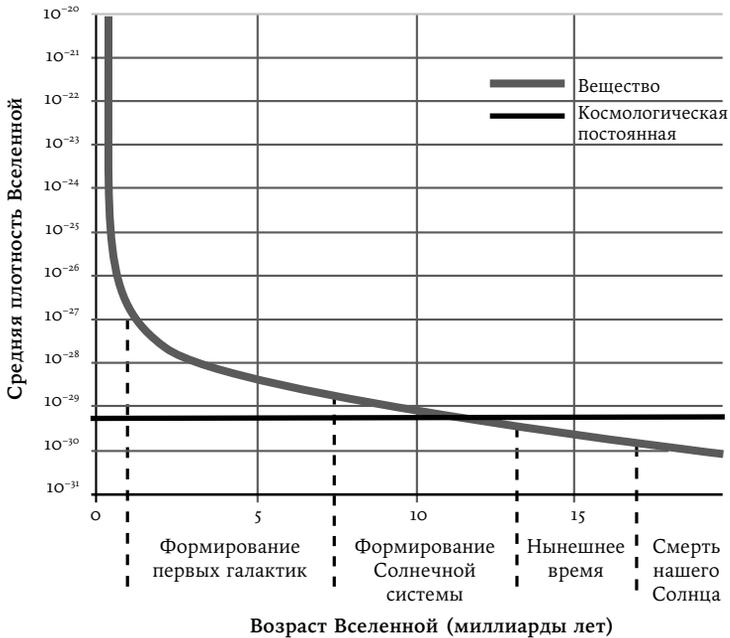
Катализатором для перемен в мировоззрении стал тот самый довод, который я привел в предыдущей главе: темную энергию можно измерить сегодня, поскольку сейчас — единственное такое время в истории Вселенной, когда энергия пустого пространства сопоставима с плотностью энергии, содержащейся в веществе.

Почему же мы живем в такой «особый» период в истории Вселенной? Ведь это грубо противоречит всему, что составляло основы научного подхода со времен Коперника. Мы усвоили, что Земля — вовсе не центр Солнечной системы, а Солнце — лишь звездочка на далеком краю обычной галактики, да и Галактика наша — всего лишь одна из 400 млрд в наблюдаемой Вселенной. Мы приняли принцип Коперника в том смысле, что наше положение ни в пространстве, ни во времени не являются чем-то особенным.

Однако поскольку энергия пустого пространства именно такова, получается, мы все-таки живем в особое время. Лучше всего это видно из следующей схемы — назовем ее «краткая история времени».

Две кривые отражают плотность энергии всего вещества во Вселенной и плотность энергии пустого пространства (исходя из предположения, что это космологическая постоянная) как функцию времени. Как видно, плотность вещества при расширении Вселенной снижается (расстояние между галактиками растет, поэтому вещество рассеивается), чего, собственно, и ожидаешь. Однако плотность энергии пустого пространства остается постоянной:

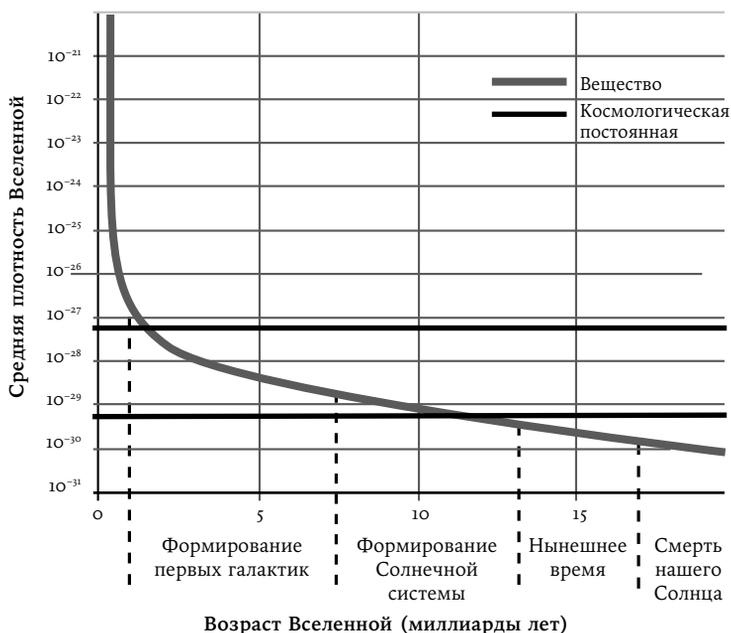
.....



можно привести довод, что в пустом пространстве и рассеиваться нечему! (Я приводил ранее и более серьезное объяснение: при расширении пустого пространства Вселенная совершает над ним работу.) Кривые пересекаются относительно близко к нашему времени — это и есть то странное совпадение, о котором я писал.

Теперь рассмотрим, что бы случилось, если бы энергия пустого пространства была, скажем, в 50 раз больше той величины, которую мы получаем по сегодняшним оценкам. Тогда две кривые пересеклись бы в другой момент, раньше, как показано на следующей схеме:

Время пересечения кривой с более высоким уровнем энергии пустого пространства — это момент, когда формировались первые галактики, примерно через 1 млрд



лет после Большого взрыва. Но не забывайте, что энергия пустого пространства вызывает гравитационное отталкивание. И если бы она стала доминировать в общем количестве энергии во Вселенной еще до того времени, как начали формироваться галактики, то отталкивающая сила, вызванная этой энергией, перевесила бы (буквально) обычную силу гравитации, которая заставляет вещество слипаться. И галактики не сформировались бы!

Но если бы не сформировались галактики, не было бы и звезд. А без звезд не было бы планет. А без планет не сформировались бы астрономы!

Так что во Вселенной, где энергия пустого пространства всего в 50 раз больше, чем мы наблюдаем, очевидно, некому было бы пытаться сегодня измерить эту энергию.

О чем это нам говорит — и говорит ли о чем-нибудь? Вскоре после открытия ускоряющегося расширения Вселенной физик Стивен Вайнберг предположил (на основании приведенного им довода за 10 с лишним лет до этого, то есть еще до открытия темной энергии), что «проблему случайного совпадения» можно решить, если значение космологической постоянной, которую мы сегодня измеряем, было каким-то образом «выбрано» в соответствии с антропным принципом. То есть если бы существовало много вселенных и в каждой вселенной значение энергии пустого пространства имело случайно выбранное значение на основании какого-то вероятностного распределения всех возможных значений энергии, то жизнь в известном нам виде могла развиваться только в тех вселенных, где это значение не слишком отличается от того, которое мы наблюдаем. То есть мы, вероятно, живем во Вселенной с крошечной энергией пустого пространства просто потому, что не могли бы жить там, где это значение существенно больше. Иначе говоря, нечего удивляться, что мы живем именно в той Вселенной, в которой можем жить!

Однако этот довод имеет математический смысл только при условии, что имелась возможность рождения многих разных вселенных. Говорить о многих разных вселенных — своего рода оксюморон. В конце концов, традиционно слово «Вселенная» означает «все сущее». Однако в последнее время у этого слова появилось более простое и, пожалуй, здравое значение. Теперь принято думать о «нашей» Вселенной как о совокупности всего, что мы видим сейчас и что могли бы увидеть когда-либо. Поэтому физически наша Вселенная содержит все, что так или иначе могло на нас влиять в прошлом или повлияет в будущем.

Стоит принять такое определение Вселенной, как становится возможным, по крайней мере в принципе, существование иных вселенных — областей, которые никогда не были связаны с нами причинно-следственными связями и никогда не будут: вроде островов, разделенных океаном пространства и лишенных каких-либо возможностей общения.

Наша Вселенная настолько огромна, что, как я подчеркивал, если нечто вообще возможно, оно практически с гарантией где-нибудь да произойдет. Редкие события происходят все время. Резонно задать вопрос, применим ли этот принцип к возможности существования многих вселенных — мультивселенной или мультиверса, как сейчас называют эту концепцию. Оказывается, существует теоретическая база, из которой следует, что мультивселенная даже не просто возможность. Многие фундаментальные представления нынешней теории элементарных частиц, судя по всему, требуют существования мультивселенной.

Я делаю на этом особый упор, поскольку в диспутах с теми, кому не обойтись без гипотезы о творце, существование мультивселенной видится как уловка, придуманная физиками, у которых кончились ответы на вопросы, а может, и сами вопросы. Не исключено, что так в конечном итоге и будет, но сейчас это не так. Практически все логические возможности, касающиеся обобщения известных нам законов физики на малые масштабы и создания более полной теории, указывают, что на больших масштабах наша Вселенная не уникальна.

Возможно, первый довод в пользу существования мультивселенной — и, возможно, лучший довод — это феномен инфляции. В модели инфляции на том этапе, когда в какой-то области пространства временно

доминирует мощная энергия, эта область начинает экспоненциально расширяться. В какой-то момент небольшая часть этого «ложного вакуума» может перестать расширяться, поскольку в ней происходит фазовый переход и поле в ней спадает до естественного значения с более низкой энергией; тогда расширение в этой области перестает быть экспоненциальным. Однако пространство между такими областями продолжает расширяться экспоненциально. И если только фазовый переход не завершился по всему пространству, то в любой момент времени почти все пространство — это область инфляции. А область инфляции изолирует те области, где расширение прекращается раньше всего, — разводит их на практически неизмеримые расстояния. Это как лава, извергающаяся из вулкана: кое-где она остывает и образуются камни, но море жидкой магмы разносит эти камни далеко-далеко друг от друга.

Вероятно, все даже интереснее. В 1986 г. Андрей Линде, который наряду с Аланом Гутом стал одним из основоположников современной теории инфляции, предложил и исследовал еще более общий сценарий. Подобное развитие событий предсказывал в некотором смысле и Александр Виленкин — другой изобретательный русский космолог, живущий в США. И Линде, и Виленкин — люди очень сильные и стойкие, как часто бывает с великими русскими физиками, однако биографии у них совсем разные. Линде стал звездой советской физики задолго до эмиграции в США после распада СССР. Блестящий, дерзкий и остроумный, Линде все это время был заметной фигурой в теоретической космологии элементарных частиц. Виленкин эмигрировал гораздо раньше, еще до того, как стал физиком, и, пока учился в США,

перепробовал много разных подработок, в том числе ночным сторожем. Он всегда интересовался космологией, но, когда собирался писать диссертацию, случайно подал документы не на ту специальность и в результате защитился по физике конденсированного состояния — по физике материалов. Затем он получил место постдока в Университете Кейз Вестерн Резерв, где я впоследствии возглавил кафедру. В этот период он попросил у своего руководителя Филипа Тейлора разрешения несколько дней в неделю работать над космологическими задачами в дополнение к проектам, в которых ему было положено участвовать. Впоследствии Филип рассказывал мне, что у него никогда прежде не было постдока, который работал бы настолько продуктивно, даже с учетом частичной занятости.

В общем, Линде понял, что, хотя квантовые флуктуации во время инфляции зачастую могут загнать поле, которое движет инфляцией, в состояние самой низкой энергии (и это достойный выход из сложившегося положения), всегда остается возможность, что в некоторых областях квантовые флуктуации, наоборот, подталкивают поле к более высоким энергиям, уводят их от значений, при которых инфляция бы закончилась, и она беспрепятственно продолжается. Поскольку такие области расширяются в течение более длительного времени, пространство, которое испытывает инфляцию, намного больше, чем то, где она прекратилась. В пределах этих областей квантовые флуктуации опять же могут подталкивать некоторые подобласти к тому, чтобы прекратить экспоненциальное расширение, но будут и такие подобласти, где из-за квантовых флуктуаций инфляция продлится дольше, и так далее.

Эта картина, которую Линде назвал «хаотической инфляцией», и в самом деле напоминает хаотические системы на Земле, более для нас привычные. Возьмем, к примеру, кипящую овсянку. В любой момент на поверхность может вырваться пузырь газа — это свидетельство существования областей, где жидкость при высокой температуре завершает фазовый переход в газообразное состояние. Однако между пузырями овсянка бурлит и клокочет. На больших масштабах налицо регулярность: где-то всегда лопаются пузыри. А вот на локальном уровне все очень сильно зависит от того, куда помотришь. Во Вселенной в состоянии хаотической инфляции будет примерно то же самое. Если кто-то случайно оказался в пузырьке, который находится в самом нижнем основном состоянии и в котором инфляция прекратилась, то Вселенная покажется ему совсем не такой, как обширное пространство вокруг, где по-прежнему идет инфляция.

В таком представлении инфляция вечна. Некоторые области — на самом деле большая часть пространства — будут бесконечно экспоненциально расширяться. Те области, где инфляция прекратится, превратятся в отдельные вселенные, изолированные друг от друга с точки зрения причинно-следственных связей. Подчеркиваю, что если инфляция идет вечно, то мультивселенная неизбежна, а вечная инфляция — это наиболее вероятный сценарий в основных моделях инфляции, если не во всех. Вот как писал об этом Линде в своей статье 1986 г.:

Старый вопрос о том, почему наша Вселенная является единственно возможной, сменился новым вопросом о том, в каких теориях возможно существование мини-вселенных нашего типа. Это тоже очень сложный вопрос, но он все же

намного легче первого. По нашему мнению, одно из важнейших последствий разработки сценария инфляционной Вселенной — изменение взгляда на глобальную структуру Вселенной и на наше место в мире.

Как подчеркивал Линде и как впоследствии стало понятно всем, эта картина открывает перед физикой новую перспективу. Вполне может оказаться, что в природе существует много разных низкоэнергетических квантовых состояний, в которые в конечном итоге может «упасть» инфлирующая Вселенная. Поскольку конфигурация квантовых состояний этих полей в каждой такой области своя, характер фундаментальных законов физики в каждой области-вселенной тоже будет свой.

Вот тут и появляется первый «ландшафт», на фоне которого может развернуться антропная аргументация, о которой уже упоминалось. Если существует много разных состояний, в которые могла бы прийти наша Вселенная после инфляции, то, возможно, Вселенная, в которой мы живем и в которой энергия вакуума не равна нулю, но при этом так мала, что могут формироваться галактики, всего лишь одна из потенциально бесчисленного семейства, однако именно она является избранной для любознательных ученых, поскольку в ней могут существовать галактики, звезды, планеты и жизнь.

Однако это не первый контекст, в котором появляется слово «ландшафт». Слово это продвинула куда более производительная рекламная машина — мощный локомотив, который движет физикой элементарных частиц вот уже почти четверть века: теория струн. Согласно теории струн, элементарные частицы состоят из более фундаментальных составляющих, но не частиц, а объектов,

которые ведут себя как вибрирующие струны. Вибрация струн скрипки порождает разные ноты — так же и в рамках этой теории разные виды вибраций порождают объекты, которые, в принципе, способны вести себя, как разные элементарные частицы, обнаруживаемые в природе. Однако подвох в том, что эта теория математически несостоятельна, если ограничивать ее всего четырьмя измерениями, и, чтобы она обрела смысл, их требуется гораздо больше. Что происходит с остальными измерениями, пока вовсе не очевидно, равно как и ответ на вопрос о том, какие еще объекты, кроме струн, могут играть роль в этой теории. И это лишь малая толика из множества нерешенных проблем, которые возникли при разработке этой теории и несколько приглушили вспыхнувший поначалу энтузиазм.

Разбирать теорию струн подробно нам ни к чему, да в сущности, подробный ее разбор пока невозможен, поскольку за последние 25 лет стало ясно, пожалуй, лишь одно: то, что поначалу называлось теорией струн, гораздо сложнее и хитроумнее, чем мы думали. Это нечто такое, чья фундаментальная природа и устройство для нас по-прежнему тайна.

Мы так и не разобрались, имеет ли этот шедевр теоретической архитектуры какое бы то ни было отношение к реальному миру. Тем не менее это, пожалуй, единственная теоретическая картина, которой с таким успехом удалось овладеть умами ученых, еще не успев доказать свою способность успешно разрешить хотя бы одну экспериментальную загадку природы.

Последняя фраза может показаться критикой в адрес теории, но, хотя в прошлом меня обвиняли в клеветнических нападках на нее, здесь я ничего подобного делать

не собираюсь, как, впрочем, и не делал во время многочисленных лекций и благожелательных публичных дебатов, которые я вел с Брайаном Грином, одним из главных сторонников теории струн и моим хорошим другом. Нет, просто я думаю, что очень важно пробиться сквозь завесу мишуры и разобраться, насколько эта теория соответствует реальности. Теория струн основана на потрясающих озарениях и математических конструкциях, которые могли бы пролить свет на едва ли не самую главную нерешенную проблему современной теоретической физики: невозможность представить ОТО Эйнштейна в таком виде, чтобы она сочеталась с законами квантовой механики и позволяла дать правдоподобные прогнозы поведения Вселенной на очень малых масштабах.

О том, как теория струн пытается обойти эту проблему, я написал целую книгу, но здесь для наших целей достаточно самого краткого пояснения. Главную идею этой теории легко сформулировать, но трудно применить на практике. На самых малых масштабах, где могут появиться первые противоречия между гравитацией и квантовой механикой, элементарные струны могут сворачиваться в замкнутые петельки. В наборе возбужденных состояний таких петелек всегда есть такое, что обладает свойствами гравитона — частицы, служащей в квантовой теории переносчиком гравитации. Следовательно, квантовая теория таких струн в принципе обеспечивает рабочий механизм, на котором можно построить самую настоящую квантовую теорию гравитации.

Действительно, было обнаружено, что подобная теория могла бы обойти неприличные бесконечности в предсказаниях, характерные для стандартных квантовых подходов к гравитации. Однако тут есть один подвох.

.....

В простейшей версии теории струн избавиться от них получается лишь в случае, если струны, образующие элементарные частицы, вибрируют не только лишь в трех пространственных и одном временном измерениях, а в целых 26 измерениях!

Казалось бы, такого прыжка в царство сложности (и, пожалуй, веры) должно было хватить, чтобы отвлечь от теории большинство физиков, однако в середине 1980-х гг. сразу несколько талантливых ученых, самым заметным из которых был Эдвард Виттен из Института передовых исследований, проделали изящные математические выкладки и показали, что теория струн в принципе способна стать намного большим, чем просто квантовой теорией гравитации. Если ввести новые математические симметрии, особенно на удивление многообещающий математический аппарат под названием «суперсимметрия», становится возможным снизить количество измерений, необходимых, чтобы теория была непротиворечивой, с 26 всего до 10.

Однако главное, что в контексте теории струн появилась возможность объединить гравитацию с другими силами природы и создать единую теорию, более того, объяснить существование всех известных элементарных частиц! Наконец создалось впечатление, что можно создать единую унифицированную теорию в 10 измерениях, которая позволит воспроизвести все, что мы видим в своем четырехмерном мире.

Однако притязания на то, что теория струн — это и есть «теория всего», стали распространяться не только в научной, но и в популярной литературе. В результате с суперструнами знакомо больше народу, чем со сверхпроводимостью — удивительным свойством некоторых

материалов: если остудить их до очень низких температур, они проводят электричество практически без сопротивления. Мало того что сверхпроводимость входит в число самых поразительных свойств вещества, какие нам только доводилось наблюдать, — она уже произвела настоящий переворот в понимании квантового устройства материалов.

Увы, последние четверть века не пощадили теорию струн. Хотя ею занимались самые блестящие теоретики планеты и получили при этом целые тома новых результатов и довольно много новых математических методов (Виттену, например, дали за них самую почетную премию по математике), стало ясно, что пресловутые «струны», возможно, вообще не являются фундаментальными объектами. Поведением струн, вероятно, управляют иные, более сложные структуры под названием «браны» (они так названы в честь клеточных мембран), существующие в более высоких измерениях.

Хуже того, дала трещину и уникальность теории струн. Ведь мир, с которым мы имеем дело, не десятимерный, а четырехмерный. Значит, с оставшимися шестью пространственными измерениями нечто случилось, и каноническое объяснение гласит, что они невидимы, потому что «компактифицированы», то есть свернуты на таких микроскопических масштабах, что мы не можем различить их ни на своем привычном масштабе, ни даже на самых крошечных, которые доступны сегодня мощнейшим ускорителям частиц.

Между этими гипотетическими скрытыми измерениями и всевозможными религиозно-духовными «иными мирами» огромная разница, хотя на первый взгляд они могут показаться схожими. Для начала следует заметить,

.....

что скрытые измерения в принципе доступны, надо только построить достаточно мощный ускоритель — быть может, за пределами практически осуществимого, но не за пределами возможного. Во-вторых, можно надеяться, как и в случае с виртуальными частицами, что мы найдем какие-то косвенные свидетельства существования этих измерений, изучая объекты, доступные для наблюдения в нашей четырехмерной Вселенной. Короче говоря, поскольку эти измерения — часть теории, разработанной в попытках действительно объяснить устройство Вселенной, а не оправдать его, не исключено, что когда-нибудь эту гипотезу удастся проверить эмпирически, пусть даже такая вероятность очень мала.

Но главное даже не это. Возможность существования дополнительных измерений сильно подрывает надежду на то, что наша Вселенная уникальна. Даже если начать с десяти измерений (о существовании которых, повторяю, мы достоверно не знаем), то каждый из множества разных способов компактифицировать шесть невидимых измерений дает свою разновидность четырехмерной Вселенной со своими законами физики, своим набором фундаментальных взаимодействий, своими частицами и своими симметриями, которые ею управляют. По оценкам некоторых теоретиков, из одной десятимерной теории струн возможно вывести 10^{500} разных непротиворечивых четырехмерных Вселенных. Так «теория всего» внезапно обернулась «теорией чего угодно»!

Такое положение дел отражено в едкой карикатуре из моей любимой серии веб-комиксов *xkcd**. Один

.....
* *xkcd* — веб-комикс Рэндел Манро о романтике, сарказме, математике и языке, выходящий трижды в неделю с 2005 г. — *Прим. пер.*

.....

персонаж говорит другому: «У меня блестящая мысль. А вдруг все вещество и энергия сделаны из крошечных вибрирующих струн?» На что второй ему отвечает: «Хорошо. А что из этого следует?» На что первый признается: «Не знаю...»

Если говорить немного серьезнее, то Фрэнк Вильчек, лауреат Нобелевской премии по физике, однажды сказал, что те, кто работает над теорией струн, изобрели новый способ изучать физику, нечто вроде новых правил игры в дартс. Сначала бросаешь дротик просто в стену, а потом подходишь и рисуешь мишень вокруг того места, куда он воткнулся.

Ремарка Фрэнка точно отражает шумиху, которую подняли вокруг теории струн, однако не надо забывать о том, что те, кто над ней работает, всерьез пытаются понять, какие принципы правят миром, где мы живем.

Как ни странно, изобилие возможных четырехмерных вселенных, которое раньше так смущало специалистов по теории струн, в наши дни превратилось в достоинство этой теории. Можно представить себе, сколько разных четырехмерных (а также пятимерных, шестимерных, и т. д.) вселенных может таиться в десятимерной «мультивселенной» — и в каждой будут свои законы физики, более того, своя энергия пустого пространства.

Хотя все это звучит как досужие домыслы, но похоже, что это автоматически следует из теории струн — и тогда она действительно создает «ландшафт» мультивселенной, который может обеспечить естественные условия для перехода к антропному пониманию энергии пустого пространства. В таком случае нам не требуется бесконечное множество возможных вселенных, разделенных в трехмерном пространстве. Вместо этого мы можем себе

представить бесконечное множество вселенных, упакованных над отдельной точкой в нашем пространстве и для нас невидимых, но при этом свойства у каждой из них совершенно разные.

Подчеркну, что эта теория не так тривиальна, как богословские рассуждения св. Фомы Аквинского, могут ли несколько ангелов занимать одно и то же место — идея, которую богословы следующих поколений высмеивали как бесплодные спекуляции о том, сколько ангелов поместится на кончике иглы или, скажем, на головке булавки. Фома Аквинский сам ответил на свой вопрос, заявив, что в одном и том же месте может быть только один ангел, но никакого теоретического или экспериментального подтверждения он не дал. (Кстати, если говорить о бозонных квантовых ангелах, он все-таки ошибался.)

Имея такую картину и адекватный математический аппарат, можно, в принципе, рассчитывать, что получатся настоящие физические прогнозы. Например, можно вывести вероятностное распределение, которое описывало бы шансы обнаружить ту или иную четырехмерную вселенную в зависимости от ее типа в мультивселенной большей размерности. Например, может оказаться, что в подавляющем большинстве тех вселенных, где энергия вакуума низкая, существует три семейства элементарных частиц и четыре фундаментальных взаимодействия. А может оказаться и так, что только во вселенных с низкой энергией вакуума возможна электромагнитная сила большого радиуса действия. Любой подобный результат обеспечивает более или менее убедительные доводы в пользу того, что вероятностное антропное объяснение энергии пустого пространства, иначе говоря, вывод о том,

что существование Вселенной с низкой энергией вакуума, похожей на нашу, не является невероятным, основано на прочном физическом фундаменте. Однако математика пока что не обеспечила нас соответствующим инструментарием и не исключено, что это ей так и не удастся. Но наше теоретическое бессилие вовсе не означает, что природа не реализовала эту возможность на деле.

А пока что физика элементарных частиц продвинула антропную аргументацию еще на шаг вперед.

Специалисты по физике элементарных частиц обходят космологов на целый корпус. Космология породила совершенно необъяснимую величину — энергию пустого пространства, о которой мы практически ничего не знаем. Но ведь в физике элементарных частиц необъяснимых величин было гораздо больше и они оставались необъясненными гораздо дольше!

Например, почему существует именно три поколения элементарных частиц — электрон и его более тяжелые родичи мюон и тау-лептон — или три разных набора кварков, из которых набор с самой низкой энергией составляет основу всего вещества на Земле? Почему гравитация настолько слабее прочих сил в природе, например электромагнетизма? Почему протон почти в 2000 раз тяжелее электрона?

Некоторые специалисты по физике частиц в наши дни схватились за антропный принцип в его крайних проявлениях: возможно, дело в том, что все их старания объяснить эти загадки физическими причинами пока что ни к чему не привели. Ведь если какая-то одна фундаментальная величина не более чем случайность, вдруг и большинство остальных (если не все) тоже случайны? Вдруг ответ на все загадки теории частиц — одна и та же мантра:

.....

была бы Вселенная устроена иначе, мы не могли бы в ней жить?

Возникает вопрос: можно ли вообще считать подобное решение тайн природы решением, а главное, является ли оно научным в нашем понимании? Ведь последние 450 лет цель науки вообще и физики элементарных частиц в частности состояла именно в том, чтобы объяснить, почему Вселенная именно такова, как показывают наши измерения, а не почему законы природы в общем виде должны порождать вселенные с совсем другими свойствами.

Я уже пытался объяснить, почему дело не совсем в этом, то есть почему многие уважаемые ученые стали приверженцами антропного принципа и почему многие так старались разобраться, позволяет ли он узнать нечто новое о нашей Вселенной. А теперь давайте сделаем следующий шаг и попытаемся объяснить, как существование вселенных, которые никогда не удастся пронаблюдать (они либо удалены от нас на практически бесконечное расстояние в пространстве, либо находятся у нас прямо под носом, однако отделены исчезающе малыми расстояниями в возможных дополнительных измерениях), все-таки может быть подвергнуто определенной эмпирической проверке.

Представьте себе, к примеру, что мы изобрели теорию, основанную на объединении как минимум трех из четырех взаимодействий, — какую-то Великую Теорию Объединения, предмет неустанного напряженного интереса тех специалистов по физике элементарных частиц, кто не оставил попытки искать фундаментальные теории в четырех измерениях. Подобная теория позволяла бы делать предсказания о фундаментальных силах, которые мы

измеряем, и о том спектре элементарных частиц, который мы изучаем на ускорителях. Если бы такая теория позволяла делать много предсказаний, которые впоследствии подтверждались бы экспериментально, у нас была бы веская причина полагать, что она содержит зерно истины.

А теперь представьте себе, что эта теория предсказывает еще и период инфляции в ранней истории Вселенной, более того, предсказывает, что наша эпоха инфляции — всего лишь один из бесчисленного множества подобных эпизодов в вечно расширяющейся мультивселенной. Даже если бы мы можем непосредственно исследовать, существуют ли подобные области за пределами нашего горизонта, все равно, как я уже говорил, если кто-то ходит, как утка, и крикает, как утка... В общем, сами понимаете.

Найти какие-либо эмпирические доводы в пользу идеи дополнительных измерений и смежных с ней — дело намного более сложное, но все же не безнадежное. Многие блестящие юные теоретики посвящают профессиональную карьеру разработке этой теории, рассчитывая дойти до того этапа, когда появятся какие-то свидетельства ее верности, пусть и косвенные. Возможно, надежды их напрасны, но они, что называется, «проголосовали ногами». Вероятно, новый Большой адронный коллайдер, расположенный в окрестностях Женевы, поможет выявить скрытое пока окно в новые области физики.

Итак, после 100 лет поразительного, поистине беспрецедентного прогресса в понимании природы мы смогли исследовать Вселенную на масштабах, которые раньше были просто невообразимы. Мы разобрались в природе Большого взрыва вплоть до первых его микросекунд, мы открыли, что существуют сотни миллиардов новых

галактик, в которых сотни миллиардов новых звезд. Мы выяснили, что 99% Вселенной для нас невидимы, поскольку это темное вещество, состоящее, скорее всего, из какой-то принципиально новой разновидности элементарных частиц, а в еще большей степени — темная энергия, чье происхождение в настоящее время для нас полнейшая тайна.

И после всего этого может случиться так, что физика превратится в «науку об окружающей среде». Фундаментальные постоянные, которым мы так долго приписывали особую роль, возможно, приобрели ее по чистой случайности. Если мы, ученые, склонны относиться к себе и своей науке слишком серьезно, может быть, мы и к своей Вселенной относимся слишком серьезно. Может быть, мы подняли много шума из ничего — и в переносном, и в буквальном смысле. Может, мы подняли слишком много шума и вокруг того Ничто, которое доминирует в нашей Вселенной! Или наша Вселенная — всего лишь капелька, затерявшаяся в необъятном океане возможных миров — в мультивселенной. А может, мы так и не сможем разработать теорию, которая покажет, почему наша Вселенная должна была стать такой, какова она есть.

А может, когда-нибудь мы ее все-таки разработаем.

Такова наиболее точная картина реальности в нашем нынешнем понимании. Она создана трудом десятков тысяч выдающихся ученых умов за последние 100 лет — благодаря созданию самых сложных в истории приборов и разработке самых прекрасных и самых сложных идей, какие только удавалось придумать человечеству. Это картина, создание которой подчеркивает самое лучшее в человеке — способность представлять себе, как

разнообразно может быть все сущее, и азарт, позволяющий отважно исследовать это разнообразие, не переключая ответственность на какую-то непонятную созидательную силу или на Творца, который по определению непостижим. Тому, что мы черпаем мудрость в этом опыте, мы обязаны только самим себе. А иначе мы бы оказали медвежью услугу гениальным храбрецам, которые помогли нам выйти на нынешний уровень знаний.

Если мы хотим сделать какие-то философские выводы относительно собственного существования, собственной значимости и значимости Вселенной, надо строить свои выводы на эмпирических знаниях. Подлинная широта кругозора — это когда подгоняешь свои фантазии под объективные данные о реальности, а не наоборот, даже если выводы тебе не по душе.

ГЛАВА 9

ИЗ НИЧЕГО — НЕЧТО

Я не против чего-то не знать. Меня это не пугает.

РИЧАРД ФЕЙНМАН

Исаак Ньютон — вероятно, самый великий физик всех времен — перевернул наши представления о Вселенной в самых разных областях. Но, пожалуй, наиболее важно в его наследии то, что он показал: вся Вселенная поддается объяснению. Своим законом всемирного тяготения он впервые доказал, что законам природы подчиняются даже небеса. Непонятная, враждебная, грозная и непредсказуемая на первый взгляд Вселенная может оказаться совсем не такой непонятной.

Если Вселенной правят незыблемые законы, то мифические боги Древней Греции и Рима бессильны. Они не могут по своей воле менять мир, чтобы чинить человечеству хитроумные препятствия. И это относится не только к Зевсу, но и к ветхозаветному Богу. Разве можно остановить Солнце в небе, если оно не обращается вокруг Земли, а его движение по небу на самом деле объясняется вращением Земли? Если бы Земля внезапно остановилась, на ее поверхности возникли бы такие силы, которые уничтожили бы все творения рук человеческих, да и самих людей заодно.

Разумеется, сверхъестественные действия — это ровно то же самое, что чудеса. То есть именно то, что обходит законы природы. Бог, способный создать законы природы, предположительно должен быть способен и игнорировать их при желании. Правда, несколько настораживает тот факт, что законы очень часто обходились тысячи лет назад, до изобретения современных технических средств, которые могли бы это задокументировать, а в наши дни такого почему-то не случается.

Так или иначе, даже если мы имеем дело со Вселенной, где чудес не бывает, если мы сталкиваемся с фундаментально простым фундаментальным порядком, можно сделать два различных вывода. Один сделал сам Ньютон, а до него похожих воззрений придерживались и Галилей, и множество других ученых на протяжении долгих лет: этот порядок создан Божественным разумом, благодаря которому существует не только Вселенная, но и мы, причем мы, люди, были созданы по его образу и подобию (а многие другие прекрасные и сложные существа, очевидно, нет). Другой вывод — что не существует ничего, кроме самих законов. Эти законы сами потребовали, чтобы возникла наша Вселенная, чтобы она развивалась и эволюционировала, и мы — неизбежный побочный продукт действия этих законов. Может быть, эти законы и вечны, а может быть, и они когда-то возникли — в результате какого-то пока не известного, но, вероятно, чисто физического процесса.

О том, который из этих сценариев верен, и по сей день спорят философы и теологи, а иногда и ученые. Мы не можем сказать наверняка, какой из них описывает нашу Вселенную, и, возможно, так этого и не узнаем. Все дело в том, как я уже говорил в начале книги, что окончательно

решать этот вопрос будут не надежды, стремления, открытия или отвлеченные размышления. Если нам вообще удастся получить ответ, его даст исключительно исследование окружающего мира. Вспомним цитату из Джейкоба Броновски в самом начале книги: жизненный опыт может быть мечтой, а может быть кошмаром, причем то, что для кого-то мечта, запросто может быть кошмаром для другого, но воспринимать этот опыт нужно таким, какой он есть, не закрывая на него глаза. Вселенная такова, какова она есть, вне зависимости от того, нравится нам она или нет.

Вот почему, думается мне, *очень важно*, что Вселенная, которая возникает из ничего, — так, как я старался это описать, — возникает естественным и даже единственно возможным образом, все больше и больше соответствует всем нашим знаниям о мире. Эти знания — результат не философских или богословских размышлений о морали, не каких-то спекуляций о доле человеческой. Нет, они основаны на поразительных, увлекательных достижениях эмпирической космологии и физики элементарных частиц, и об этих достижениях мы с вами поговорили.

Вот я и подвел вас снова к вопросу, заданному в начале книги: почему на свете есть нечто, а не ничего? Теперь мы, пожалуй, лучше вооружены, чтобы подступить к нему, ведь мы рассмотрели современную научную картину мироздания, его истории и его вероятного будущего, а кроме того, рабочие гипотезы о том, что такое на самом деле «ничто». Этот вопрос — и на это я тоже намекал в начале книги — вызван научными соображениями, как, в сущности, и все подобные философские вопросы. Мало того что он не дает никакой концепции, которая бы сделала неизбежным вывод

о творце, но само значение слов, его составляющих, изменилось так сильно, что фраза утратила первоначальный смысл, — такое опять же случается довольно часто, поскольку эмпирические знания бросают луч света в темные до того уголки нашего воображения.

При этом в науке нужно быть особенно осторожными с вопросами типа «почему?». Когда мы спрашиваем: «Почему?», то обычно имеем в виду: «Как так получилось?» Если мы можем ответить на последний вопрос, то этого обычно достаточно для наших целей. Например, если мы спрашиваем: «Почему от Земли до Солнца 150 млн километров?», то на самом деле имеем в виду: «Как так получилось, что Земля удалена от Солнца на 150 млн километров?» То есть нам интересно, какие физические процессы привели к тому, что Земля оказалась в нынешнем положении.

Поэтому я бы предположил, что наш вопрос звучит на самом деле иначе: «Как так получилось, что на свете есть нечто, а не ничего» На самом деле мы можем дать определенные ответы на основе изучения природных явлений только на вопросы типа «как так получилось?», но, поскольку в такой формулировке вопрос звучит непривычно уху, надеюсь, вы меня простите, если я иногда буду уступать соблазну и прибегать к более привычной формулировке, пытаясь на самом деле ответить именно на более конкретный вопрос типа «как?».

Сейчас, при нынешнем уровне понимания, этот конкретный вопрос типа «как?» вытеснен целым рядом более перспективных с практической точки зрения вопросов вроде: «Что могло бы обеспечить свойства Вселенной, которые особенно характерны для нее в настоящий момент?», а главное, вопросом: «Как бы это выяснить?»

Придется мне снова попинать ту лошадь, которую я хотел бы видеть дохлой. Если задавать вопросы именно в такой формулировке, можно рассчитывать на обретение новых знаний и нового понимания. Это и отличает их от чисто теологических вопросов, которые обычно подразумевают предопределенный ответ. Я несколько раз предлагал разным теологам представить доказательства того, что богословие по меньшей мере за последние 500 лет, с момента зарождения науки, сделало хоть какой-то вклад в знание. Пока что примера мне никто не привел. В лучшем случае мне отвечали вопросом на вопрос: «А что вы понимаете под знанием?» С позиции эпистемологии тут есть о чем подумать, однако мне кажется, что, если бы можно было найти более удачный ответ, кто-нибудь обязательно привел бы его. Когда я обращался с таким же предложением к биологам, психологам, историкам или астрономам, у них не возникало подобных затруднений.

Для ответа на столь плодотворные вопросы необходимы теоретические предсказания, которые можно проверить экспериментально, чтобы более целенаправленно расширять наши практические представления о Вселенной. Отчасти по этой причине на страницах нашей книги я старался сосредоточиться именно на таких плодотворных вопросах. А вопрос о том, как нечто получается из ничего, задают особенно часто, поэтому, наверное, с ним нужно как следует разобраться.

Стараниями Ньютона у Бога сильно сузилось поле деятельности, причем это не зависит от того, приписываешь ли ты Вселенной какую-то неотъемлемую рациональность. Законы Ньютона не только сурово ограничили свободу действий для любого божества, но и позволили

во многом избавиться от необходимости вмешательства сверхъестественных сил. Ньютон открыл, что движение планет вокруг Солнца не требует того, чтобы их постоянно подталкивали и направляли по нужной траектории: как ни странно, для этого нужна сила, которая притягивает их к Солнцу. Значит, можно обойтись и без ангелов, которых раньше часто привлекали как раз для движения планет. То, что Ньютон освободил ангелов от этой повинности, едва ли уменьшило желание людей в них верить (по данным опросов, гораздо больше американцев верит в ангелов, чем в эволюцию), и тем не менее вполне можно сказать, что в результате научного прогресса после Ньютона Господь имеет все меньше возможностей проявлять Свою волю в Своем же, как предполагается, творении.

Эволюцию Вселенной мы можем описать от самых первых мгновений Большого взрыва и при этом обойтись только известными нам законами физики. А еще мы сумели описать вероятное будущее Вселенной. Во Вселенной, конечно, остались загадки, которые мы не понимаем, однако я исхожу из предположения, что читатели этой книги не склонны делать из Бога к каждой бочке затычку и упоминать его всякий раз, когда наши наблюдения дают парадоксальную или не совсем понятную картину. Даже теологи признают, что подобные приемы не просто подрывают величие их высшего существа, но и чреватые тем, что высшее существо будет все дальше отходить на второй план по мере появления новых данных, которые объясняют ту или иную загадку или разрешают парадокс.

В этом смысле главный вопрос дискуссии про «нечто из ничего» — это на самом деле вопрос об акте сотворения мира, и состоит он в том, может ли чисто научный

подход к этой теме в принципе быть логически полным и полностью убедительным.

Оказывается, при нынешней степени понимания мироздания у вопроса «нечто из ничего» есть три разных независимых смысла. В каждом из трех случаев краткий ответ гласит: «Скорее всего, да», и каждый вариант я разберу по очереди в следующих главах и попытаюсь объяснить, почему — или, как я только что говорил, — как так вышло.

Согласно бритве Оккама, если какое-то событие физически возможно, нам не требуется прибегать к более экстраординарным объяснениям, чтобы его обосновать. Очевидно, что требование существования всемогущего божества, которое каким-то образом существует вне нашей Вселенной (или мультивселенной) и при этом управляет всем, что в ней происходит, — это и есть экстраординарное объяснение. Следовательно, обращаться к нему следует в последнюю, а не в первую очередь.

В предисловии к этой книге я уже упоминал, что недостаточно просто определить «ничто» как «несуществование», чтобы заявить, что физика — как и наука в целом — не может ответить на этот вопрос. Приведу дополнительный, более конкретный довод. Рассмотрим пару «электрон — позитрон», которая спонтанно возникла из пустого пространства поблизости от ядра какого-то атома и в течение того короткого времени, пока она существует, влияет на свойства этого атома. Можно ли сказать, что электрон и позитрон в каком-то смысле существовали и до этого? Разумеется, при любом сколь угодно осмысленном определении они не существовали. Их существование было потенциально возможно, что да, то да, но это не определяет существование частиц

пары в большей степени, чем потенциальное существование человеческого существа на том лишь основании, что у меня имеются сперматозоиды, а поблизости находится женщина, у которой сейчас овуляция, и мы с ней в принципе могли бы вступить в сексуальные отношения. По-моему, лучший ответ на вопрос, каково это, когда ты умер (то есть не существуешь), — это предложение представить себе, каково тебе было, когда тебя еще не зачали. Так или иначе если бы потенциальная возможность существования была бы тождественна существованию, то вопрос о мастурбации обсуждался бы в наши дни так же горячо, как легализация абортгов.

В рамках проекта Origins в Университете штата Аризона, которым я руковожу, не так давно прошел семинар о происхождении жизни, и я не удержусь от соблазна поместить наши космологические рассуждения в этот более широкий контекст. Мы пока не до конца понимаем, как появилась жизнь на Земле. Однако мы не только выяснили, какие именно химические механизмы могли бы к этому привести, но и с каждым днем все ближе и ближе подходим к тому, чтобы понять, какие конкретно пути привели к естественному возникновению биомолекул, в том числе РНК. Более того, дарвиновская эволюция на основе естественного отбора дает убедительную и точную картину возникновения сложных форм жизни на нашей планете после того, как тот или иной специфический химический процесс привел к возникновению первых самовоспроизводящихся клеток с обменом веществ, позволяющим получать энергию из окружающей среды. (Это лучшее определение жизни, которое я могу дать сейчас.)

Едва Дарвин — пусть и неохотно — отказался от необходимости Божественного вмешательства в эволюцию современного мира, в котором так много самой разной жизни (хотя и оставил место гипотезе, что именно Господь вдохнул жизнь в первые живые существа), наше нынешнее понимание Вселенной, ее прошлого и будущего делает более вероятным, что «ничто», скорее всего, возникло из ничего исключительно по физическим причинам, без всякого наущения свыше. Однако трудности, связанные с техникой наблюдений, и соответствующие теоретические сложности не позволяют выяснить все подробности, и я думаю, что нам придется удовлетвориться этим самым «скорее всего». Но даже само это «скорее всего», с моей точки зрения, огромный шаг вперед, поскольку у нас хватает отваги вести осмысленную жизнь во Вселенной, которая, весьма вероятно, возникла и, возможно, исчезнет безо всякой цели — и уж точно не ради нас как венца творения и центра мироздания.

Теперь вернемся к одному из самых примечательных качеств нашей Вселенной: насколько мы в состоянии измерить, она очень близка к плоской. Напомню, что уникальная черта плоской Вселенной, по крайней мере на масштабах, где в ней преобладает вещество в виде галактик и где действует Ньютоново приближение, состоит в том, что в плоской, и только в плоской Вселенной средняя Ньютонова гравитационная энергия любого объекта, участвующего в расширении, в точности равна нулю.

Я подчеркиваю, что это — фальсифицируемый постулат: все не обязано быть именно так. Ничто не требует подобной картины, кроме теоретических рассуждений о том, какой должна быть Вселенная, возникшая

естественным образом из ничего — или, по крайней мере, почти из ничего.

Невозможно преувеличить важность того, что, как только при рассуждениях о мироздании мы начинаем учитывать гравитацию, мы уже не можем произвольно определить полную энергию системы и игнорировать то обстоятельство, что у этой энергии есть и положительная, и отрицательная составляющие. Нельзя произвольно определять полную гравитационную энергию объектов, которые увлекает за собой расширение Вселенной, как нельзя и произвольно определять геометрическую кривизну Вселенной. Согласно ОТО, это свойство пространства как такового, и определяется оно количеством энергии, которая содержится в пространстве.

Я говорю это, поскольку утверждалось, что заявление о равенстве нулю полной Ньютоновой гравитационной энергии каждой галактики в плоской расширяющейся Вселенной произвольно, что сгодилось бы любое другое значение, но ученые «определяют» нулевую точку, чтобы иметь аргумент против Бога. Именно так говорил, например, Динеш Д'Суза в дебатах о существовании Бога с Кристофером Хитченсом. Ничто не может быть дальше от правды. Работа по определению кривизны Вселенной — результат полувековых трудов ученых, которые посвятили жизнь изучению подлинной природы Вселенной, а не навязывали ей свои прихоти. В течение 1980-х и даже в начале 1990-х гг. уже через весьма значительное время после того, как были выдвинуты первые доводы, почему Вселенная должна быть плоской, мои коллеги-наблюдатели были склонны считать, что это не так. Ведь в науке оказывает самое сильное влияние (и часто удостаивается самых крупных

заголовков) не тот, кто плывет по течению, а тот, кто выгребает против него.

Так или иначе последнее слово осталось за данными, и оно уже произнесено. Наблюдаемая Вселенная предельно близка к плоской — близка настолько, насколько мы можем измерить. Ньютонова гравитационная энергия галактик, движущихся вместе с хаббловским расширением, равна нулю независимо от наших пожеланий.

Теперь я хочу рассказать, почему если наша Вселенная возникла из ничего, то следует ожидать как раз того, что она будет плоской и с нулевой полной Ньютоновой гравитационной энергией каждого объекта. Это объяснение не совсем очевидно, и мне не вполне удалось донести его до слушателей моих популярных лекций, поэтому я рад, что у меня наконец-то появилось достаточно места, чтобы разложить все по полочкам.

Для начала надо четко понимать, какое именно «ничто» мы будем обсуждать. Это самая простая версия «ничего», то есть пустое пространство. Для начала предположим, что существует пространство, в котором нет ничего, а еще существуют законы физики. Опять же я отдаю себе отчет, что если взять определение «ничего» в обновленном и пересмотренном виде, — а такие определения предлагают те, кто хочет постоянно придавать словам новый смысл, так, чтобы никакое научное определение не было практически применимо, — то эта версия «ничего» не будет соответствовать нашим ожиданиям. Однако подозреваю, что пустое пространство, в котором ничего нет, — это, пожалуй, хорошее приближение к «ничему» в понимании Платона и Фомы Аквинского, когда они задумывались о том, почему на свете есть нечто, а не ничего.

Как мы убедились в главе 6, Алан Гут объяснил в деталях, как именно можно получить нечто из подобного рода «ничего» — тот самый бесплатный обед по высшему разряду. Пустому пространству можно приписать ненулевую энергию даже в отсутствие вещества и излучения. ОТО говорит, что пространство будет экспоненциально расширяться, так что даже те области, которые поначалу были очень-очень малы, быстро достигают размера, в который свободно поместится вся Вселенная, которую мы сегодня видим.

В той же главе я рассказал, что при таком стремительном расширении область, в которую в конечном итоге войдет вся наша Вселенная, будет становиться все более и более плоской, хотя энергия, содержащаяся в пустом пространстве, при росте Вселенной тоже растет. Это явление можно объяснить без каких-либо подтасовок или вмешательства свыше. Это возможно, потому что гравитационное «давление», связанное с подобной энергией пустого пространства, на самом деле отрицательно. Отрицательное давление предполагает, что, когда пространство расширяется, расширение накачивает его энергией, а не наоборот.

Эта картина подразумевает, что, когда инфляция прекращается, энергия, заключенная в пустом пространстве, превращается в энергию реальных частиц и излучения, что, в сущности, и создает прослеживаемую историю расширения Вселенной, начавшегося с Большого взрыва. Я говорю о возможности проследить историю расширения, поскольку при инфляции, в сущности, стирается вся память о состоянии Вселенной до его начала. Все сложности и нерегулярности на первоначально больших масштабах (если существовавшая до того Вселенная или

метавселенная была большой и даже бесконечно большой) сгладились и /или ушли так далеко за наш сегодняшний горизонт, что после достаточно продолжительного инфляционного расширения мы будем всегда наблюдать практически однородную Вселенную.

Я называю ее *практически* однородной, поскольку в той же главе 6 рассказал, что квантовая механика всегда оставляет локальные мелкие флуктуации плотности, которые при инфляции «замораживаются». Это приводит ко второму поразительному последствию инфляции: эти мелкие флуктуации плотности в пустом пространстве, возникшие согласно законам квантовой механики, впоследствии отвечают за все структуры, которые мы сегодня наблюдаем во Вселенной. Так что и мы сами, и все, что мы видим, есть результат квантовых флуктуаций в том, что, в сущности, представляло собой ничто в самом начале времен, а именно во время инфляционного расширения.

В сухом остатке общая конфигурация вещества и излучения будет именно такой, какая характерна для плоской Вселенной, то есть такой, в которой средняя Ньютонова гравитационная энергия всех объектов равна нулю. Так будет почти всегда, если только не подстроить очень тонко количество инфляции.

Поэтому вполне может быть, что наша наблюдаемая Вселенная начиналась как ничтожно малая область пространства, в сущности, пустая, и все равно впоследствии она разрослась до исполинских размеров и содержит вдоволь вещества и излучения. Все это не стоило ни капли энергии, но вещества и энергии хватило для построения всего, что мы сегодня наблюдаем!

В этом кратком резюме инфляционной динамики, которая подробно обсуждалась в главе 6, стоит обратить

внимание, что нечто может возникнуть в пустом пространстве именно потому, что энергетика пустого пространства в присутствии гравитации совсем не такая, как мы могли бы предполагать, руководствуясь здравым смыслом, пока не открыли основополагающие законы природы.

Но никто никогда не говорил, что Вселенная руководствуется тем же, что когда-то казалось разумным нам, близоруко глядящим на нее из нашего уголка пространства и времени. Конечно, априори кажется разумным вообразить, что вещество не может возникать спонтанно из пустого пространства, то есть что нечто не может возникнуть из ничего. Но когда мы принимаем в расчет динамику гравитации и квантовую механику, то обнаруживаем, что точка зрения здравого смысла уже не верна. В этом и состоит красота науки, и бояться этого не следует. Просто наука заставляет нас пересмотреть то, что кажется разумным и очевидным, чтобы привести свои взгляды в соответствие с устройством Вселенной, а не наоборот.

Подведу итог. Тот факт, что сегодня Вселенная плоская и что местная Ньютонова гравитационная энергия в ней в среднем равна нулю, — сильный довод в пользу того, что наша Вселенная возникла в результате процесса, подобного инфляции, процесса, посредством которого энергия пустого пространства (ничего) преобразуется в энергию чего-то, и в то время, за которое Вселенная становится все ближе и ближе к плоской на всех наблюдаемых масштабах.

Хотя инфляция показывает, как пустое пространство, наделенное энергией, вполне может создать все, что мы видим, вместе с неимоверно огромной и плоской

Вселенной, было бы лицемерным заявлять, что пустое пространство, наделенное энергией, которая движет инфляцией, — это ничто. Такая картина заставляет допустить, что пространство существует и способно запастись энергией, а затем, опираясь на законы физики, например на ОТО, рассчитать, что из этого следует. Так что, если бы мы на этом и остановились, читатель имел бы полное право заявить, что современная наука еще очень далека от подлинного ответа на вопрос, как получить нечто из ничего. Однако это лишь первый шаг. Мы будем все лучше понимать происходящее и на следующем этапе увидим, что инфляция лишь верхушка вселенского айсберга из ничего.

ГЛАВА 10

НЕСТАБИЛЬНОСТЬ «НИЧЕГО»

Да свершится правосудие, даже если рухнут небеса.

ДРЕВНЕРИМСКАЯ ПОСЛОВИЦА

Существование энергии в пустом пространстве — открытие, которое сотрясло нашу космологическую вселенную, и идея, которая легла в основу инфляции, лишь подтверждают некую особенность квантового мира, уже давно прекрасно известную по результатам лабораторных экспериментов, о которых я уже писал. Пустое пространство — штука очень сложная. Это бурлящее варево из виртуальных частиц, которые то возникают, то исчезают так быстро, что мы не можем непосредственно их зарегистрировать.

Виртуальные частицы — это проявление фундаментального свойства квантовых систем. В самой основе квантовой механики лежит правило, которым руководствуются некоторые политики и генеральные директора: пока никто не видит, можно делать все что угодно. Системы проходят все возможные состояния, пусть и за кратчайший миг, в том числе и состояния, которые были бы недопустимы, если бы систему измеряли. Эти «квантовые

флуктуации» — самая суть квантового мира: из ничего постоянно получается нечто, пусть и на мгновение.

Однако здесь есть одна загвоздка. Согласно закону сохранения энергии, квантовые системы могут шалить лишь до поры до времени. Они как проигрывающие брокеры на бирже: если в результате флуктуации система впадает в состояние, которое требует порции энергии из пустого пространства, она обязана вернуть эту энергию, причем поскорее, пока никакие наблюдатели не успели это зарегистрировать.

Как следствие, вы можете думать, что это «нечто», порожденное квантовой флуктуацией, эфемерно, его нельзя зарегистрировать, в отличие, скажем, от нас с вами или Земли, на которой мы живем. Однако и это эфемерное создание подвержено влиянию обстоятельств, которые связаны с тем, что мы нечто наблюдаем и измеряем. Рассмотрим, например, электрическое поле, которое создает заряженный объект. Оно, несомненно, реально. Можно ощутить силу статического электричества волос или пронаблюдать, как воздушный шарик прилипает к стене. Однако квантовая теория электромагнетизма говорит, что статическое поле появляется, потому что заряженные частицы, задействованные в его выработке, испускают виртуальные фотоны, полная энергия которых, в сущности, равна нулю. Поскольку энергия этих виртуальных частиц равна нулю, они могут распространяться по Вселенной, не исчезая, и поле, вызванное суперпозицией множества таких частиц, настолько реально, что его можно ощутить.

Иногда условия таковы, что из пустого пространства безнаказанно возникают самые настоящие массивные частицы. Например, когда две заряженные пластины подносят друг к другу и электрическое поле между ними

становится достаточно сильным, в нем складываются нужные энергетические условия для возникновения из вакуума реальной пары «частица — античастица», причем отрицательный заряд движется к положительно заряженной пластине, а положительный — к отрицательной. При этом возможно, что уменьшение энергии, вызванное уменьшением общего заряда на каждой пластине, а следовательно, и электрического поля между ними, окажется больше, чем энергия, связанная с энергией массы покоя, необходимой для рождения двух реальных частиц. Конечно, для создания таких условий сила поля должна быть очень велика.

На свете есть места, где подобное явление возможно благодаря сильным полям другого рода — не электрическим, а гравитационным. Эта мысль в 1974 г. сделала Стивена Хокинга известным среди физиков: он показал, что черные дыры, вырваться из которых невозможно, по крайней мере если исключить соображения квантовой механики, на самом деле способны испускать физические частицы.

Есть разные способы понять это явление, и один из них поразительно напоминает наш эксперимент с электрическими полями. Вне ядра черной дыры расположен радиус, называемый горизонтом событий. Ни один предмет, который находится внутри горизонта событий, согласно классическим представлениям, не может вырваться за его пределы, поскольку скорость, необходимая для этого, превосходит скорость света. Таким образом, выйти за горизонт событий не сумеет даже свет, излученный внутри этой области.

А теперь представьте себе пару из частицы и античастицы, которая возникает из пустого пространства

у самого горизонта событий в результате местной квантовой флуктуации. Если одна из частиц находится внутри горизонта событий, то может так сложиться, что с падением в черную дыру она потеряет столько гравитационной энергии, что эта энергия вдвое превзойдет массу покоя каждой из частиц. Это значит, что частица-партнер может улететь в бесконечность и стать наблюдаемой безо всякого нарушения закона сохранения энергии. Общая положительная энергия, связанная с излученной частицей, с лихвой компенсируется потерей энергии у частицы-партнера, упавшей в черную дыру. Поэтому черные дыры могут излучать частицы.

Но на самом деле все еще интереснее, и именно потому, что энергия, потерянная падающей в черную дыру частицей, оказывается больше, чем положительная энергия, связанная с ее массой покоя. В результате, когда частица падает в черную дыру, общая энергия системы, состоящей из черной дыры и частицы, оказывается меньше, чем до того, как частица упала за горизонт событий! Поэтому черная дыра после падения в нее частицы становится *легче* на величину, эквивалентную энергии, которую унесла с собой излученная частица. В конце концов черная дыра может совсем испариться. Пока что мы не знаем этого точно, поскольку физические процессы на финальных стадиях испарения черной дыры происходят на таких маленьких масштабах, что при помощи одной только ОТО получить окончательный ответ невозможно. На таких масштабах к гравитации надо относиться как к полностью квантово-механической теории, и нашего нынешнего понимания ОТО не хватает, чтобы в точности разобраться, что же тогда будет.

Тем не менее все эти явления указывают, что при удачном стечении обстоятельств нечто из ничего не просто *может* появиться — оно обязательно появляется.

Яркий пример из области космологии, показывающий, что «ничего» может быть нестабильным и формировать нечто, — это попытки разобраться, почему мы живем во Вселенной из вещества.

Пожалуй, это не тот вопрос, которым задаешься, едва открыв глаза поутру, однако то, что во Вселенной есть вещество, само по себе очень примечательно. А особенно примечательно, что, насколько мы можем судить, в нашей Вселенной не слишком-то много антивещества, а вы, наверное, помните, что его существования требуют квантовая механика и теория относительности: для каждой частицы, известной нам в природе, может существовать эквивалентная античастица с той же массой и противоположным зарядом. Логично считать, что любая «нормальная» Вселенная изначально должна содержать равное количество частиц и античастиц. Ведь античастицы всех обычных частиц обладают той же массой и прочими свойствами, поэтому, если на ранних стадиях существования Вселенной были созданы частицы, появиться античастицам было бы ничуть не труднее.

Мы также можем представить себе Вселенную из антивещества, где все частицы, из которых состоят звезды и галактики, замещены соответствующими античастицами. Такая Вселенная будет выглядеть почти так же, как и та, где живем мы с вами. Наблюдатели в такой Вселенной (тоже состоящие из антивещества), несомненно, называли бы веществом то, что мы называем антивеществом. Назвать-то можно как угодно.

Однако если наша Вселенная началась «нормально», с равными количествами вещества и антивещества, и такой бы и оставалась, некому было бы задавать вопросы «почему?» и «как?». Дело в том, что все частицы вещества аннигилировали бы со всеми частицами антивещества еще в самом начале существования Вселенной и не осталось бы ничего, кроме чистого излучения. Не было бы ни вещества, ни антивещества, чтобы сформировать из того или другого звезды или галактики, а также возлюбленных и антивозлюбленных, которые романтически любовались бы ночным небом, заключив друг друга в объятия. Никаких событий! История состояла бы из пустоты — одно лишь излучение, которое медленно остывало бы, и в конце концов получилась холодная, темная, скучная Вселенная и Ничто единолично воцарилось бы в ней.

Но в 1970-х гг. ученые стали догадываться, что можно начать с равного количества вещества и антивещества в момент Большого взрыва, когда все было очень горячее и плотное, а затем, опираясь на вполне вероятные квантовые процессы, «создать нечто из ничего»: для этого нужна всего лишь крошечная асимметрия, надо, чтобы вещества в самом начале Вселенной было чуть-чуть больше, чем антивещества. Тогда вместо полной аннигиляции вещества и антивещества, не оставляющей в наши дни во Вселенной ничего, кроме чистого излучения, все антивещество, доступное на ранних этапах существования Вселенной, аннигилировало с веществом, но крошечный избыток вещества остался бы, поскольку ему уже не с чем было бы аннигилировать. Из этого уцелевшего вещества и состоят звезды и галактики, наблюдаемые в сегодняшней Вселенной.

В результате то, что в иных обстоятельствах показалось бы скромным достижением (появление минимальной асимметрии в ранние времена), можно считать чуть ли не моментом сотворения мира. Потому что, если уж возникла асимметрия вещества и антивещества, она уже никуда не денется. А значит, именно тогда и было заложено будущее Вселенной, полной звезд и галактик.

Частицы антивещества аннигилировали в первые мгновения существования Вселенной с частицами вещества, а остаток частиц вещества сохранился до наших дней и определил характер видимой Вселенной, которую мы знаем, любим и населяем. Даже если бы перевес составлял всего одну миллиардную долю, и то осталось бы достаточно вещества, чтобы обеспечить все, что мы видим сегодня во Вселенной. Более того, и нужен был перевес в одну миллиардную или около того, поскольку сегодня на каждый протон во Вселенной приходится около миллиарда фотонов реликтового излучения. В таком сценарии эти фотоны как раз и остались после аннигиляции вещества и антивещества в начале времен.

Полностью описать, как проходил этот процесс на ранних этапах существования Вселенной, мы пока не можем, поскольку еще не сумели полностью — эмпирическим путем — разобраться в природе микрофизического мира на масштабах, на которых, скорее всего, появилась эта асимметрия. Тем не менее было исследовано множество разных вероятных сценариев, и основаны эти сценарии на самых точных на данный момент представлениях о физике на подобных масштабах. Отличаются они лишь в деталях, общие характеристики у них одни и те же. Квантовые процессы, связанные с элементарными частицами в жаркой изначальной бане, неизбежно и почти

неощутимо подталкивают пустую Вселенную (или, что эквивалентно, Вселенную, где поначалу вещества и антивещества поровну) к Вселенной, где будет преобладать либо вещество, либо антивещество.

Но если были оба этих пути, можно ли считать, что в нашей Вселенной вещество преобладает по чистой случайности? Представьте себе, что вы стоите на вершине высокой горы и вдруг падаете. То, в каком направлении вы упадете, не предопределено, это случайность, все зависит от того, в какую сторону вы смотрели или какой ногой оступились. Не исключено, что с нашей Вселенной именно так и получилось, и, даже если законы физики неизблемы, направление, в котором качнулось равновесие между веществом и антивеществом, определилось каким-то случайным стечением первоначальных обстоятельств (как и в случае падения с горы: закон всемирного тяготения неизблем и определяет сам факт вашего падения, однако направление, в котором вы покатитесь, случайно). В таком случае и мы с вами существуем по чистой случайности.

Однако независимо от этой неопределенности следует особо отметить, что у базовых законов физики есть черта, которая позволяет квантово-механическим процессам увести Вселенную от безликого состояния. Физик-теоретик Фрэнк Вильчек — один из первых, кто над этим задумался, — напомнил мне, что чуть ли не теми же самыми словами, что и я на предыдущих страницах, он рассказал об асимметрии вещества и антивещества во Вселенной в своей статье в журнале *Scientific American* еще в 1980 г. Опираясь на последние достижения физики элементарных частиц, он описал, как именно асимметрия вещества и антивещества могла возникнуть на ранних этапах

существования Вселенной, и добавил, что это позволяет подойти к ответу на вопрос, почему на свете все-таки есть нечто: «ничто» нестабильно.

Фрэнк подчеркивал, что наблюдаемый избыток вещества во Вселенной на первый взгляд мешает представить себе Вселенную, которая могла бы возникнуть из нестабильности в пустом пространстве, когда «ничто» породило Большой взрыв. Но если асимметрия возникла динамически уже после Большого взрыва, это препятствие удастся обойти. Вот как он пишет:

Можно представить себе, что в самом начале Вселенная находилась в предельно симметричном состоянии, какое только возможно, и что в таком состоянии никакого вещества не существовало: Вселенная представляла собой вакуум. Существовало и второе состояние, и в нем существовало вещество. Второе состояние было несколько менее симметрично, но при этом еще и обладало более низкой энергией. В некий момент возник и стал стремительно шириться очаг менее симметричной фазы. Энергия, высвобожденная при переходе, воплотилась в создании частиц. Это событие и можно идентифицировать как Большой взрыв... Ответ на извечный вопрос: «Почему на свете есть нечто, а не ничего?» — состоит в том, что «ничто» нестабильно.

Прежде чем двигаться дальше, признаюсь, что мне напомнили и о том, как похож мой рассказ об асимметрии вещества-антивещества на диспуты, которые мы вели на семинаре *Origins* по поводу современных представлений о природе жизни во Вселенной и ее происхождения. Выразался я несколько иначе, но основные пункты

на удивление похожи: какой конкретно физический процесс в первые мгновения истории Земли мог привести к возникновению первой самовоспроизводящейся биомолекулы и обмена веществ? За последние годы молекулярная биология добилась поразительного прогресса, сопоставимого с прогрессом в физике в 1970-е гг. В частности, мы узнали, какие природные цепочки органических реакций могли бы при вполне возможных в естественной среде условиях привести к возникновению рибонуклеиновых кислот, которые давно считаются предвестниками нашего мира, основанного на ДНК. До недавних пор господствовало представление, что прямого пути быть не могло и что главную роль в этом переходе должны были играть какие-то промежуточные формы.

Сегодня лишь немногие биохимики и молекулярные биологи сомневаются в том, что жизнь может возникнуть естественным образом из не-жизни, хотя как именно, еще предстоит открыть. Однако, когда мы все это обсуждали, во всех наших дискуссиях прослеживался общий подтекст: *обязательно* ли у первой жизни, возникшей на Земле, должна была быть именно такая биохимия или возможны и другие, столь же осуществимые варианты?

Эйнштейн как-то задал один вопрос и добавил, что это единственное, что ему по-настоящему хочется знать о природе. Признаться, это очень глубокий и фундаментальный вопрос — по-моему, ответ на него хотелось бы знать многим из нас: «Интересно, был ли у Бога [sic] какой-то выбор, когда он создавал Вселенную?»

Я привожу здесь это высказывание, поскольку бог Эйнштейна — это не библейский Бог. То, что во Вселенной есть порядок, так восхищало и поражало Эйнштейна, что он чувствовал к этому порядку духовную тягу, которую

по примеру Спинозы назвал удобным словечком «бог». Так или иначе на самом деле Эйнштейн хотел спросить именно о том, что я неоднократно упоминал в контексте нескольких разных тем: уникальны ли законы природы? И уникальна ли Вселенная, в которой мы живем и которая является следствием этих законов? Если изменить одну крошечную черточку, одну постоянную, одно взаимодействие — совсем чуть-чуть, — рухнет ли все строение? Уникальна ли биохимия жизни в биологическом смысле? Уникальны ли мы во Вселенной? К последнему, самому важному, вопросу мы еще вернемся на страницах этой книги.

Хотя подобное обсуждение заставит нас еще больше отточить и обобщить термины «ничто» и «нечто», хочу сделать еще один промежуточный шаг в разборе темы неизбежности создания «чего-то».

Пока я определял то «нечто», из которого появляется наше наблюдаемое «нечто» как «пустое пространство». Однако если допустить соединение квантовой механики с ОТО, мы можем поговорить и о том случае, когда само пространство вынуждено возникнуть.

ОТО как теория гравитации — по сути своей теория пространства и времени. Как я писал в самом начале книги, это была первая теория, позволявшая разобраться не только с динамикой объектов, движущихся в пространстве, но и с тем, как развивается само пространство. Поэтому, если у нас будет квантовая теория гравитации, законы квантовой механики удастся применить к свойствам пространства, а не только к свойствам объектов, существующих в пространстве, как в обычной квантовой механике.

Расширить квантовую механику, чтобы придать ей такие способности, — задача непростая, однако для ее

решения оказалась подходящей математическая модель, которую разработал Ричард Фейнман и которая привела к современному пониманию происхождения античастиц. Методы Фейнмана основаны на фундаментальном факте, о котором я упоминал в начале этой главы: квантово-механические системы в своем развитии следуют всем возможным траекториям, даже запретным с классической точки зрения.

Для своего исследования Фейнман разработал концепцию интеграла по траекториям, позволяющую делать предсказания. Согласно этому методу, мы рассматриваем все возможные траектории между двумя точками, по которым может пройти частица. Каждой траектории мы приписываем определенный вероятностный вес на основании хорошо известных принципов квантовой механики, а потом суммируем все пути, чтобы определить окончательные (вероятностные) прогнозы движения частиц.

Одним из первых ученых, которые полностью использовали эту идею, чтобы подойти к созданию квантовой механики пространства — времени (объединение нашего трехмерного пространства с одним измерением времени и создание четырехмерной единой системы пространства — времени, как требует СТО Эйнштейна), был Стивен Хокинг. Достоинство методов Фейнмана состоит в том, что изучение всех возможных траекторий позволяет получить результаты, не зависящие от специфических пространственных и временных «меток», которые ставятся на каждой точке каждой траектории. Поскольку теория относительности говорит, что разные наблюдатели при относительном движении измеряют время и расстояние по-разному, а значит, приписывают каждой точке пространства — времени разные значения, нам особенно

полезно иметь в своем распоряжении методику, не зависящую от разных «меток», которые приписывают тем или иным точкам в пространстве и времени разные наблюдатели.

Особенно эта методика полезна, пожалуй, с точки зрения ОТО, где «метки» точек в пространстве и времени присваиваются совершенно произвольно, так что разные наблюдатели в разных точках гравитационного поля измеряют расстояние и время по-разному, а поведение систем определяется в конечном итоге геометрическими параметрами наподобие кривизны, которая не зависит от всех подобных «меток».

Как я уже несколько раз упоминал, ОТО не вполне согласуется с квантовой механикой, по крайней мере насколько мы можем судить, а поэтому нет полностью однозначного метода, позволяющего определить интегралы по траекториям Фейнмана в рамках ОТО. Поэтому нам придется заранее высказать несколько догадок, по возможности правдоподобных, а потом проверить, получаются ли при этом осмысленные результаты.

Если рассматривать квантовую динамику пространства и времени, можно представить себе, что в случае фейнмановских сумм нужно принять во внимание все возможные конфигурации, способные описать разные геометрии, которые в принципе может принять пространство на промежуточных стадиях любого процесса, где правит квантовая неопределенность. Это значит, что мы должны рассматривать пространства произвольно, сколь угодно сильно искривленные на коротких расстояниях и промежутках времени — таких коротких, что мы не можем их измерить, и квантовые странности делают там что хотят. Большие «классические» наблюдатели вроде нас с вами не могут

наблюдать эти странные конфигурации, пытаясь измерить свойства пространства на больших расстояниях и за длительное время.

А теперь давайте рассмотрим еще более удивительные варианты. Вспомним, что, согласно квантовой теории электромагнетизма, частицы появляются из пустого пространства когда хотят, при условии что они снова исчезнут за время, заданное принципом неопределенности. По аналогии, если рассматривать квантовую сумму Фейнмана по всем возможным конфигурациям пространства — времени, нужно ли рассматривать возможность появления и исчезновения малых и, вероятно, компактных пространств? Давайте обобщим: а вдруг существуют пространства с «дырками» или с «ручками» вроде бубликов или пышек, погруженных в пространство — время?

На эти вопросы у нас нет ответов. Но пока никому не пришло в голову надежное обоснование, позволяющее исключить подобные конфигурации из квантово-механической суммы, определяющей свойства эволюционирующей Вселенной (а до сих пор, насколько мне известно, такого обоснования не существует), согласно общему принципу, которому подчиняется все, что мне известно в природе, — все, что не запрещено законами физики, должно произойти в действительности, — рассматривать такие возможности нужно обязательно.

Как подчеркивал Стивен Хокинг, квантовая теория гравитации допускает возникновение, пусть и на краткий миг, собственно пространства там, где его до этого не было. В научных трудах Хокинг не пытался разобраться с парадоксом «нечто из ничего», однако квантовая теория гравитации должна ответить именно на этот вопрос.

«Виртуальные вселенные» — а именно маленькие компактные пространства, которые могут то возникать, то исчезать так быстро, что мы не успеваем их зарегистрировать, — это очень интересная теоретическая конструкция, но она не объясняет, как нечто может возникнуть из ничего достаточно надолго, как не объясняют этого и виртуальные частицы, населяющие пустое в остальном пространстве.

Однако вспомним, что ненулевое реальное электрическое поле, которое можно наблюдать на больших расстояниях от заряженной частицы, есть результат того, что заряд когерентно испускает множество виртуальных фотонов с нулевой энергией. Дело в том, что при испускании виртуальных фотонов, несущих нулевую энергию, не нарушается закон сохранения энергии. Поэтому принцип неопределенности Гейзенберга не требует, чтобы они существовали лишь очень недолго, а потом поглощались и снова исчезали. (Вспомним, принцип неопределенности Гейзенберга гласит, что неопределенность при измерении энергии частицы, а следовательно, вероятность, что ее энергия может слегка изменяться при испускании и поглощении виртуальных частиц, обратно пропорциональна времени, в течение которого мы ее наблюдаем. Следовательно, виртуальные частицы, уносящие нулевую энергию, могут делать это, в сущности, безнаказанно: они могут существовать произвольно долго и улететь на произвольно большие расстояния, прежде чем снова будут поглощены, — а это допускает существование взаимодействия между заряженными частицами на больших расстояниях. Если бы фотон не был безмассовым и, имея массу покоя, всегда уносил с собой ненулевую энергию, то из принципа неопределенности Гейзенберга следовало бы, что

электрическое поле должно быть короткодействующим, поскольку фотоны могли бы распространяться лишь короткое время, прежде чем поглотиться.)

Подобные рассуждения подводят к мысли, что можно представить себе вселенную особого вида, которая возникает спонтанно, но не исчезает почти сразу же из-за ограничений, налагаемых принципом неопределенности и законом сохранения энергии. А именно компактную вселенную с нулевой общей энергией.

Так вот, мне бы очень хотелось предположить, что именно в такой Вселенной мы и живем. Это был бы отличный выход из положения, однако я больше заинтересован в том, чтобы остаться верным нынешнему представлению о Вселенной, чем в том, чтобы придумать, как легко и просто создать ее из ничего.

Я объяснил, и надеюсь, убедительно, что средняя Ньютонова гравитационная энергия каждого объекта в нашей плоской Вселенной равна нулю. Так оно и есть, но это еще не все. Гравитационная энергия — это не общая энергия объекта. К ней нужно прибавить энергию покоя, которая связана с массой покоя. Иначе говоря, как я уже объяснил, гравитационная энергия тела в покое, изолированного от всех других тел бесконечным расстоянием, равна нулю, поскольку оно покоится, у него нет кинетической энергии движения и оно бесконечно далеко от всех других тел, а если оно бесконечно далеко от всех других частиц, то гравитационное воздействие на него других частиц, которое обеспечило бы потенциальную энергию, чтобы совершать работу, тоже равно нулю. Однако, согласно Эйнштейну, общая энергия связана не только с гравитацией, но включает еще и энергию, обеспеченную массой: ведь как известно, $E = mc^2$.

Чтобы принять в расчет энергию покоя, нам нужно перейти от Ньютонового всемирного тяготения к ОТО, которая по определению включает в теорию гравитации эффекты СТО (и $E = mc^2$). И тут все становится куда менее очевидно и куда более запутанно. На небольших по сравнению с возможной кривизной Вселенной масштабах — пока все объекты на этих масштабах движутся значительно медленнее света — энергия, определенная согласно ОТО, сводится к той, с которой мы знакомы еще со времен Ньютона. Однако если эти условия не выполняются, все, можно сказать, летит в тартарары. Точнее, почти все.

Отчасти проблема состоит в том, что определение энергии, с которым мы привыкли иметь дело во всех других разделах физики, на больших масштабах в искривленной вселенной оказывается недостаточно строгим. Разные способы определять системы отсчета для описания разных «меток», которые разные наблюдатели приписывают разным точкам в пространстве и времени (и называют их разными системами отсчета), на крупных масштабах приводят к разночтениям величины общей энергии системы. Чтобы сделать поправку на этот эффект, нам придется обобщить понятие энергии, более того, если нам нужно определить полную энергию любой вселенной, придется подумать, как просуммировать энергию во вселенных, бесконечно простирающихся в пространстве.

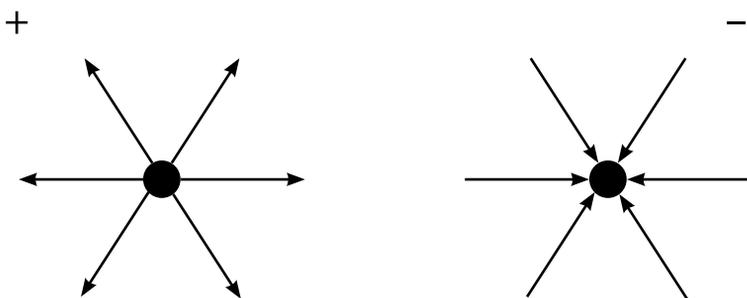
О том, как это делать, ведутся жаркие споры, в научной литературе то и дело появляются и критикуются всевозможные теории на этот счет.

Одно несомненно: существует вселенная, в которой полная энергия определенно и точно равна нулю. Однако это не плоская вселенная, которая в принципе

простирается бесконечно, что затрудняет подсчет полной энергии. Это замкнутая вселенная, в которой плотность вещества и энергии достаточна, чтобы пространство замкнулось само на себя. Как я уже писал, в замкнутой вселенной, если заглянуть далеко-далеко, увидишь собственный затылок!

Почему энергия замкнутой вселенной равна нулю, объяснить довольно просто. Легче всего рассуждать по аналогии с тем, что в ней полный электрический заряд тоже должен быть равен нулю.

Со времен Майкла Фарадея мы представляем себе электрический заряд как источник электрического поля (на современном квантовом жаргоне можно сказать, что поле вызывается испусканием виртуальных фотонов, как описано выше). Мы представляем себе линии поля, которые радиально исходят от заряда: плотность их пропорциональна заряду, а направлены они наружу, если заряд положительный, или внутрь, если он отрицательный, как показано ниже.



Мы представляем, как эти линии уходят в бесконечность, как они расходятся все дальше и дальше друг от друга. Это предполагает, что электрическое поле

становится все слабее и слабее. Однако в замкнутой все-ленной линии поля, например при положительном заряде, поначалу расходятся, но потом, в точности как меридианы на карте Земли сходятся на Северном и Южном полюсах, тоже сойдутся на дальнем конце вселенной. Когда они начнут сближаться, поле будет становиться все сильнее и сильнее, пока не наберет достаточно энергии, чтобы создать отрицательный заряд, который сможет «заглотить» линии в точке-антиподе.

Так вот, оказывается, что похожие рассуждения — только речь в них идет не о «потоке» линий поля, а о «потоке» энергии в замкнутой вселенной — приводят нас к выводу, что полная положительная энергия, в том числе и та, которая связана с массой покоя частиц, должна полностью компенсироваться отрицательной гравитационной энергией, чтобы полная энергия была в точности равна нулю.

Но если полная энергия замкнутой вселенной равна нулю, а метод суммирования через интегралы по траекториям в квантовой теории пригоден, то по законам квантовой механики подобные вселенные могут спонтанно возникать без зазрения совести и без всякой результирующей энергии. Хочу подчеркнуть, что каждая такая вселенная представляет собой изолированное пространство — время, никак не связанное с нашим.

Но не все так просто. Замкнутая расширяющаяся Вселенная, полная вещества, должна в общем случае расширяться до максимальных размеров, а затем так же быстро схлопнуться, и тогда получится пространственно-временная сингулярность, а какой будет ее участь, незаконченная теория квантовой гравитации пока что не может нам сказать. Поэтому характерное время жизни крошечных

замкнутых вселенных будет микроскопическое, возможно порядка планковского времени — характерного масштаба времени, на котором положено действовать квантово-гравитационным процессам: около 10^{-44} с.

Однако из этого тупика есть выход. Если до того, как такая вселенная схлопнется, конфигурация полей в ней приведет к периоду инфляции, то даже крошечная поначалу замкнутая вселенная может быстро, экспоненциально расширяться, становясь за это время все ближе к бесконечно большой плоской вселенной. И если продолжительность инфляции будет в сотню раз больше, чем время удвоения ее размера, вселенная станет так близка к плоской, что запросто сможет просуществовать гораздо дольше нынешнего возраста нашей Вселенной — и не схлопнется.

На самом деле есть и другой вариант, от которого у меня всегда случается легкий приступ тоски по прошлому (а заодно и зависти), поскольку столкновение с этим вариантом было для меня очень поучительным. Начиная работать в Гарварде сразу после защиты диссертации, я раздумывал над возможными вариантами квантовой механики гравитационных полей и узнал, что мой добрый приятель по магистратуре Иэн Аффлек получил один интересный результат. Иэн — канадец, он был аспирантом в Гарварде, когда я учился в Массачусетском технологическом институте, и вступил в Гарвардское общество молодых ученых за несколько лет до меня. Он воспользовался математической теорией Фейнмана, которую мы теперь применяем для работы с элементарными частицами и полями, — так называемой квантовой теорией поля — и вычислил, как в сильном магнитном поле могут рождаться частицы и античастицы.

Я понял, что та форма решения, которую описал Иэн, — иногда ее называют «инстантон» — очень напоминает инфлирующую вселенную, если применить тот же метод к случаю гравитационного поля. При этом результат получался похожим на вселенную с инфляцией, которая началась из ничего! Однако писать об этом результате было рано: я плохо понимал, какая именно физика соответствует этому математическому решению. А вскоре выяснилось, что, пока я ломал голову, мой сосед, очень талантливый и оригинально мыслящий космолог Александр Виленкин, о котором я уже писал и с которым мы в итоге подружились, уже успел напечатать статью, где именно таким образом рассказывалось, как квантовая гравитация и правда может создать инфлирующую вселенную прямо и непосредственно из ничего. Меня обошли, но расстраиваться я не стал, потому что (1) и правда тогда еще не во всех подробностях понимал, что, собственно, делаю, и (2) Виленкин просто оказался храбрее и сообщил о том, о чем я побоялся. Впоследствии я усвоил, что можно публиковать работу, даже не разобравшись до конца во всех следствиях из своей идеи. Я и сам полностью понял несколько самых важных своих статей, только когда после публикации прошло уже очень много времени.

Так или иначе, хотя Стивен Хокинг и его коллега Джим Хартл предложили совсем другой путь к определению «граничных условий», при которых вселенные могут возникать из ничего, главное здесь вот что:

1. В квантовой гравитации вселенные могут и, более того, всегда будут спонтанно возникать из ничего. Подобные вселенные не обязаны быть пустыми, они могут иметь вещество и излучение, но лишь при условии, что полная энергия с учетом

отрицательной энергии, связанной с гравитацией, будет равна нулю.

2. Чтобы замкнутые вселенные, которые могут возникнуть в результате подобных механизмов, просуществовали больше неизмеримо крошечного планковского мига, нужно нечто вроде инфляции.

В результате единственная долгоживущая вселенная, которая возникает в результате подобного сценария и в которой можно рассчитывать поселиться и жить, — это вселенная, которая на сегодняшний день выглядит как плоская, в точности как та, в которой живем мы с вами.

Мораль ясна: квантовая гравитация не только допускает возникновение вселенных из ничего — в данном случае это, подчеркиваю, означает отсутствие пространства и времени — она может требовать этого. «Ничто» в этом смысле — то есть отсутствие пространства, времени и чего-либо вообще! — нестабильно.

Более того, следует ожидать, что общие характеристики такой вселенной, если она проживет долго, будут совпадать с теми, которые мы наблюдаем в нашей нынешней Вселенной.

Доказывает ли это, что наша Вселенная возникла из ничего? Нет, конечно. Но это позволяет еще на шаг приблизиться к принятию такого сценария. А кроме того, оно снимает еще одно возражение против идеи создания из ничего, как было написано в предыдущей главе. Там «ничто» означало пустое, но уже существующее пространство в сочетании с определенными и хорошо известными законами физики. Теперь же необходимость в пространстве отпала.

Однако, как мы сейчас увидим, может быть, что и законов физики не нужно и не требуется.

ГЛАВА 11

ДИВНЫЕ НОВЫЕ МИРЫ

Это было самое прекрасное время, это было самое злосчастное время...

ЧАРЛЬЗ ДИККЕНС*

Главная сложность с идеей сотворения мира состоит в том, что она, очевидно, требует, чтобы еще до акта творения существовали какие-то внешние силы, нечто вне самой системы, которые создали условия, необходимые для возникновения этой системы. Именно здесь обычно говорят о необходимости Бога, внешнего движителя, существующего независимо от пространства, времени и, более того, от физической реальности как таковой, поскольку больше влить уже не на кого. Но в этом смысле Бог, мне кажется, слишком легкий семантический ответ на глубокий вопрос о сотворении мира. Думаю, лучше всего эта мысль объясняется в контексте несколько другого примера — происхождения морали, о котором мне рассказал мой друг Стивен Пинкер.

Откуда взялась мораль? Она вечна и абсолютна или обусловлена исключительно контекстом нашей биологии и окружающей среды, а следовательно, ее можно

* Диккенс Ч. Повесть о двух городах. — М.: Азбука-классика, 2010.

определить научными методами? Во время дебатов по этому вопросу, организованных в Университете штата Аризона, Пинкер указал на следующий парадокс.

Если кто-то, подобно многим глубоко религиозным людям, говорит, что без Бога не было бы никакого абсолютного добра и зла, то есть что именно Бог определяет, что для нас добро, а что зло, можно спросить: а если бы Бог постановил, что насиловать и убивать — это нормально с точки зрения морали? Стали бы эти поступки моральными?

Кто-то даже ответит, что да, но все-таки большинство верующих, по-моему, скажут, что нет, Господь бы такого не допустил. Но почему? Потому, что у него были бы причины этого не допускать. Опять же доводы здравого смысла говорят, что убийство и насилие аморальны. Но если Богу тоже нужно апеллировать к доводам здравого смысла, зачем нам вообще такой посредник?

Подобным же образом можно рассуждать и о появлении Вселенной. Все примеры, которые я до сих пор привел, и в самом деле предполагают, что нечто возникло из того, что так и тянет считать «ничем», однако должны заранее существовать законы для такого появления, то есть законы физики. Откуда же они взялись?

Варианта два. Или их определяет Бог или какая-то Божественная сущность, не подчиняющаяся этим законам и живущая вне их то ли по собственной прихоти, то ли со злым умыслом, или законы эти возникают посредством какого-то менее сверхъестественного механизма.

Если предположить, что законы определяет Бог, то возникнет проблема: как минимум можно задаться вопросом, кто определяет законы Бога. Традиционно на это отвечают, что Бог, наряду с другими поразительными

качествами Творца, есть начало всех начал и причина всех причин (на языке римско-католической церкви), что он первопричина (по Фоме Аквинскому), а на языке Аристотеля — перводвигатель.

Стоит заметить, что Аристотель понимал, в чем сложности с первопричиной, и решил, что именно поэтому Вселенная должна быть вечной. Более того, сам Бог, которого Аристотель определял как чистую самопоглощенную мысль, любовь к которой запустила перводвигатель, должен быть вечным и вызывать движение не созданием движения, а установлением конечной цели, которая, по Аристотелю, тоже вечна.

Аристотель понимал, что приравнивать первопричину к Богу — не слишком удачное решение. Платоновская идея первопричины ущербна сама по себе: дело в том, что Аристотель считал, что у любой причины есть своя предпосылка, отсюда и следует, что Вселенная должна быть вечной. С другой стороны, если встать на ту точку зрения, что Бог есть начало всех начал и, следовательно, вечен, даже если наша Вселенная не вечна, то цепочка вопросов «почему?», сводимая к абсурду, и правда прерывается, но, как я подчеркнул, лишь ценой предположения о существовании какой-то всемогущей сущности, и других оснований для нее просто нет.

Здесь надо отметить еще одно важное обстоятельство. Очевидная на первый взгляд логическая необходимость в первопричине — и вправду серьезный вопрос для любой Вселенной, у которой было начало. Поэтому одна лишь логика не позволяет исключить подобное деистическое представление о природе. Но даже в этом случае важно понимать, что это божество не имеет никакой логической связи с персонализированными богами великих

мировых религий, невзирая на то что именно на него часто ссылаются в оправдание их существования. Деист, который твердо решил разыскать какой-то высший разум, обеспечивающий порядок в природе, в силу той же логики не придет к персонифицированному Богу священных писаний.

Эти вопросы обсуждаются тысячелетиями, над ними ломают голову гениальные и не очень гениальные мыслители, причем многие из последних неплохо зарабатывают этими дебатами на жизнь. Мы можем вернуться сейчас к этой теме просто потому, что благодаря накопленным знаниям лучше осведомлены о природе физической реальности. Ни Аристотель, ни Фома Аквинский не знали о существовании нашей Галактики, не говоря уже о Большом взрыве и квантовой механике. Поэтому им, а впоследствии средневековым философам пришлось возиться с ответами на вопросы, к которым надо было подходить в свете наших современных знаний.

Рассмотрим, например, в рамках современной космологической картины предположение Аристотеля, что не было никаких первопричин, точнее, что причины и следствия уходят в прошлое (и в будущее) бесконечно далеко. Никакого начала, никакого сотворения мира, никакого конца.

До сих пор когда я писал, что из «ничего» почти всегда может получиться нечто, то говорил либо о возникновении чего-то из уже существующего пустого пространства, либо о возникновении пустого пространства из отсутствия всякого пространства. Начальные условия обоих этих видов вполне меня устраивают как «отсутствие существования» и поэтому годятся в кандидаты на роль «ничего». Однако я не занимался непосредственно вопросами

о том, что могло существовать до такого творения, какие законы управляли творением — в общем, я ничего не говорил о том, что принято называть первопричиной. Простой ответ, разумеется, состоит в том, что либо пустое пространство, либо более фундаментальное «ничто», из которого могло возникнуть пустое пространство, существовали всегда и будут существовать вечно. Однако, честно говоря, тут напрашивается вопрос, ответ на который, конечно, может и не найтись: а что, собственно, установило законы, которые управляли возникновением чего-то, и существовало ли оно?

Несомненно одно. Метафизический «закон», в существовании которого безусловно убеждены все те, с кем я обсуждал вопрос о сотворении мира, — что «из ничего ничего и не получится», — с научной точки зрения не обоснован. Утверждать, будто это самоочевидная, непоколебимая, неоспоримая истина, — все равно что ошибочно заявлять вслед за Дарвином, что происхождение жизни лежит вне сферы компетенции науки, на том основании, что вещество не может быть ни создано, ни уничтожено, что также неправда. Подобные высказывания свидетельствуют лишь о нежелании признавать простой факт, что природа, скорее всего, умнее философов и богословов.

Более того, те, кто утверждают, что из ничего ничего и не получится, похоже, ничуть не возражают против наивного представления о том, будто Бог каким-то образом обходит это ограничение. Но опять же если предположить, что идея подлинного несуществования не требует даже потенциала для возникновения чего-то, то Бог не может творить свои чудеса, поскольку, если он создает нечто из ничего, значит, потенциал для возникновения чего-то все же был. Просто утверждать, что Бог

может делать то, чего не может природа, — это все равно что утверждать, что сверхъестественный потенциал для возникновения чего-то отличается от обычного природного потенциала для возникновения чего-то. Однако все это на первый взгляд надуманные семантические различия, придуманные теми, кто заранее (как теологи) решил, будто сверхъестественное (то есть Бог) должно существовать, и поэтому определяет свои философские идеи (опять же никак не связанные ни с какими эмпирическими основами) так, чтобы они исключали все, кроме возможности существования Бога.

Так или иначе можно выдвинуть идею Бога для разрешения этого парадокса, но, как я уже много раз подчеркивал, тогда обычное утверждение состоит в том, чтобы Бог существовал вне Вселенной и либо вне времени, либо вечно.

Наше современное понимание Вселенной предлагает другое правдоподобное решение этой проблемы, которое, я бы сказал, гораздо больше подходит науке физике, обладая при этом некоторыми чертами вечного Творца и будучи при этом значительно последовательнее логически.

Я имею в виду теорию мультивселенной. Вероятность того, что наша Вселенная — одна из огромного, а может быть, даже бесконечного множества разных вселенных, изолированных друг от друга с точки зрения причинно-следственных связей, в каждой из которых любое количество фундаментальных аспектов физической реальности может оказаться не таким, как в остальных, открывает широчайшие перспективы для понимания нашего существования.

Как я уже упоминал, одно из самых неприятных, но потенциально истинных следствий подобных моделей — то,

что физика на самом фундаментальном уровне может оказаться всего лишь наукой об окружающем мире. (Мне это неприятно, поскольку меня воспитывали в убеждении, что цель науки — объяснить, почему Вселенная именно такова и как так получилось. Если окажется, что законы физики в известном нам виде всего лишь случайность, коррелирующая с нашим существованием, то эта фундаментальная цель, оказывается, была неверно поставлена. Но если окажется, что так оно и есть, я преодолею свои предрассудки.) В этом случае фундаментальные силы и константы не более фундаментальны, чем расстояние от Земли до Солнца. Мы живем на Земле, а не на Марсе не потому, что расстояние от Земли до Солнца — это какая-то фундаментальная величина, наделенная глубоким смыслом, а просто потому, что если бы Земля вращалась на другом расстоянии от Солнца, то жизнь в известном нам виде не смогла бы на ней развиваться.

Ни для кого не секрет, что путь подобной антропной аргументации скользок, что на ее основании почти невозможно делать никаких конкретных предсказаний, если не знать всех подробностей вероятностных распределений по всем возможным вселенным фундаментальных констант и взаимодействий, то есть что может меняться, а что нет, и какие формы и значения они могут принимать, а также насколько «типичны» мы в своей Вселенной. Если мы не являемся «типичными» живыми существами, то антропная селекция, если она вообще есть, может быть основана не на тех факторах, о которых мы обычно говорим.

Так или иначе, мультивселенная — как в виде «ландшафта» вселенных, существующих в сонме дополнительных измерений, так и в виде бесконечного множества

вселенных, которые повторяют друг друга в трехмерном пространстве (как в случае вечной инфляции), — меняет правила игры, весь подход к проблеме сотворения нашей собственной Вселенной и условий, которые могли для этого требоваться.

Прежде всего утрачивает свою важность вопрос о том, что определило законы природы, которые допустили формирование и развитие нашей Вселенной. Если законы природы сами по себе стохастичны и случайны, у нашей Вселенной не было никакой изначальной «причины». Согласно общему принципу — все, что не запрещено, разрешено — при такой картине мира у нас с вами была бы гарантия, что какая-то вселенная с теми законами, которые мы открыли, обязательно должна возникнуть. Для того чтобы законы природы были именно таковы, не нужны никакие механизмы и никакие высшие сущности. Законы могли бы быть практически любыми. Поскольку у нас пока нет фундаментальной теории, которая объясняла бы все подробности «ландшафта» мультивселенной, мы ничего определенного на этот счет сказать не можем. (Честно говоря, чтобы добиться хоть какого-то научного прогресса в подсчете вероятностей, мы обычно предполагаем, что определенные качества, например квантовая механика, актуальны для всех вариантов. Как обойтись без этой идеи и при этом получить результаты, которыми можно пользоваться, я не знаю, по крайней мере, мне не известно никаких продуктивных разработок на эту тему.)

В сущности, никакой фундаментальной теории может и не быть. Хотя я стал физиком, поскольку надеялся, что такая теория существует, и поскольку надеялся, что смогу когда-нибудь внести свой вклад в ее открытие, эта надежда может быть беспочвенной — впрочем, я на это уже

жаловался. Остается лишь утешаться словами Ричарда Фейнмана, которые я уже пересказывал раньше, но сейчас, пожалуй, приведу полностью:

Меня часто спрашивают: «Вы ищете всеобщие законы физики?» Нет. Я просто хочу побольше узнать о мире, а если окажется, что существует какой-то простой всеобщий закон, который все объясняет, меня это лишь обрадует: будет очень славно его открыть. Если окажется, что он как луковица с миллионами слоев, а нам уже до смерти надоело раскапывать слой за слоем, — значит, такова жизнь... Мои научные интересы — просто узнать побольше о мире, и чем больше я узнаю, тем лучше. Люблю узнавать.

Эту аргументацию можно развить и увести в другом направлении, что тоже повлияет на доводы, лежащие в основе этой книги. В мультивселенной любого обсуждаемого типа может быть бесконечное число областей, как бесконечно больших, так и ничтожно малых, в которых нет ничего, кроме просто «ничего», и областей, в которых есть «нечто». В этом случае ответ на вопрос, почему есть нечто, а не ничего, становится очевидным до банальности: нечто существует просто потому, что, если бы ничего не было, мы бы тут не жили!

Понимаю, что подобный тривиальный ответ на вопрос, который долгие века казался таким глубоким, вызовет досаду и раздражение. Однако наука учит нас, что все — и глубокое, и тривиальное — может разительно отличаться от того, что нам кажется на первый взгляд. Вселенная — гораздо более странная, богатая и восхитительная, чем может представить себе скудная человеческая фантазия. Современная космология заставляет нас

рассматривать идеи, которые 100 лет назад не могли быть даже сформулированы. Великие открытия XX и XXI вв. не просто изменили мир, в котором мы живем и действуем, но и произвели переворот в нашем понимании устройства мира или миров, которые существуют или могут существовать прямо у нас под носом, — реальности, которая таится от нас, покуда мы не наберемся храбрости и не отправимся ее искать.

Вот почему философия с теологией в принципе не способны самостоятельно найти ответы на подлинно фундаментальные вопросы о нашем существовании, которые нас терзают. Пока мы не откроем глаза и не позволим самой природе направлять наши исследования, мы обречены вязнуть в болоте собственной близорукости.

Почему же на свете есть нечто, а не ничего? В конечном итоге этот вопрос может оказаться не более важным и глубоким, чем вопрос о том, почему одни цветочки красненькие, а другие голубенькие. Из «ничего» всегда может возникнуть «нечто». Возможно, это даже неизбежно и не зависит от фундаментальной природы реальности. А может быть, в мультивселенной «нечто» вообще не редкость — или, наоборот, не очень-то и распространено. Так или иначе лучше всего не ломать голову над этим вопросом, а ступить на увлекательный путь научных открытий и, вероятно, разобраться наконец, как именно возникла Вселенная, в которой мы живем, как она развивается и какие процессы в конечном итоге управляют механизмами нашего существования. Для этого нам и нужна наука. Это понимание можно дополнять размышлениями и называть философией. Но если мы не будем и дальше заглядывать во все темные уголки Вселенной, куда только сможем, то никогда не сумеем дать адекватную оценку нашего собственного места в космосе.

Прежде чем закончить повествование, я хочу затронуть один из аспектов вопроса, которого пока не касался, но которым было бы правильно завершить разговор. В вопросе, почему на свете есть «нечто», а не «ничего», заключено солипсическое ожидание, что «нечто» будет всегда, что Вселенная так или иначе «прогрессировала» до момента нашего возникновения, словно мы — венец творения. Если судить по всему, что мы знаем о Вселенной, гораздо более вероятно, что в будущем — пусть и в бесконечно далеком будущем — снова настанет царство «ничего».

Если мы живем во Вселенной, в которой преобладает энергия «ничего», о чем я и писал, то будущее у нас и в самом деле печальное. Небеса потемнеют, опустеют, остынут. Но на самом деле все еще хуже. Вселенная, где преобладает энергия пустого пространства, с точки зрения будущего живых существ — самый неудачный вариант. Любая цивилизация в такой Вселенной с гарантией угаснет, лишившись животворящей энергии. Пройдет неизмеримо много времени, и какая-то квантовая флуктуация или температурное возмущение создадут островок пространства, где опять сможет развиваться и процветать жизнь. Но это тоже будет ненадолго. В будущем Вселенная будет пуста — и некому будет разгадывать ее исполтинскую тайну.

Подойдем с другой стороны: если вещество, из которого мы созданы, возникло в начале времен благодаря каким-то квантовым процессам, о чем я тоже писал, то у нас есть почти полная гарантия, что оно тоже в конце концов исчезнет. Физика — это дорога с двусторонним движением, начало и конец в ней связаны. В далеком-далеком будущем протоны и нейтроны распадутся,

.....

вещество исчезнет, а Вселенная приблизится к состоянию максимальной простоты и симметрии.

Может быть, с математической точки зрения это и красиво, но никакого содержания в ней не будет. Как писал в несколько ином контексте Гераклит Эфесский, «Гомер был не прав, когда говорил: “О да погибнет вражда от богов и от смертных”, поскольку не понимал, что молит о гибели Вселенной, ведь если бы его мольба была услышана, все исчезло бы». Кристофер Хитченс сформулировал эту мысль несколько иначе: «Нирвана — это ничто».

Возможно, возврат к «ничему» неизбежен, причем в самом крайнем своем проявлении. Некоторые специалисты по теории струн на основании сложных математических вычислений делают вывод, что вселенная, подобная нашей, с положительной энергией в пустом пространстве не может быть стабильной. Рано или поздно она распадется до состояния, в котором энергия, заключенная в пространстве, станет отрицательной. И тогда нашу Вселенную ждет коллапс, она схлопнется в точку, вернется в квантовую мглу, с которой, скорее всего, началось наше существование. Если этот вывод точен, наша Вселенная исчезнет так же внезапно, как, должно быть, возникла.

В таком случае ответ на вопрос: «Почему на свете есть нечто, а не ничего?» — будет очень прост: «Это не надолго».

Эпилог

Признание эмпирического факта как истины — вопрос очень важный, и со времен Возрождения это было основной движущей силой нашей цивилизации.

ДЖЕЙКОБ БРОНОВСКИ

Я начал эту книгу с другой цитаты из Джейкоба Бронновски:

Каким бы ни был наш жизненный опыт, нам приходится воспринимать его как он есть, будь то мечта или кошмар, и проживать его наяву, а не во сне. Мы живем в мире, насквозь пронизанном наукой, в мире целостном и реальном. И невозможно превратить его в игру, встав на чью-то сторону.

А еще я писал: то, что для кого-то мечта, запросто может быть кошмаром для другого. Кого-то сама идея того, что во Вселенной нет высшей цели и высшего руководства, лишит смысла жизни. А для кого-то, и для меня в том числе, такая Вселенная становится источником вдохновения. Ведь из-за этого еще удивительнее, что мы вообще существуем, и у нас появляется стимул искать смысл в собственных делах и поступках и как можно лучше использовать тот краткий миг под солнцем, который нам

доведется прожить, — просто потому, что мы существуем и нам посчастливилось не только жить, но и обладать разумом. Но Броновски имел в виду, что на самом деле не очень важно, как все обстоит на самом деле: Вселенной все равно, чего мы от нее хотим. Что было, то было, и было это на космических масштабах. А то, что еще будет на этих же космических масштабах, не зависит от наших предпочтений. Мы не можем изменить прошлое и едва ли сможем повлиять на будущее.

Зато мы можем разобраться в обстоятельствах своего существования. На страницах этой книги я описал едва ли не самую увлекательную исследовательскую экспедицию за всю историю человечества. Это сага об изучении и понимании космоса на таких масштабах, о которых еще 100 лет назад попросту никто ничего не знал. Эта экспедиция сделала нас еще отважнее: теперь мы готовы следовать за объективными данными, куда бы они нас ни завели, не боимся посвятить свою жизнь исследованиям неведомого, хотя отдаем себе отчет в том, что все наши усилия могут оказаться бесплодными, и умеем найти в себе нужное сочетание творчества и упорства, чтобы заниматься рутинной и зачастую монотонной работой — разбираться в бесконечных уравнениях и бесконечно сложных экспериментах.

Мне всегда нравился миф о Сизифе: боги в наказание заставили его закатывать камень на гору, и всякий раз у самой вершины камень начинал скатываться обратно. Занятие наукой иногда очень это напоминает. Камю считал, что Сизиф при этом улыбался, — и нам стоит брать с него пример. Наш путь при любом исходе сам по себе награда.

Феноменальный прогресс, достигнутый человечеством за последние 100 лет, приблизил нас, ученых, к тому,

чтобы практически решать самые серьезные задачи, отвечать на самые глубокие вопросы, которые мы, люди, задавали себе с тех самых пор, когда делали первые робкие шаги к пониманию, кто мы и откуда взялись.

Как я уже писал, по мере того как мы понемногу разбирались в устройстве Вселенной, менялся и эволюционировал самый смысл этих вопросов. «Почему на свете есть нечто, а не ничего?» следует понимать в контексте миропорядка, где эти слова звучат уже совсем не так, как раньше, где размываются границы между «нечто» и «ничто», где при разных условиях одно не просто может, но и должно переходить в другое.

В результате по мере продвижения по пути знаний сам этот вопрос отошел в сторону. Теперь мы стремимся понять, какие процессы управляют природой, чтобы делать прогнозы и по возможности влиять на собственное будущее. При этом мы открыли, что живем во Вселенной, где пустое пространство, которое раньше вполне сошло бы за «ничто», имеет новую динамику, которая управляет нынешней эволюцией космоса. Мы открыли, что все указывает на Вселенную, которая вполне могла возникнуть и, скорее всего, возникла из более фундаментального «ничего» — где не было даже пространства — и когда-нибудь снова обратится в «ничто» в результате процессов не просто постижимых, но и не требующих внешнего контроля и руководства. В этом смысле наука, как подчеркивал физик Стивен Вайнберг, не лишает человека возможности верить в Бога, а скорее дает ему возможность не верить в Бога. Без науки все на свете — чудо. А с наукой остается возможность того, что чудес вообще не бывает. А значит, необходимость в религиозных верованиях мало-помалу отпадает и играет все менее и менее важную роль.

Каждый из нас сам выбирает, придерживаться ли ему идеи Божественного творения, — думаю, споры по этому поводу в ближайшее время не утихнут. Однако, как я писал, лично я верю, что если мы хотим быть интеллектуально честны сами с собой, то должны сделать обоснованный выбор — обоснованный фактами, а не откровениями.

В этом и состояла цель моей книги: представить обоснованную современную картину мироздания, как мы ее понимаем, и описать, какие теоретические рассуждения обеспечивают научный прогресс в физике и как мы, ученые, пытаемся отделить зерна от плевел в своих теориях и наблюдениях.

О своих предпочтениях я заявил ясно и недвусмысленно: для меня на сегодня самый привлекательный и правдоподобный вариант — это предположение, что Вселенная возникла из ничего. А вы делайте выводы сами.

В заключение я хочу вернуться к вопросу, который, как представляется лично мне, с интеллектуальной точки зрения даже интереснее, чем вопрос о чем-то из ничего. Это вопрос, который задал Эйнштейн, — о том, был ли у Бога какой-то выбор при сотворении мира. Этот вопрос — главная движущая сила почти для всех исследований фундаментальной структуры вещества, пространства и времени, исследований, которыми я занимаюсь почти всю свою профессиональную жизнь.

Раньше я думал, что для ответа на этот вопрос надо сделать однозначный выбор, но в процессе написания книги «Всё из ничего» мои представления несколько изменились. Очевидно, если существует единая теория с уникальным набором законов, которая описывает и, более того, определяет, как возникла наша Вселенная и как должна идти ее дальнейшая эволюция (сформулировать

эту теорию — цель науки со времен Ньютона и Галилея), то ответ на этот вопрос должен быть таким: «Нет, все должно было быть так, как было и есть».

Но если наша Вселенная не уникальна, если она всего лишь часть огромной, а возможно и бесконечной, мульти-вселенной, не должен ли ответ на вопрос Эйнштейна прозвучать гораздо интереснее: «Да, Вселенная может возникнуть по-разному, есть множество вариантов»?

Какой из ответов верен, я не знаю. Может быть, существует бесконечное множество разных сочетаний законов, разновидностей частиц, веществ и взаимодействий и даже разных вселенных, которые могут возникнуть в такой мультивселенной. Может быть, существует только одна, строго определенная комбинация, которая порождает только такую Вселенную, в какой мы живем, или очень похожие вселенные, в которых возможна эволюция существ, способных задать подобный вопрос. Тогда ответ на вопрос Эйнштейна останется отрицательным. Бог или Природа, способные вместить мультивселенную, подчинялись бы при создании Вселенной, в которой Эйнштейн мог задать такой вопрос, таким же строгим ограничениям, что и в случае, если бы был только один вариант создания жизнеспособной и непротиворечивой физической реальности.

Почему-то мне очень по душе вероятность того, что при любом сценарии, даже если существует якобы всемогущий Бог, никакой свободы при создании Вселенной не было. Разумеется, потому, что это еще раз скажет нам, что без гипотезы о Боге можно обойтись или что она как минимум избыточна.

Послесловие Ричарда Докинза

Мало что так расширяет сознание, как идея расширяющейся Вселенной. Музыка сфер — детская песенка, перезвон бубенчиков по сравнению с мощными аккордами галактической симфонии. Если прибегнуть к другой метафоре, к другому измерению, то прах столетий, туман времен, которые мы привыкли называть «древней» историей, быстро развеиваются мощными беспощадными ветрами геологических эпох. Даже возраст Вселенной, который, как уверяет нас Лоуренс Краусс, составляет 13,72 млрд лет с точностью до второго знака после запятой, теряется на фоне грядущих триллионов.

Однако представления Краусса о космологии далекого будущего парадоксальны и мрачны. Научный прогресс, скорее всего, обратится вспять. Мы от природы склонны думать, что если в двухтриллионном году нашей эры на свете будут космологи, то их знания превзойдут наши. Вовсе нет — и это лишь один из потрясающих выводов, которые я сделал, когда дочитал «Всё из ничего». Наше время плюс-минус несколько миллиардов лет — самая подходящая эпоха для того, чтобы быть космологом. Пройдет 2 трлн лет — и наша Вселенная расширится настолько, что все галактики, кроме той, где живет сам космолог (где бы он ни родился),

разлетятся за эйнштейновский горизонт с такой абсолютной неизбежностью, что не просто станут невидимыми — их в принципе невозможно будет обнаружить, они не оставят даже косвенных намеков на свое существование, как будто их никогда и не было. Все следы Большого взрыва, скорее всего, безвозвратно сотрутся. Космологи будущего окажутся отрезаны и от своего прошлого, и от своего настоящего — в отличие от нас.

Мы знаем, что живем среди 100 млрд галактик, и знаем о Большом взрыве, поскольку его реликты окружают нас повсюду — это красное смещение в спектре далеких галактик, которое говорит нам о хаббловском расширении и которое мы экстраполируем обратно во времени. Нам выпало счастье наблюдать эти свидетельства, поскольку мы смотрим на новорожденную Вселенную, живем в благословенную эпоху, когда свет еще может путешествовать из галактики в галактику. Как остроумно пишут Краусс и один из его коллег, «мы живем в особое время... единственное время, когда мы можем подтвердить данными наблюдений, что живем в особое время!» Космологи третьего триллионлетия будут отброшены к картине мира, бытовавшей в начале XX в., и окажутся заперты в границах одной-единственной галактики, как и мы когда-то, — Галактики, которая была для нас синонимична Вселенной, поскольку ничего иного мы не знали и не могли себе представить.

А затем — и это неизбежно — плоская Вселенная станет еще более плоской и впадет в состояние, которое, как зеркало, отражает ее начало. Тогда не только не будет космологов, чтобы смотреть на эту Вселенную, — вообще не на что будет смотреть. Не будет ничего. Даже атомов. Ничего.

Если вы считаете, что это унылая безрадостная картина, тем хуже для вас. Реальность не обязана нас утешать. Когда Маргарет Фуллер заметила: «Я принимаю Вселенную» (так и слышу в этом вздох облегчения), Томас Карлайл ответил с испепеляющей иронией: «Попробовала бы не принять!» Лично я думаю, что вечный покой бесконечно плоского «ничего» обладает своим самобытным великолепием и нам по меньшей мере должно хватить отваги его признать.

Но если нечто может стать плоским до полного «ничто», может ли это «ничто» взяться за дело и породить «нечто»? Или, цитируя теологическую банальность, есть ли на свете нечто, а не ничего? Здесь мы подходим к самому, пожалуй, примечательному выводу, который делаем, закрывая книгу Лоуренса Краусса. Физика не только говорит нам, как нечто могло получиться из ничего, — как рассказывает Краусс, она идет еще дальше и показывает, что «ничто» нестабильно, из него почти всегда должно возникнуть «нечто». Если я правильно понимаю Краусса, это происходит постоянно. Этот принцип несколько напоминает физическую версию истины «минус на минус дает плюс». Частицы и античастицы возникают и исчезают, будто субатомные светлячки, аннигилируют друг с другом, а затем воссоздают друг друга из ничего в ходе обратного процесса.

Спонтанный генезис чего-то из ничего бурно шел в самом начале пространства и времени в сингулярности, известной как Большой взрыв, за которым последовал период инфляции, когда Вселенная со всем, что в ней содержалось, за долю секунды выросла на 28 порядков — только подумайте, это же единица с двадцатью восемью нулями!

Какая странная, дурацкая идея! Ох уж эти ученые, в самом деле! Ничуть не лучше средневековых схоластов, которые подсчитывали ангелов на конце иглы или обсуждали «таинство» пресуществления.

О, нет и нет — нечего даже и сравнивать! Наука еще многого не знает (и трудится не покладая рук). Но кое-что из того, что мы знаем, мы знаем не просто приблизительно (к примеру, Вселенной не несколько тысяч, а несколько миллиардов лет) — мы знаем это с полной уверенностью и с поразительной точностью. Я уже упоминал, что возраст Вселенной вычислен с точностью в четыре значащие цифры. Само по себе это внушает уважение, но это сущие пустяки по сравнению с точностью некоторых прогнозов, которыми подчас изумляют нас Лоуренс Краусс и его коллеги. Герой Краусса Ричард Фейнман указывал, что некоторые прогнозы квантовой теории, опять же основанные на предположениях, на сторонний взгляд таких причудливых, что не снилось никакому мракобесу-богослову, подтвердились с такой точностью, что это все равно что подсчитать расстояние от Нью-Йорка до Лос-Анджелеса с точностью до волоска.

Теологи могут сколько угодно разглагольствовать об ангелах на кончике иглы в их современном эквиваленте. Может показаться, что у физиков свои ангелы и иглы — кванты и кварки с их «очарованием», «странностью» и «спином». Но физики могут сосчитать своих ангелов с точностью до одного из 10 млрд — ни ангелом больше, ни ангелом меньше. Да, наука представляется замкнутой и непостижимой более, чем любая теология, но она делает свое дело. Она получает результаты. Она способна доставить вас на Сатурн, обогнув по пути Венеру и Юпитер. Даже если мы не понимаем квантовую механику

(если честно, я не понимаю), теория, которая предсказывает явления в реальном мире с точностью до 10 знаков после запятой, не может быть неверной в любом смысле этого слова. А в теологии не просто нет 10 знаков после запятой, ей недостает даже намека на связь с реальным миром. Как сказал Томас Джефферсон, когда основывал Университет Вирджинии, «кафедре теологии нет места в нашем заведении».

Если спросить верующих, почему они верят, обязательно найдется горстка «интеллектуальных» теологов, которые скажут, что Бог есть «основа всего сущего», или «метафора межличностного братства», или еще что-нибудь уклончивое в этом духе. Однако большинство верующих отвечают честнее и тем самым ослабляют собственную позицию: они предлагают свою версию теории разумного замысла или теории первопричины. Философам масштаба Дэвида Юма не пришлось бы даже привстать с кресла, чтобы показать фатально слабые места подобной аргументации, ведь здесь прямо-таки напрашивается вопрос о происхождении Творца. Однако нужен был Чарлз Дарвин, который проплыл по реальному миру на «Бигле» и открыл до гениальности простую, не вызывающую никаких вопросов альтернативу теории разумного замысла. То есть, конечно, в области биологии. Биология всегда была излюбленным местом для охоты всех сторонников естественной теологии, пока их не разогнал Дарвин — непреднамеренно, ведь он был добрейший и мягчайший из людей. Тогда они разбежались по чащобам физики и происхождения Вселенной, но там их поджидали Лоуренс Краусс и его предшественники.

Складывается ли впечатление, что физические законы и фундаментальные константы — это результат

тщательной тонкой настройки с целью обеспечить наше существование? Считаете ли вы, что все началось благодаря вмешательству некоей силы? Если вам кажется, что в этих вопросах нет никакого подвоха, почитайте Виктора Стенджера. Почитайте Стивена Вайнберга, Питера Аткинса, Мартина Риса, Стивена Хокинга. А теперь мы можем почитать еще и Лоуренса Краусса, впечатление от его книги было для меня сродни нокауту. На этих страницах прямо на ваших глазах рассыпается в прах последний козырь теолога: «Почему на свете есть нечто, а не ничего?» Если книга «Происхождение видов» стала смертельным ударом, который биология нанесла учениям о сверхъестественном, то «Всё из ничего», вероятно, станет таким же оружием в руках космологии. Ее название говорит само за себя. И то, что оно говорит, потрясает.

Об авторе

Лоуренс Краусс — известный космолог, профессор и директор проекта *Origins* Университета штата Аризона. Журнал *Scientific American* назвал его редким примером ученого, способного популярно излагать свои воззрения. Краусс — автор нескольких книг и более 300 научных публикаций, лауреат множества международных премий как за научную, так и за литературную деятельность. Краусс — физик-теоретик, известный во всем мире, и сфера его научных интересов весьма обширна — она охватывает в числе прочего отношения космологии с физикой элементарных частиц: Краусс изучает ранние этапы существования Вселенной, природу темного вещества, общую теорию относительности и нейтринную астрофизику. Докторскую степень по физике он получил в Массачусетском технологическом институте в 1982 г., затем был принят в Гарвардское научное общество. В 1985 г. Краусс стал сотрудником физического факультета Йельского университета, а в 1993 г. переехал в Университет Кейз Вестерн Резерв, где занял должность декана физического факультета. С 2008 г. работает в Университете штата Аризона. Он часто пишет статьи для газет и журналов и регулярно выступает по радио и телевидению.

Небольшое интервью с автором

1. Что вы на самом деле имеете в виду, когда говорите «ничто»?

Я убежден — и рассказываю об этом в книге, — что намного полезнее основывать наши определения на эмпирически открытых фактах, чем на абстрактных философских заповедях. Для меня, вне зависимости от вопроса «несуществования», который уводит нас ко множеству потенциально глубоких философских вопросов, но довольно беспомощных физических идей, по-настоящему чудесным аспектом нашей Вселенной, вдохновившим, я уверен, на протяжении столетий множество споров на эту тему, представляется вопрос о том, как все, что мы видим вокруг, возникло из Вселенной, где ничего этого еще не существовало. Казалось бы, это противоречит по меньшей мере закону сохранения энергии и, что еще важнее, здравому смыслу. Но в этом и состоит одно из великолепных свойств науки, которое я хочу донести до читателей: здравый смысл — не обязательно хороший ключ к пониманию природы на переднем крае науки. Наш здравый смысл должен делать выводы из Вселенной, а не наоборот. И замечательное нечудесное чудо состоит в том, что сочетание квантовой механики и гравитации и правда разрешает ситуацию, когда какое-то вещество возникает из отсутствия всякого вещества.

Следует заметить, что состояние отсутствия всякого вещества, возможно, и не представляет собой «ничто» в классическом смысле, но тем не менее это замечательное превращение. Так что первой формой категории «ничто» является просто пустое пространство. Но совершенно разумно было бы спросить, действительно ли это «ничто», — ведь пространство никуда не делось, как и время. Затем я описываю, как пространство и время сами могли возникнуть из отсутствия пространства и времени, — а их отсутствие, конечно, ближе к абсолютному ничто. Вряд ли стоит говорить тем не менее, что и здесь можно задаться вопросом о том, на самом ли деле это ничто — действительно ничто, поскольку переход подчиняется некоторым физическим законам. Откуда они взялись? Это хороший вопрос, и один из нынешних ответов на него состоит в том, что даже сами законы могут быть случайными и возникать вместе с рождающимися вселенными. Здесь, конечно, может вновь встать вопрос о том, как все это возможно, но на определенном уровне, как я указываю в начале книги, оказывается, что «черпахи там до самого низа». Существуют вопросы, которые мы можем эффективно разрешить при помощи эмпирических методов, и вопросы, которые мы можем задать, но которые не ведут к физическим прозрениям и предсказаниям. Фокус в том, чтобы отличить одни вопросы от других.

2. Почему вы задаете вопрос «как?», а не «почему?»?
Вопрос «почему?» пронизан интеллектуальными ассоциациями, как правило неосознанными. Мы можем спросить: «Почему вокруг нашего Солнца вращается девять планет?» (поскольку лично для меня Плутон всегда

останется планетой!) — не приписывая особого значения или целенаправленности числу девять и не подразумевая, что Вселенная была специально сконструирована так, чтобы вокруг Солнца обращалось именно девять планет. Если бы наше Солнце было единственной звездой, то этому конкретному числу можно было бы приписать какое-то значение (как это делал Кеплер, когда пытался объяснить шесть планет в терминах Платоновых тел). Но нас гораздо больше интересуют различные пути, которыми могут возникать солнечные системы, и то, как это может происходить. Вопрос «почему?» подразумевает некоторую цель, которая вовсе не обязательно существует. В конечном итоге вопрос «почему?» можно задавать до бесконечности, а ответом на него может быть простое «потому что», но такой ответ ничего особенно не проясняет.

3. Действительно ли жизнь потеряет всякую цель, если избавиться от Бога?

Для меня, разумеется, нет — совсем наоборот. Я вряд ли нашел бы какую-то цель, живя в мире, которым управлял бы какой-нибудь божественный Саддам Хусейн — как персонаж, как говорил мой покойный друг Кристофер Хитченс, который не только устанавливает все правила, но и наказывает тех, кто им не подчиняется, вечным проклятием. Жизнь во Вселенной, которая не имеет цели, представляется мне поразительной, поскольку это делает случайность нашего существования и нашего сознания еще более драгоценной; это то, что мы должны ценить во время нашего скоротечного пребывания под солнцем.

4. Что вы имеете в виду, когда говорите о «плоском» мире?

Действительно ли наша Вселенная плоская, как блин? Жаль, что я не описал это подробнее в первом издании, и теперь я немного расширил рассказ об этом. Плоское трехмерное пространство — это всего лишь такое пространство, в котором, как вы всегда считали, вы живете: пространство, в котором лучи света распространяются по прямой, а перпендикулярные оси (x , y и z) всегда остаются перпендикулярными. В искривленных трехмерных пространствах ни одно из этих утверждений не соответствует действительности. Поскольку масса и энергия способны искривить пространство локально (то есть, к примеру, вокруг Солнца и Земли), главный вопрос в том, как обстоит дело с глобальной структурой пространства на самых крупных масштабах: искривлено оно или нет? И оказывается, что на самых крупных наблюдаемых масштабах пространство не искривлено. И, как я описал в книге, этот факт может означать очень многое, потому что именно такого поведения можно было бы ожидать от Вселенной, которая возникла из ничего.

5. Разве наука не является всего лишь другой разновидностью веры?

Абсолютно исключено. Ученые меняют свои взгляды, признают свою неправоту и с радостью и готовностью отбрасывают идеи, если выясняется, что они не работают. Мы не считаем, что знаем наверняка ответы на вопросы еще до того, как они были заданы. Так что да, мы верим, что Вселенная познаваема, но главное в науке то, что нашу веру можно поколебать. В любой момент мы можем

отказаться от веры в то, во что прежде верили, если природа скажет иное.

6. Имеет ли поиск бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере космологическое значение? Что, если мы его обнаружим? А если нет?

Я разбираю этот вопрос в новом предисловии. Поиск бозона Хиггса представляет собой кульминацию замечательного интеллектуального путешествия, которое началось более пятидесяти лет назад, и если он действительно обнаружен на БАКе, как указывают предварительные результаты, опубликованные в 2011 г., это подтвердит выстроенную теоретическую систему, которая в противном случае окажется на весьма зыбкой почве. В этом смысле будет удивительно, если наши идеи по поводу бозона Хиггса подтвердятся, поскольку обычно природа нас удивляет. Большинство теорий в конечном итоге оказываются ошибочными. Если бы это было не так, физикой бы мог заниматься кто угодно. Но в любом случае, если бозон Хиггса существует, это означает, что еще один аспект нашего существования оказывается космической случайностью. Частицы получают свои массы через взаимодействие с фоновым, в остальном невидимым полем — это как попытка плыть в патоке. Это означает, что если бы такое поле не установилось бы в ранней Вселенной, нас бы здесь не было... И вот опять нечто из ничего! В то же время открытие бозона Хиггса на БАКе, скорее всего, поставит больше вопросов, чем даст ответов: почему он обладает именно такой массой? Как мы можем осмыслить его существование в контексте известных нам четырех фундаментальных взаимодействий в природе? И так далее.

7. Мне приходилось встречать утверждения, что фундаментальные законы природы ничего не говорят о том, откуда взялись наблюдаемые нами силы, или почему мир должен непременно состоять именно из таких частиц и полей, из которых состоит, или почему вообще должен существовать какой бы то ни было мир. Можете ли вы прокомментировать это?

На самом деле понимание того, что все вокруг: свойства Вселенной, которые мы наблюдаем, силы, которые в ней действуют, конкретные типы полей, которые могут существовать на наблюдаемых масштабах, а также то, какие частицы обладают массой, а какие нет, — могло возникнуть спонтанно в результате случайного стечения обстоятельств, это одно из величайших достижений в физике элементарных частиц в последние сорок лет. Это явление, называемое «спонтанным нарушением симметрии», по существу, говорит о том, что по мере эволюционирования и остывания Вселенной какое-то фоновое поле может развиваться в пространстве — в точности так же, как ледяные кристаллы спонтанно образуются на стекле вашего окна, — что произошло, согласно предсказаниям, с полем Хиггса. (Природа конкретного узора на вашем стекле в морозный день не предопределена в самом начале времен, но складывается динамически.)

Развиваясь, это фоновое поле заставляет некоторые частицы стать массивными (и потому нестабильными, чтобы затем распасться на другие частицы и исчезнуть), а другие — и дальше существовать без массы. Оно определяет также, какие силы действуют на больших расстояниях, как электромагнетизм, а какие не действуют, как слабое взаимодействие. Что же до того, почему мир вообще может существовать, то опять же, все

дело в спонтанном нарушении симметрии — в данном случае включая возможное действие гравитации, — оно может привести к тому, что некоторые вселенные будут расширяться бесконечно и жить долго, тогда как другие исчезнут в мгновение ока. Таким образом можно объяснить также, почему некоторые миры существуют достаточно долго, чтобы задаться вопросом: «Почему существует не только ничто, но и нечто?»

8. Не слишком ли самонадеянно утверждать, что мы точно знаем, что Вселенная произошла из ничего, и что наука уже ответила на все главные вопросы космологии?

Забавно читать подобную критику — обычно она идет со стороны людей, которые книгу не читали. Одно из центральных утверждений моей книги состоит в том, что мы *не знаем* всех ответов, но то, что мы уже знаем, выглядит очень и очень соблазнительно — и в то же время приводит нас к некоторым глубоким фундаментальным вопросам, которые, возможно, никогда не станут по-настоящему фальсифицируемыми эмпирически.

9. Совместима ли наука с религией? В конце концов, и то и другое занято поиском ответов на одни и те же вопросы, разве нет?

Наука совместима с некоторой базовой формой деизма — а именно, мы не можем утверждать, что Вселенная, даже если она возникла из ничего посредством естественных природных процессов, не была создана с некоторой изначальной целью, возможно неочевидной. (Тот факт, что нет никаких свидетельств такой цели, затрудняет аргументацию в пользу ее существования, но это неважно.)

.....

Но, сказав это, скажу и другое: наука несовместима со строгими доктринами всех главных мировых религий, включая христианство, иудаизм и ислам, а также некоторых менее крупных, таких как мормонство и буддизм. И тому есть серьезная причина: эти доктрины были записаны людьми, которые не понимали, как устроен мир. За исключением мормонства, которое возникло недавно, все они были записаны в те времена, когда мы не знали даже, что Земля обращается вокруг Солнца!

10. Вы атеист?

Не в том смысле, что я могу уверенно заявить, что не существует ни Бога, ни цели существования Вселенной. Я не могу уверенно заявить, что вокруг Юпитера не летает фарфоровый чайник, как однажды сказал Бертран Рассел. Разумеется, это очень маловероятно. Но что я могу заявить с уверенностью, так это то, что я не хотел бы жить во Вселенной, где есть Бог, — это делает меня антитеистом, каким был и мой друг Кристофер Хитченс.

Предметно- именной указатель

А

Адамс, Дуглас 143

Андромеда 38, 40, 167

антивещество 109, 225, 226,
228

античастицы 108, 109, 223,
225, 240, 263

антропный принцип 191,
199, 200, 249

Аристотель 245, 246

Аткинс, Питер 266

Аффлек, Ян 240

Б

барионы 126

бесконечная регрессия 20, 24

Бог 20, 23, 24, 35, 170, 205,
206, 209, 210, 214, 230,
243–248, 257–259, 265

Боган, Луиза 31

богословие 36, 198, 207, 209

бозоны 198

Большой адронный
коллайдер 81, 201

Большой взрыв 26, 34–36,
48, 58–60, 63, 67, 71,

80, 81, 86–89, 122, 127,
139, 145, 147, 149, 161,
164, 167–175, 177, 185,
201, 210, 216, 226, 229,
246, 262, 263

Большой хруст 71

Бор, Нильс 105

Браге, Тихо 61, 63

браны 195

Браунинг, Роберт 101

бритва Оккама 175, 211

Броновски, Джейкоб 19, 207,
255, 256

В

Вайнберг, Стивен 186, 257,
266

Великая Теория Объединения
200

Виленкин, Александр 188,
241

Вильчек, Фрэнк 28, 197, 228
«виртуальные вселенные» 235
виртуальные частицы 113,
116–122, 151, 196, 221,
222, 235, 238

Виттен, Эдвард 194
водород 41, 59, 67, 88, 89,
114–117, 164, 168, 170,
171

Г

Галактика 34, 38, 48, 57, 61,
63, 65, 67, 69, 71, 80,
129, 143, 167, 170, 173,
183
галактики 21, 32, 34, 35,
40, 43, 44–48, 57,
58, 61–63, 65, 66, 71,
72, 75–77, 79, 80, 82,
83, 89, 91, 100–103,
126–128, 130, 131,
138, 139, 151, 155–
157, 161–163, 165,
174, 175, 183–185,
191, 202, 213–215,
225–227, 261, 262
Галилей, Галилео 206, 259
Гаусс, Карл Фридрих 85
Гейзенберг, Вернер 105–107,
110, 120, 235
гелий 42, 59, 67, 164, 168–
172
Гераклит Эфесский 254
Гильберт, Давид 33
гиперболическая геометрия
85
главная последовательность
163
горизонт событий 223, 224
гравитационное
линзирование 75, 76,
79
гравитон 193

Грин, Брайан 193
Гут, Алан 28, 145, 148, 188, 216

Д

Дарвин, Чарльз 125, 213,
265
дейтерий 59, 168, 170
Демарк, Пьер 128
Джеймс, Уильям 20
Джефферсон, Томас 265
Диккенс, Чарльз 174, 243
Дирака уравнение 106
Дирак, Поль 105–108, 114,
115, 117
Докинз, Ричард 27, 28, 261
Д’Суза, Динеш 214

Ж

железо 41, 60

З

замкнутая Вселенная 70, 71,
91, 96–98, 131, 144,
238–240
Зельдович, Яков 122

И

инфляция 150–152, 155, 158,
159, 175, 187–191, 201,
216–218, 221, 240, 242,
250, 263
искривление света 73

К

Камю, Альберт 256
квazarы 76, 165
квантовая гравитация 121,
239, 241, 242

квантовая механика 105,
107, 110, 113, 217, 225,
231, 246, 250
квантовая теория 193, 222,
231, 234, 239, 264
квантовые флуктуации 151, 152,
161, 189, 217, 222, 253
квантовый вакуум 23
кванты 106, 264
кварки 118, 119, 199, 264
Кеплер, Иоганн 61–63
Кернан, Питер 128
кинетическая энергия 153
кислород 41, 60
космологическая постоянная
104, 122, 126, 128, 129,
131, 135, 139, 140, 149,
152, 161, 166, 174, 186
космология 26, 27, 35, 65,
67, 69, 82, 86, 131, 132,
141, 178, 188, 199, 207,
225, 261, 266, 267
красное смещение 61, 130,
131, 133, 136, 162, 262
Краусс, Лоуренс 261–267
креационизм 177

Л

Левенгук, Антони 115
Леметр, Жорж 35–37, 44,
172, 173
Ливитт, Генриетта 39, 40
Линде, Андрей 188–191
линии поглощения 41–43,
167
литий 59, 60, 67, 164,
168–170

Лобачевский, Николай
Иванович 85, 86
ложный вакуум 149–152,
188
Лэмб, Уиллис 114

М

Мандл, Руди 72–74
материя 90, 103
Маунт-Стромло,
обсерватория 133
Меркурий 33, 102
Мис ван дер Роз, Людвиг 101
Млечный Путь, *см. также*
Галактика 32, 38, 40,
100, 155
мораль 243
мюоны 199

Н

нейтронные звезды 173
Ньютона законы 32, 33, 62,
103, 107, 156, 209
Ньютон, Исаак 41, 205, 206,
209, 237, 259

О

Общая теория
относительности (ОТО)
31–35, 37, 71–73, 75,
78, 83, 102, 103, 126,
149, 157, 158, 161, 172,
173, 193, 214, 216, 219,
224, 231, 233, 237
открытая Вселенная 71, 82,
85, 91, 97, 127, 129,
144

отрицательная энергия 152,
155, 157, 158, 239
отрицательное давление 158,
216

П

Пайс, Абрахам 33
перигелий 33, 102
Перлмуттер, Сол 131
Пий XII, Папа Римский 34,
36, 37
Пинкер, Стивен 243, 244
плазма 59, 88, 167
планеты, *см. также*
отдельные планеты 61,
62, 67, 77, 89, 105, 122,
151, 163, 164, 185, 191,
195, 210
Планк, Макс 106
планковское время 121, 240,
242
Платон 20, 215
плоская Вселенная 70, 71, 79,
82, 91, 97–102, 125–
127, 129, 131, 133, 138,
140, 143–145, 148, 150,
153, 157, 158, 213–218,
236, 237, 240, 242, 262
плотность Вселенной 144,
184, 185
плотность энергии 71, 103,
140, 152, 158, 166, 183
поверхности последнего
рассеяния 88–90, 92,
94, 96, 98, 100, 147
позитроны 108, 112, 117,
211

полная энергия 152, 155,
157, 158, 161, 222, 237,
239, 241, 253
потенциальная энергия
153–155, 212, 236
принцип неопределенности
106, 110, 120, 228,
234–236
проблема горизонта 145,
148, 150
протоны 59, 67, 81, 88, 89,
101, 108, 109, 114,
116–120, 151, 170, 182,
199, 227, 253

Р

Рамсфелд, Дональд 65
Рассел, Бертран 20
расширение Вселенной 25,
34, 36, 42, 46–48, 61,
71, 127–131, 133, 134,
136, 137, 139–141, 143,
144, 149, 151, 156–158,
162–166, 168, 174,
176, 183, 186, 188, 189,
213–217, 262
Резерфорд, Роберт 114
религия 19, 25, 28, 34, 36,
246
реликтовое излучение 76,
86–91, 94, 97, 99, 117,
127, 139, 146, 147, 162,
167, 168, 170, 227
рентгеновское излучение 82
Рис, Мартин 266
Рисс, Адам 137, 141
РНК 212
Рубин, Вера 66

С

Саган, Карл 134
сверхновые звезды 58, 60,
61, 129–133, 136, 137,
140
сверхпроводимость 195
сверхскопления галактик 71,
72
симметрия 123, 194, 196,
229, 254
скорость света 90, 91, 107, 110,
149, 156, 157, 162, 223
Слайфер, Весто 41
солнечное затмение 69
Солнце 33, 38, 41, 60, 61,
69, 77, 80, 86, 95, 99,
105, 144, 163, 172, 178,
183–185, 205, 208, 210,
249
спектр света 41–43, 63, 106,
114, 117
Специальная теория
относительности (СТО)
105, 149, 232, 237
Спиноза, Барух 231
спиральные галактики 38,
42, 43
«стандартная свеча» 61, 129
статическое электричество
222
Стенджер, Виктор 266
суперсимметрия 194
суперструны 194

Т

Тайсон, Тони 76, 78
темная материя 67–69, 71,
75, 79–82, 101, 102,

126, 128, 138, 144, 162,
202, 267

темная энергия 134, 139–
141, 162, 164–166,
174–176, 183, 186, 202

теология 22, 23, 206, 210,
248, 264, 265

Теория всего 194

теория относительности 31,
69, 86, 105, 107, 109,
110, 111, 113, 149, 156,
225, 232, 267

теория струн 32, 191–197,
254

Тернер, Майкл 127

туманности спиральные, *см.*
также спиральные
галактики 38, 40, 42,
76

У

Уилкинсон, Дэвид 99

ускоритель частиц 81, 109,
195, 196, 201

Ф

фазовый переход 148, 149,
188, 190

Фарадей, Майкл 238

Фейнман, Ричард 21, 109,
110, 112, 113, 117, 181,
205, 232–234, 240, 251,
264

Флатландия 70

флуктуации 151, 189, 217,
222, 224

Фома Аквинский 20, 198,
215, 245, 246

фотоны 88, 222, 227, 235,
238

фундаментальные константы
249, 265

Х

Хаббл, Эдвин 37–40, 43, 44,
47, 48, 57, 63, 76, 129,
130, 163, 164

Хаббла закон 43, 44, 47

Хаббла им. космический
телескоп 57

Хаббла постоянная 128, 130

Харрис, Сидней 42

Хартл, Джим 241

Хитченс, Кристофер 179,
181, 254

Хойл, Фред 171

Хокинг, Стивен 223, 232,
234, 241, 266

Хьюмасон, Милтон 43, 47, 63

Ц

цефеиды 38, 40, 57

Ч

черные дыры 173, 223, 224

Ш

Шабойе, Брайан 128, 138

Шепли, Харлоу 38, 40

Шеррер, Роберт 164, 175

Шмидт, Брайан 133, 134

Э

Эддингтон, Артур Стенли 35

Эйнштейн, Альберт 31–35,
63, 69, 72, 73, 74, 82,
90, 102–105, 107, 110,
134, 147, 149, 157, 161,
164, 170, 172–174, 193,
230, 232, 236, 258, 259

электроны 88, 105–108,
110–112, 114, 116, 117,
167, 182, 199, 211

Ю

Юм, Дэвид 265

Я

ядерные реакции 59, 170

В

BOOMERanG 92–100, 129

С

CL0024+1654, скопление 76

Е

$E = mc^2$ 69

Н

High-Z Supernova,
международный проект
133, 134, 141

W

WMAP, зонд 99, 100, 139